O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY TA’LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI

QARSHI DAVLAT UNIVERSITETI

KRISTALLARDA MIKRO VA NANOELEKTRONIKANING DOLZARB MUAMMOLARI

Xalqaro ilmiy-amaliy anjuman

MATERIALLARI

(Anjuman fizika-matematika fanlari doktori,
prof. M. Normuradov
tavalludining 80 yilligiga bag‘ishlanadi)

2026-yil, 8-9 - oktabr

Qarshi – 2026

Xalqaro ilmiy-amaliy anjumani materiallari to‘plamini tayyorlash uchun masullar

DASTURIY QO‘MITA:

RAIS: **prof. Nabiyev D.X.**	Qarshi davlat universiteti rektori
RAIS O‘RINBOSARLARI: **dots. Bekpo‘latov I.R.**	Qarshi davlat universiteti Ilmiy ishlar va innovatsiyalar bo‘yicha prorektori
prof. Normuradov M.T.	Qarshi davlat universiteti professori

DASTURIY QO‘MITA A’ZOLARI:

Gulyayev Y.V	RFA akademik, Moskva
Korablev V.V.	RFA akademik , Sankt – Peterburg
Zaynabiddinov S.Z.	O‘z RFA akademik, Andijan
Mamadalimov A.T.	O‘z RFA akademik, Toshkent
Muqimov K.M.	O‘z RFA akademik, Toshkent
Mo‘minov R.A.	O‘z RFA akademik, Toshkent
Konovalov I.	EAHU, professor, Jena
Nematov Sh.K.	QDTU rektori, professor, Qarshi
Jumaboyev A.J.	SamDU professor, Samarkand
Maxmanov U.	O‘z RFA IPLTI professor, Toshkent
Umirzoqov B. E.	TDTU professor, Toshkent
Karatkov A.S.	SPbPU professor, Sankt – Peterburg
Klichkovskaya V.V.	Kristallografiya instituti professor, Moskva
Quvondiqov O.G.	SamDU professor, Samarkand
Tursunmetov K.A.	O‘zMU professor, Toshkent
Xayriddinov B.E.	QarDU professor, Qarshi
Tashatov A.Q.	QarDU professor, Qarshi
Donayev S.B.	TDTU professor, Toshkent
Egamberdiyev B.E.	Harbiy aviatsiya instituti professor, Qarshi
Turayev E.Y.	TerDU professor, Termiz
Uzoqov G‘.N.	QDTU professor, Qarshi
Ismailov K.A.	NamDU professor, Nukus
Qo‘yliyev B.T.	QarDU professor, Qarshi
O‘tamuradova Sh.B.	YaFMI professor, Toshkent
Daliyev X.	MEI professor, Toshkent

Raxmatov A.Z.	«FOTON» aksionerlik jamiyati, professor, Toshkent
Isaxanov Z.A.	O‘z RFA IPLTI professor, Toshkent
Yadgarov I.D.	O‘z RFA IPLTI professor, Toshkent
Qurbonov M.SH.	O‘z RFA IPLTI professor, Toshkent
Dadamirjayev M.G.	NDTU professor, Namangan
Rabbimov E.A.	JPI professor, Jizzax
Qutliyev U.O.	UrDU professor, Urganch
Uzoqova G.S.	QarDU professor, Qarshi

TASHKILIY QO‘MITA:

Rais: **Bekpulatov I.R.**	QarDU Ilmiy ishlar va innovatsiyalar bo‘yicha prorektor, DSc
Rais o‘rinbosari: **Tashatov A. Q.**	QarDU professori
Kotiblar: **Normurodov D.A.**	QarDU dotsenti
Dovranov Q.T.	QarDU dotsenti

TASHKILIY QO‘MITA A’ZOLARI:

Qo‘yliyev B.T.	QarDU professori
Meyliyev L.O.	QarDU dotsenti
Allayorova G.X.	QarDU dotsenti
Xujaniyozov J.B.	TDTU dotsenti
Sadullayev A.A.	QDTU professori
Aliqulov M.N.	QIPU dotsenti
Davlatov M.A.	QDTU PhD
Davranov X.T.	QarDU o‘qituvchi
Odilova N.J.	QarDU o‘qituvchi
Suyunov L.	QarDU o‘qituvchi
Jumanov Sh.E.	QarDU o‘qituvchi
Qodirov A.R.	QarDU o‘qituvchi
Nurmatova D.J.	QarDU o‘qituvchi
Ishmurodov E.A	QarDU tayanch doktoranti
Xoliqulova S. YU	QarDU tayanch doktoranti
Shoximardonov J.M.	QarDU tayanch doktoranti
Kucharov S.SH.	QarDU tayanch doktoranti

Abduraximov J.T.	QarDU tayanch doktoranti
Normamatov A.M.	QarDU tayanch doktoranti
Eshboboyev S.N.	QarDU tayanch doktoranti
To‘raqulov X.A.	QarDU magistr

Matnlarda foydalanilgan ma’lumotlar, ilmiy natijalar va xulosalar aniqligi uchun mualliflar javobgardirlar.

Qarshi davlat universiteti, 2026

SO‘Z BOSHI

Qarshi davlat universiteti Nazariy va eksperimental fizika kafedrasi professori, fizika-matematika fanlari doktori, professor Murodulla Normuradov 2026-yil 8-oktabrda 80 yoshni qarshilaydi. Uning qariyb oltmish yillik ilmiy-pedagogik, ilmiy-tashkiliy, rahbarlik, davlat va jamoatchilik faoliyati O‘zbekistonda oliy ta’lim va ilm-fan taraqqiyoti, fizika sohasida yuqori malakali kadrlar tayyorlash, zamonaviy ilmiy maktab va tadqiqot infratuzilmasini shakllantirish, hududiy oliy ta’lim muassasalarining ilmiy salohiyatini yuksaltirish hamda yosh avlodni vatanparvarlik va ilmga sadoqat ruhida tarbiyalash bilan uzviy bog‘liqdir. Uning hayot yo‘li fundamental ilmga sadoqat, ta’lim va tadqiqot uyg‘unligi, ilmiy natijalarni amaliyotga yo‘naltirish, shogirdlar tayyorlash va jamiyat oldidagi mas’uliyatni bir butun kasbiy tamoyilga aylantirgan sermazmun faoliyat namunasidir.

Murodulla Normuradov 1946-yil 8-oktabrda Qashqadaryo viloyati Chiroqchi tumanida tavallud topgan. 1968-yilda Toshkent davlat universitetini fizik mutaxassisligi bo‘yicha tamomlab, mehnat faoliyatini Samarqand davlat pedagogika institutida katta laborant sifatida boshlagan. Keyinchalik Toshkent politexnika institutida fizik elektronika yo‘nalishi bo‘yicha aspirantura tahsilini o‘tab, ilmiy faoliyatini qattiq jismlar fizikasi, sirt fizikasi va fizik elektronikaning dolzarb muammolari bilan bog‘ladi. 1974-yilda fizika-matematika fanlari nomzodi, 1989-yilda fizika-matematika fanlari doktori ilmiy darajasini oldi, 1991-yilda professor ilmiy unvoniga sazovor bo‘ldi. Ushbu bosqichlar olimning mustaqil ilmiy yo‘nalishini shakllantirishi, yuqori malakali tadqiqotchi va pedagog sifatida tanilishi hamda keyinchalik yirik ilmiy va ta’lim loyihalariga rahbarlik qilishi uchun mustahkam poydevor bo‘ldi.

Professor M.Normuradovning ko‘p yillik ilmiy faoliyati fizik elektronika, qattiq jismlar sirtining fizik-ximiyaviy xususiyatlari, sirt va sirt osti qatlamlaridagi jarayonlar, aktiv ionlar ta’sirida materiallar tarkibi, tuzilishi va funksional xossalarini maqsadli o‘zgartirish va boshqarish masalalariga bag‘ishlangan. U mazkur yo‘nalishlarda nafaqat respublikamizda, balki xorijiy ilmiy doiralarda ham tanilgan mutaxassis sifatida e’tirof

etilgan. Olimning tadqiqotlarida fundamental fizik qonuniyatlarni aniqlash bilan bir qatorda, zamonaviy mikro - va nanoelektronika, yarimo‘tkazgichlar fizikasi, materialshunoslik va energiya tejamkor texnologiyalar uchun istiqbolli yechimlarni ishlab chiqishga alohida e’tibor qaratilgan.

M.Normuradovning ilmiy merosi hajmi va mazmuni jihatidan salmoqlidir. Uning muallifligi va hammuallifligida 400 dan ortiq ilmiy maqola va o‘quv-uslubiy ishlar chop etilgan. Ilmiy ishlarining muayyan qismi Scopus va Web of Science xalqaro ma’lumotlar bazalarida indekslanadigan nufuzli jurnallarda e’lon qilingan. Shuningdek, 3 ta darslik, 4 ta o‘quv qo‘llanma va 6 ta monografiya nashr etilgan. Mazkur ishlar bir tomondan universitet ta’limi uchun zarur bo‘lgan ilmiy-metodik bazani boyitgan bo‘lsa, ikkinchi tomondan fizik elektronika va materiallar fizikasi sohasidagi tadqiqot natijalarini ilmiy jamoatchilikka tizimli ravishda yetkazishga xizmat qilgan. Uning ilmiy faoliyati Germaniya, Fransiya, Xitoy, Janubiy Koreya, Rossiya va boshqa mamlakatlar olimlari bilan yo‘lga qo‘yilgan hamkorlik aloqalari bilan ham boyitilgan.

Olimning eng katta xizmatlaridan biri - ilmiy maktab yaratish va shogirdlar tayyorlashga qaratilgan izchil faoliyatidir. Uning bevosita ilmiy rahbarligida 12 nafar fan nomzodi va 5 nafar fan doktori dissertatsiya ishlarini muvaffaqiyatli himoya qilgan. Bugungi kunda ham uning shogirdlari oliy ta’lim muassasalari, ilmiy tashkilotlar va ishlab chiqarish korxonalarida ilmiy-pedagogik va amaliy faoliyat olib bormoqda. Professor M.Normuradov magistrlar, doktorantlar, yosh o‘qituvchilar va iqtidorli talabalarni ilmiy tadqiqotlarga jalb etish, ularda mustaqil ilmiy fikrlash, eksperimental madaniyat, akademik halollik va natija uchun mas’uliyat tuyg‘usini shakllantirishga doimiy e’tibor qaratib kelgan.

Professorning tashabbusi va ilmiy-tashkiliy sa’y-harakatlari bilan fizika ixtisosligi bo‘yicha tayanch doktorantura va muntazam faoliyat yurituvchi ilmiy seminarlar rivojlantirildi. U fizik elektronika ixtisosligi bo‘yicha ilmiy kengash faoliyatida rahbarlik vazifalarini bajarib, dissertatsiya tadqiqotlarining ilmiy saviyasini oshirish, ilmiy kadrlar tayyorlashda talabchanlik va xolislik tamoyillarini qaror toptirishga hissa qo‘shdi. Bu faoliyat orqali nafaqat Qarshi davlat universiteti, balki respublika miqyosida fizika sohasida yangi avlod ilmiy kadrlarini tayyorlashga amaliy ta’sir ko‘rsatdi.

M.Normuradovning Qarshi davlat universitetida zamonaviy ilmiy tadqiqot infratuzilmasini shakllantirish borasidagi xizmatlari alohida ahamiyatga ega. Jahon banki Akademik innovatsiyalar fondi doirasida amalga oshirilgan, qiymati 130 ming AQSH dollari bo‘lgan loyiha asosida universitetda “Mikro va nanoelektronika” ilmiy-tadqiqot laboratoriyasi tashkil etildi. Laboratoriyani zamonaviy asbob-uskunalar bilan jihozlash

uchun Yaponiya, Janubiy Koreya va Rossiyada ishlab chiqarilgan qurilmalar xarid qilindi. Natijada universitetda fizik elektronika, yarimo‘tkazgichlar fizikasi va qattiq jismlar fizikasi bo‘yicha zamonaviy eksperimental tadqiqotlarni bajarish, doktorlik va magistrlik dissertatsiyalarini yuqori ilmiy darajada olib borish, iqtidorli talabalarni ilmiy ishga erta jalb etish uchun yangi imkoniyatlar yaratildi.

Ushbu ilmiy baza shakllanishi hududda fundamental va amaliy fizika tadqiqotlarini yangi bosqichga ko‘tarish, mahalliy ilmiy kadrlarni zamonaviy eksperimental usullar bilan ishlashga o‘rgatish va respublika hamda xorijiy ilmiy markazlar bilan hamkorlikni kengaytirishga xizmat qildi. Laboratoriya atrofida shakllangan ilmiy muhit yosh tadqiqotchilarning ilmiy maqolalar tayyorlashi, dissertatsiya mavzularini aniqlashtirishi, zamonaviy o‘lchash usullarini o‘zlashtirishi va ilmiy natijalarni xalqaro darajada taqdim etishi uchun muhim maktab vazifasini o‘tamoqda. Shu jihatdan, professor M.Normuradovning mazkur tashabbusi faqat bir laboratoriyani tashkil etish bilan cheklanmay, balki hududiy ilm-fan infratuzilmasini barqaror rivojlantirishga qaratilgan tizimli yondashuv sifatida baholanadi.

Professor M.Normuradov fundamental va amaliy tadqiqotlarni moliyalashtirish, ilmiy g‘oyalarni yirik grant loyihalariga aylantirish borasida ham katta tajribaga ega. 2021–2025 yillarga mo‘ljallangan “Nanoo‘lchamli termoelektrik $BaSi_2$ va Mn_4Si_7 plyonkalarining hosil bo‘lishi va ularning xossalari” mavzusidagi fundamental loyihada uning va shogirdlarining ishtiroki natijasida umumiy qiymati 4 mlrd 465 mln so‘m bo‘lgan grant loyihasi amalga oshirildi. Ushbu tadqiqotlar nanoo‘lchamli materiallar, termoelektrik hodisalar va energiya samaradorligi bilan bog‘liq dolzarb ilmiy masalalarni hal etishga qaratilgani bilan ahamiyatlidir.

Shuningdek, professor M.Normuradov 2024–2025 yillarga mo‘ljallangan, qiymati qariyb 2 mlrd so‘m bo‘lgan “Energiya tejovchi texnologiyalarda foydalaniladigan silitsid metall va yarimo‘tkazgich birikmalar asosidagi nanoo‘lchamli plyonkalarni olish texnologiyasini yaratish” mavzusidagi ilmiy loyihaga rahbarlik qildi. Mazkur loyiha fundamental fizika natijalarini energiya tejamkor texnologiyalar va zamonaviy materiallar texnologiyasi bilan bog‘lash, ilmiy ishlanmalarni amaliy vazifalarga yo‘naltirish nuqtai nazaridan muhim ahamiyat kasb etadi. Bunday loyihalardagi ishtirok va rahbarlik professorning ilmiy g‘oyani maqsadli dastur, eksperimental tadqiqot va amaliy natijaga aylantira olish qobiliyatini namoyon etadi.

M.Normuradovning xizmatlari faqat ilmiy-pedagogik faoliyat bilan cheklanmaydi. U ko‘p yillar davomida oliy ta’lim muassasalarida mas’ul rahbarlik lavozimlarida ishlab,

ta’lim va ilm-fanni boshqarish sohasida katta tajriba orttirgan. 1990–1992 yillarda Toshkent davlat texnika universiteti qoshidagi o‘quv-ilmiy ishlab chiqarish birlashmasi direktori, keyinchalik kafedra mudiri va fakultet dekani sifatida faoliyat yuritdi. 1997–2009 yillarda Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti, 2009–2013 yillarda esa Qarshi davlat universiteti rektori lavozimida samarali mehnat qildi.

Rektorlik faoliyati davrida u ta’lim jarayonini takomillashtirish, ilmiy salohiyatni oshirish, yuqori malakali professor-o‘qituvchilarni jalb etish va qo‘llab-quvvatlash, o‘quv va ilmiy laboratoriyalarni rivojlantirish, moddiy-texnik bazani mustahkamlash, yangi binolar qurilishi va hududlarni obodonlashtirishga qaratilgan keng ko‘lamli ishlarni amalga oshirishda faol ishtirok etdi. Uning rahbarlik uslubida ta’lim, ilm-fan va infratuzilmani bir-biridan ajralmas strategik yo‘nalishlar sifatida qarash tamoyili ustuvor bo‘lgan. Bu yondashuv Qashqadaryo viloyatida oliy ta’lim muassasalarining institutsional rivojlanishi va ilmiy muhitini mustahkamlashga munosib hissa qo‘shdi.

Professor M.Normuradov davlat va jamoatchilik sohasida ham salmoqli faoliyat olib borgan. U turli yillarda Xalq deputatlari Qashqadaryo viloyati Kengashi deputati, 1999–2004 yillarda O‘zbekiston Respublikasi Oliy Majlisi deputati, 2005–2009 yillarda O‘zbekiston Respublikasi Oliy Majlisi Senati a’zosi sifatida faoliyat ko‘rsatgan. Shuningdek, uzoq yillar davomida O‘zbekiston Respublikasi Oliy Majlisining Inson huquqlari bo‘yicha vakili — Ombudsmanning Qashqadaryo viloyatidagi mintaqaviy vakili sifatida jamiyatda qonuniylik, fuqarolar huquq va manfaatlarini himoya qilish, murojaatlar bilan ishlash va huquqiy madaniyatni yuksaltirish jarayonlarida ishtirok etgan.

M.Normuradovning davlat va jamoatchilik faoliyati uning olim va pedagog sifatidagi faoliyatini mazmunan to‘ldirib turadi. Ilmiy muhitdagi talabchanlik, ta’limdagi mas’uliyat, rahbarlikdagi tashabbuskorlik va jamoatchilik faoliyatidagi fidoyilik uning ko‘p qirrali shaxsiy va kasbiy salohiyatini belgilab bergan. U o‘zining uzoq yillik faoliyati davomida ta’lim va ilm-fanni jamiyat taraqqiyotining strategik omili sifatida ko‘rib, yoshlarni bilimli, mustaqil fikrlaydigan va mamlakat ravnaqi uchun mas’uliyat his qiladigan mutaxassislar etib tarbiyalashga alohida e’tibor qaratib kelgan.

Olim va pedagogning ko‘p yillik samarali mehnati davlat va sohaviy darajada munosib e’tirof etilgan. U “O‘zbekiston belgisi” ko‘krak nishoni va “El-yurt hurmati” ordeni bilan taqdirlangan, oliy ta’limda kadrlar tayyorlash va sohani rivojlantirishdagi xizmatlari uchun “Oliy ta’lim fidoyisi” ko‘krak nishoniga sazovor bo‘lgan. Ilm-fan va ta’lim taraqqiyotiga qo‘shgan hissasi e’tirofi sifatida Xalqaro oliy ta’lim akademiyasi a’zoligiga saylangan. 2025-yilda unga I darajali “Mehnat faxriysi” unvoni berilgan. Mazkur e’tiroflar

professorning ilm-fan, ta’lim, rahbarlik va jamoatchilik faoliyatidagi ko‘p yillik xizmatlarining yuksak bahosidir.

Ayni paytda ham professor M.Normuradov Qarshi davlat universiteti Nazariy va eksperimental fizika kafedrasida ilmiy-pedagogik faoliyatini davom ettirib, yosh olimlar, doktorantlar, magistrantlar va talabalarga ustozlik qilmoqda. Uning ishtirokida ilmiy seminarlar, tadqiqot ishlari, dissertatsiya muhokamalari va ilmiy maktab an’analari izchil davom ettirilmoqda. Uning boy ilmiy va hayotiy tajribasi universitet jamoasi uchun nafaqat kasbiy bilim manbai, balki ilmiy halollik, mehnatsevarlik, ustoz-shogird an’analariga sadoqat va Vatan taraqqiyoti uchun xizmat qilishning amaliy namunasi bo‘lib qolmoqda.

Professor M.Normuradovning 80 yillik yubileyi - bir insonning shaxsiy sanasigina emas, balki O‘zbekiston oliy ta’limi va ilm-fanida bir necha o‘n yillik davr mobaynida amalga oshirilgan ilmiy-pedagogik, ilmiy-tashkiliy va davlatchilik xizmatlarini e’tirof etish uchun muhim ma’naviy-ma’rifiy voqeadir. Uning ilmiy maktabi, tayyorlagan yuqori malakali kadrlari, yaratgan tadqiqot infratuzilmasi, amalga oshirgan yirik grant loyihalari, rahbarlik yillarida oliy ta’lim muassasalari rivojiga qo‘shgan hissasi hamda davlat va jamoatchilik faoliyatidagi ko‘p yillik xizmatlari beqiyosdir.

Shu munosabat bilan, professor Muradulla Normuradovning mamlakatimiz oliy ta’lim va ilm-fan taraqqiyotiga, fizik elektronika sohasida ilmiy maktab shakllantirish va rivojlantirishga, yuqori malakali ilmiy-pedagogik kadrlar tayyorlashga, zamonaviy ilmiy laboratoriya va tadqiqot infratuzilmasini yaratishga, fundamental va amaliy loyihalarni amalga oshirishga, hududiy oliy ta’lim tizimini rivojlantirishga, shuningdek, davlat va jamiyat hayotiga qo‘shgan ko‘p yillik munosib hissasini e’tirof etgan holda tom ma’noda fan va oliy ta’lim fidoyisi,taniqli olim va jamoat arbobi ustozimiz Murodulla Normuradovni qizg‘in va samimiy muborakbod etar ekanmiz, zahmatkash, atoqli olim va jamoat arbobi, ustoz - pedagog, oliy ta’lim kayvonisi Murodulla Normuradovga keyingi hayot sarhadlari yanada yuksak va nurli manzillardan iborat bo‘lishini tilak bildirib qolamiz.

Dilmurod Hamidullayevich Nabiyev,
Qarshi davlat universiteti rektori,
iqtisod fanlari doktori, professor

I SHO'BA. MIKRO VA NANOELEKTRONIKADA YANGI TEXNOLOGIYALAR VA MATERIALLAR

REVIEW OF SEMICONDUCTOR-BASED IONIZING RADIATION SENSORS IN HARSH ENVIRONMENTS AND THEIR APPLICATIONS

R.M. Mamishova[1,2], S.Ramazanov[2]
[1]Institute of Physics PLE, Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, B. Vagabzadeh ave 9, AZ 1143, Baku, Azerbaijan
[2]Azerbaijan University of Architecture and Construction Ayna Sultanova street 5, Az1073, Baku, Azerbaijan
rakshanamamishova26@yahoo.com

This thesis provides a comprehensive review of semiconductor-based ionizing radiation sensors designed for monitoring accumulated doses and detecting individual particle strikes in harsh radiation environments. As electronic systems increasingly operate in critical fields such as aerospace, nuclear facilities, high-energy physics experiments, and medical oncology, reliable radiation hardening and continuous monitoring have become paramount. This work examines the primary radiation interaction mechanisms—namely Total Ionizing Dose (TID), Single-Event Effects (SEEs), and Displacement Damage (DD)—and evaluates how they degrade modern semiconductor devices [1-2]. Furthermore, it classifies and compares various semiconductor sensor technologies, including silicon diodes, solid-state photomultipliers (SSPMs), radiation-sensitive MOSFETs (RADFETs, FOXFETs, FGMOS), static random-access memory (SRAM) monitors, advanced 3-D NAND flash memories, as well as ternary chalcogenide single crystals ($CuTlS_2$ and $CuTlSe_2$) subjected to γ-irradiation. The advantages, limitations, readout complexities, and prospective applications of each technology are thoroughly discussed, highlighting pathways toward next-generation radiation-resilient electronic systems.

The continuous downscaling of complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) technologies and the expanding deployment of electronics in extraterrestrial space, terrestrial infrastructures, and artificial radiation environments necessitate advanced sensing methodologies [1-2]. Ionizing radiation—comprising gamma-rays, X-rays, high-energy protons, neutrons, and heavy ions—induces severe reliability issues and functional failures in electronic components. To counteract these challenges, radiation sensors are categorized into two primary modes: dosimeters (operating in integral mode to measure cumulative absorbed dose) and particle detectors (operating in pulse counting or active mode to identify transient logic errors and single-event upsets). This thesis outlines the evolutionary trajectory of semiconductor-based radiation sensors, detailing their underlying physical principles and operational scopes .

The impact of radiation on semiconductor devices is broadly classified into three main phenomena. First, Total Ionizing Dose (TID) occurs when high-energy photons and charged particles generate electron-hole pairs within insulating layers (such as SiO_2); while electrons drift away rapidly, holes migrate slowly via hopping transport toward the SiO_2 interface, where deep trapping leads to positive charge accumulation and interface trap generation, ultimately manifesting as significant shifts in threshold voltage (V_{TH}), increased leakage currents, and degraded transconductance. Second, Single-Event Effects (SEEs) happen when the incidence of a single energetic particle near a reverse-biased junction creates a funnel-shaped path of dense electron-hole pairs, producing a prompt current spike that causes non-destructive soft errors such as Single-Event Upsets (SEUs) in memory cells, as well as catastrophic hard errors like Single-Event Latchups (SELs) and burnout. Third, Displacement Damage (DD), caused by non-ionizing energy loss (NIEL) from energetic neutrons, protons, or electrons, creates permanent crystal defects (Frenkel defects) that introduce deep-band traps, increasing thermal carrier recombination and reducing free carrier lifetime.

In parallel, structural investigations on ternary chalcogenide single crystals ($CuTlS_2$ and $CuTlSe_2$) under gamma-irradiation reveal distinct defect formations, lattice modifications, and vibrational shifts analyzed via XRD, FTIR, and Raman spectroscopy.

Different sensing devices employ distinct physical properties and readout configurations to measure radiation metrics. Silicon diodes and photodiodes utilize reverse-biased p-n junction diodes, PIN, and avalanche photodiodes that operate effectively in pulse or integral modes for high-dose and high-energy particle detection, while Solid-State Photomultipliers (SSPMs) coupled with scintillators offer a compact alternative to traditional vacuum photomultiplier tubes. Radiation-sensitive MOSFETs—including RADFETs, FOXFETs, and FGMOS—utilize thick gate or field oxides to exploit radiation-induced oxide trapped charges for tracking V_{TH} shifts, with Floating-Gate MOSFETs (FGMOS) providing high resolution and favorable on-chip integration for occupational and *in vivo* medical dosimetry despite saturation at higher dose levels. Memory-based monitors such as Static Random-Access Memory (SRAM) are widely used to monitor SEUs in space and accelerator environments due to their high density and low power consumption, whereas multi-bit 3-D NAND flash memories allow precise measurement of threshold voltage distributions, enabling the extraction of Linear Energy Transfer (LET) spectra, particle incidence angles, and beam uniformity. Finally, emerging technologies like Resistive Random-Access Memory (ReRAM) memristors and Fully-Depleted Silicon-on-Insulator (FDSOI) varactors represent promising frontiers, with FDSOI varactors utilizing buried-oxide (BOX) layers to achieve ultra-high sensitivity via AC capacitance-voltage (C-V) and resonant frequency measurements, making them highly effective for low-dose and therapeutic applications .

Semiconductor-based radiation sensors are critical instruments for ensuring the safety, reliability, and fault tolerance of electronic hardware deployed in harsh radiation environments . While planar devices like silicon diodes and SRAM monitors remain industry standards for high-dose and real-time SEU tracking, emerging technologies such as 3-D NAND flash, memristors, and FDSOI varactors offer unprecedented sensitivity and spatial resolution . Future developments in 3-D integration, advanced mixed-signal readout electronics, and error-mitigation algorithms will further enhance the robustness and lifespan of integrated radiation sensor systems .

References

1. Karmakar, A., Wang, J., Prinzie, J., De Smedt, V., & Leroux, P. (2021). A Review of Semiconductor Based Ionising Radiation Sensors Used in Harsh Radiation Environments and Their Applications. *Radiation*, 1(3), 194–217.

2. Rosenfeld, A. MOSFET Dosimetry on Modern Radiation Oncology Modalities. Radiat. Prot. Dosim. 2002, 101, 393–398.

TEMPERATURE OF ELECTRON GAS IN SOLIDS AND HOT CARRIER SOLAR CELLS

Igor Konovalov
Ernst Abbe University of Applied Science in Jena, 07745, Jena, Germany

Abstract

Conventional solar cells based on a semiconductor material with a certain single band gap promise maximum theoretical energy efficiency of 33,7% (up to 40 % at full light concentration), known as Schockley-Queisser limit. This is not much, when compared to the Carnot efficiency of 95%. A question arises whether it is possible to create a solid-state heat engine, which would operate similar to a Carnot process, but using expansion of hot electron gas instead of conventional gas. The existence of hot electrons in a cold crystalline lattice is possible due to the large mass difference between electrons and atoms: at

scattering, the kinetic energy exchange is very inefficient. The corresponding solar cell was proposed several decades ago and is called hot carrier solar cell. Since that, attempts to build high efficiency hot carrier solar cells were not successful, the reason is low electron temperature in conventional solids under sunlight. I proposed a simple method to measure electron temperature in conductive solids under sunlight using the magnitude of thermal noise. The talk will give an introduction in the problem, focus on experimental measurement technique of noise temperature under concentrated natural sunlight, present some examples and discuss problems arising.

HF KIMYOVIY ISHLOVINING N^+-SI:SB(100) SIRTIDAGI VOLT-AMPER XARAKTERISTIKALAR VA QUTBIY O'TKAZUVCHANLIK ASIMMETRIYASIGA TA'SIRI

O.O. Mamatkarimov, A.A. Abdulxayev, I.Q. Nosirdinov
Namangan davlat texnika universiteti
nosirdinovi@gmail.com

Kremniy texnologiyasiga asoslangan mikroelektron va asbobsozlik tuzilmalarida chegara sirtining dastlabki fizik-kimyoviy holati keyingi qatlamlar o'sishi hamda hosil qilinadigan elektr kontaktlarning sifatini bevosita belgilab beradi. Yarimo'tkazgich sirtida nazoratsiz hosil bo'ladigan tabiiy kremniy oksidi (SiO_x), adsorbsiyalangan organik qoldiqlar va ion iflosliklari sirt potensiali relyefini hamda zaryad tashuvchilar injeksiyasini kuchli deformatsiyalaydi. An'anaviy tozalash amaliyotida gidroftorid kislotasi (HF) sirtiy oksid qatlamini selektiv eritib, kremniy sirtini vodorod bilan tugallangan (H-terminatsiyalangan) passiv holatga keltirish uchun qo'llaniladi [1–4]. Shunga qaramay, real laboratoriya sharoitida kimyoviy ishlovdan so'ng yuvish va atrof-muhit bilan o'zaro ta'sirlashuv sirtning energetik holatiga murakkab ta'sir ko'rsatishi mumkin [5, 6]. Ushbu tadqiqotning maqsadi surma bilan kuchli legirlangan n^+-Si:Sb(100) monokristall plastinalarida tabiiy oksidli hamda HF bilan ishlangan sirtlarning volt-amper (V–A) xarakteristikalarini qiyosiy tahlil qilish, qutbiy asimmetriya va differensial qarshilik o'zgarishlarini miqdoriy aniqlashdan iborat.

Tadqiqot obyekti sifatida (100) kristallografik orientatsiyaga ega, surma bilan kuchli legirlangan va solishtirma elektr qarshiligi 0.01 Ω·cm bo'lgan monokristall n^+-Si:Sb kremniy namunalari tanlab olindi. Namunalar sirtini kimyoviy modifikatsiyalash quyidagi tasdiqlangan texnologik rejim bo'yicha amalga oshirildi: dastlabki deionizatsiyalangan (DI) suvda chayish → HF eritmasida 2 daqiqa davomida ishlov berish → DI suvda ikkilamchi yakuniy yuvish. Oksid qatlamining erish jarayoni quyidagi umumiy kimyoviy reaksiya asosida kechadi: $SiO_2 + 6HF \rightarrow H_2SiF_6 + 2H_2O$ HF eritmasidan so'ng o'tkaziladigan suvli yuvish erigan kompleks birikmalarni ketkazish bilan bir qatorda, qisman Si–F bog'larining gidrolizlanishi hisobiga sirtda Si–OH guruhlari paydo bo'lishiga zamin yaratadi [5]. Elektr o'lchovlari Keithley 2400-C manba-o'lchagichi yordamida chiziqli kuchlanish skanerlash (Voltage Sweep) tartibida bajarildi. O'lchash parametri sifatida −4 V dan +4 V gacha bo'lgan bipolyar oraliqda 500 nuqtali qadam (o'rtacha qadam kengligi ≈0.016032 V) tanlandi. Eksperiment ikki zondli (2-wire), oldingi terminal orqali vaqtinchalik mexanik proba kontaktida o'tkazildi (tok cheklovi 0.1 A, source-to-measure kechikishi 5 ms, o'lchash darchasi 20 ms, NPLC=1). Sirt holatini diagnostik qiyoslash uchun uzluksiz, lokal tebranishlarsiz olingan reprezentativ o'lchovlar — tabiiy oksidli holat uchun B2 namunasi (Run 10) hamda HF bilan ishlov berilgan holat uchun B4 namunasi (Run 12) tanlandi. Past maydonli differensial o'tkazuvchanlik (G_0) kuchlanishning $|V| \leq 0.5$ V oralig'ida chiziqli regressiya orqali baholanib, differensial qarshilik $R_0 = 1/G_0$ sifatida topildi. Qutbiy asimmetriya darajasi Kas = I(+4 V) / |I(−4 V)| formulasi bilan, normallashgan qutbiy selektivlik koeffitsiyenti esa S_p = [I(+4 V) − |I(−4 V)|] / [I(+4 V) + |I(−4 V)|] ifodasi orqali hisoblandi.

Eksperimental V–A egri chiziqlarining tahlili kimyoviy modifikatsiyadan so'ng elektr o'tkazuvchanlik mexanizmida tub o'zgarishlar yuz berganini ko'rsatdi. Olingan asosiy miqdoriy ko'rsatkichlar 1-jadvalda

jamlangan. Boshlang‘ich B2 namunasida V–A grafigi nochiziqli bo‘lishiga qaramay, qutbiy simmetriyaga ancha yaqin qiymatlarni namoyon etdi: K_as = 0.879 (ideal simmetriyadan 12.1% past), S_p esa −0.0647 ga teng bo‘lib, manfiy kuchlanish yo‘nalishida biroz yuqoriroq tok kuzatildi HF eritmasida ishlov berilgan B4 namunasida tok o‘tish xarakteristikasining keskin o‘zgarishi kuzatildi. Manfiy siljishdagi tok moduli |I(−4 V)| 16.450 mA dan 5.597 mA gacha kamayib, 66.0% ga pasaydi. Bunga qarama-qarshi ravishda, musbat kuchlanishdagi tok I(+4 V) 14.451 mA dan 19.179 mA gacha ortib, 32.7% ga oshdi. Ushbu o‘zgarishlar natijasida qutbiy asimmetriya koeffitsiyenti K_as 0.879 dan 3.426 gacha yetib, 3.90 barobar oshdi. Shuningdek, normallashgan qutbiy selektivlik koeffitsiyenti S_p −0.0647 dan +0.5482 gacha o‘zgarib, tok o‘tishida musbat qutbning ustunlik qiluvchi yo‘nalishga aylanganini ko‘rsatdi.

1-jadval. *Tabiiy oksidli (B2) va HF bilan ishlangan (B4) n^+-Si:Sb(100) namunalarining V–A parametrlari*

Namuna holati	**I(−4 V), mA**	**I(+4 V), mA**	**K_as**	**R_0 (|V|≤0.5 V), kΩ**	**S_p**	**Σ|I|, mA**	**ΔI_q, mA**
B2 (tabiiy SiO_x)	−16.450	+14.451	0.879	0.96	−0.0647	30.901	−1.999
B4 (HF ishlovidan so‘ng)	−5.597	+19.179	3.426	4.69	+0.5482	24.776	+13.582

Bunda samarali chekka toklar yig‘indisi Σ|I| 30.901 mA dan 24.776 mA gacha, ya’ni 19.8% ga kamaygan bo‘lsa-da, qutbiy toklar farqi ΔI_q −1.999 mA dan +13.582 mA gacha keskin ortdi. Past maydonli sohada (|V| ≤ 0.5 V) differensial qarshilik R_0 ning 0.96 kΩ dan 4.69 kΩ gacha, ya’ni qariyb 4.9 barobar oshishi ham tok–kuchlanish xarakteristikasining oddiy omik xususiyatdan sezilarli darajada chetlaganini ko‘rsatadi. Ayniqsa, kichik kuchlanishlarda qarshilikning ortishi bilan bir vaqtda yuqori musbat kuchlanishda (+4 V) tok amplitudasining oshishi jarayonni I=V/R ko‘rinishidagi oddiy omik model yoki dielektrik qatlamning shunchaki kamayishi natijasida umumiy o‘tkazuvchanlikning ortishi bilan izohlash imkonini bermaydi. Kuzatilgan qutbiy assimetriya HF bilan ishlov berish natijasida n^+-Si:Sb(100) monokristall kremniy sirtining elektron tuzilishi va kontakt chegarasidagi energetik holatlarning o‘zgarishi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin. Xususan, sirt energetik relyefining qayta shakllanishi, dielektrik to‘siqning parametrlaridagi o‘zgarishlar hamda sirt dipollarining qayta konfiguratsiyasi zaryad tashuvchilarning ikki qarama-qarshi qutb bo‘yicha o‘tish ehtimolini turlicha o‘zgartirishi mumkin. Shu nuqtai nazardan, HF ta’sirini faqat sirt qatlamining olib tashlanishi sifatida emas, balki kontakt chegarasidagi qutbiy-selektiv zaryad ko‘chishini shakllantiruvchi sirt energetik holatlarning qayta konfiguratsiyasi sifatida qarash maqsadga muvofiq.

Demak, n^+-Si:Sb(100) sirtiga HF eritmasida 2 daqiqalik ishlov berilib, keyinchalik DI suvda yuvilishi natijasida manfiy qutblanishdagi tok moduli 66.0% ga kamaygan, musbat qutblanishdagi tok esa 32.7% ga oshgan. Natijada K_as 0.879 dan 3.426 gacha (3.90 barobar), S_p esa −0.0647 dan +0.5482 gacha o‘zgargan. Shu bilan birga, past maydonli differensial qarshilikning 0.96 kΩ dan 4.69 kΩ gacha, ya’ni qariyb 4.9 barobar ortishi kichik va katta elektr maydonlarida zaryad tashuvchilarning o‘tish mexanizmi bir xil emasligini ko‘rsatadi. Shunday qilib, HF ishlovi natijasida umumiy o‘tkazuvchanlikning oddiy ortishi emas, balki kontakt chegarasida qutbiy-selektiv energetik to‘siq profilining o‘zgarishi va unga bog‘liq assimetrik zaryad injeksiyasi yuzaga kelgan, deb talqin qilish mumkin. Biroq standartlashtirilgan metall kontakt maydonining mavjud emasligi sababli ushbu o‘zgarishlarning aniq mikroskopik mexanizmini bir qiymatli aniqlash imkoniyati cheklangan. Xususan, termoelektron emissiya, tunnellanish yoki elektr

maydon ta’siridagi emissiya kabi mexanizmlarning nisbiy hissasini ajratish uchun qo‘shimcha haroratga bog‘liq tok–kuchlanish va sig‘im–kuchlanish o‘lchovlarini amalga oshirish talab etiladi.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Bachman M. Cleaning Procedures for Silicon Wafers. INRF Application Note, University of California Irvine, 2002.
2. Kern W., Puotinen D. A. Cleaning solutions based on hydrogen peroxide for use in silicon semiconductor technology. RCA Review, 1970, 31(2), 187–206.
3. Fenner D. B., Biegelsen D. K., Bringans R. D. Silicon surface passivation by hydrogen termination. Journal of Applied Physics, 1989, 66, 419–424.
4. Higashi G. S., Chabal Y. J., Trucks G. W., Raghavachari K. Ideal hydrogen termination of the Si(111) surface. Applied Physics Letters, 1990, 56, 656–658.
5. Takahagi T., Ishitani A., Kuroda H., Nagasawa Y. Fluorine-containing species on the hydrofluoric acid etched silicon single-crystal surface. Journal of Applied Physics, 1991, 69, 803–807.
6. Morita Y., Tokumoto H. Atomic scale flattening and hydrogen termination of the Si(001) surface by wet-chemical treatment. Journal of Vacuum Science & Technology A, 1996, 14, 854–858.

GaP TAGLIKLARIDA SiGaPZnSeZnTe TARKIBLI QATLAMLARINING SUYUQ FAZALI EPITAKSIYASI

Saidov A.S., Usmonov Sh.N., Saparov D.V., Abdullayev H.Sh.
O‘zR FA S.A. Azimov nomidagi Fizika-texnika instituti Toshkent sh., Ch. Aytmatov ko‘chasi 2B
E-mail: habibabdullayev04@gmail.com

Mikro - va optoelektron qurilmalarning samaradorligi epitaksial qatlamlarning strukturaviy mukammalligi, kimyoviy tozaligi, stexiometrik tarkibi va bir jinsliligiga bevosita bog‘liq. Bunday qatlamlarni olishda suyuq fazali epitaksiya (SFE) usuli samarali bo‘lib, nisbatan past haroratlarda kristallanish jarayoni, o‘sish tezligi va qatlam qalinligini boshqarish imkonini beradi [1].

A^3B^5 va A^2B^6 turdagi yarimo‘tkazgich birikmalarni Si texnologiyasi bilan integratsiyalash ko‘p funksiyali yarimo‘tkazgich materiallarni shakllantirish imkonini beradi [2]. Bunday tizimlarda eritmaning to‘yinish darajasi, kristallanish harorati va sovitish tezligi epitaksial qatlam tarkibi hamda morfologik sifatini belgilovchi asosiy texnologik omillar hisoblanadi. Mazkur ishning maqsadi Sn eritmasidan SFE usulida GaP taglik yuzasida Si, GaP, ZnSe va ZnTe lar asosida ko‘p komponentli epitaksial qatlamni shakllantirish va uning element tarkibini EDS usulida aniqlashdan iborat.

Epitaksial qatlamlar uchta mustaqil boshqariladigan issiqlik zonasiga ega avtomatlashtirilgan vertikal SFE qurilmasida o‘stirildi. Jarayon oldidan kvarts reaktor vakuum yordamida atmosfera gazlaridan tozalandi va “Palladiy-15” tizimida tozalangan vodorod bilan to‘ldirildi. O‘stirish davomida reaktorda kichik vodorod oqimi saqlab turildi.

Qalayli eritma Sn – 80 g, Si – 0,55 g, GaP – 1,90 g, ZnSe – 1,20 g va ZnTe – 1,50 g miqdorlarda tayyorlandi. Bunda Sn asosiy erituvchi vazifasini bajarib, Si, GaP, ZnSe va ZnTe komponentlarining nisbatan past haroratlarda erishi va keyinchalik eritmadan epitaksial kristallanishi uchun muhit hosil qiladi. Taglik sirtining eritma bilan ho‘llanishini yaxshilash maqsadida eritmaga oz miqdorda Al (0,2 g) qo‘shildi. Eritmaning taglik bilan yaxshi ho‘llanishi «taglik–eritma» chegarasida uzluksiz kontakt hosil bo‘lishini ta’minlab, lokal quruq sohalar va notekis nukleatsiya ehtimolini kamaytiradi.

Taglik sifatida diametri 2 cm bo‘lgan, Te bilan legirlangan *n*-turdagi GaP(100) monokristallaridan foydalanildi. GaP taglikning tanlanishi nafaqat uning yarimo‘tkazgich xossalari, balki o‘stirilayotgan ko‘p

komponentli qatlam tarkibidagi GaP komponenti bilan strukturaviy yaqinligi bilan ham bog‘liq. Tagliklar grafit kassetada o‘zaro 1 mm masofada joylashtirildi. Bunday geometriya tagliklar orasida cheklangan hajmdagi eritma qatlamini hosil qilib, eritmadagi komponentlarning kristallanish frontiga asosan diffuziya orqali yetkazilishini ta’minlaydi. Eritma qatlamining kichik qalinligi diffuziya yo‘lini qisqartirib, kristallanish frontidagi konsentratsiya gradientlarini va komponentlarning massa ko‘chishini nazorat qilish imkonini beradi.

Boshlang‘ich eritma 850 °C gacha qizdirilib, komponentlarning to‘liq erishi va eritma hajmi bo‘ylab bir tekis taqsimlanishini ta’minlash uchun ushbu haroratda 40 min davomida ushlab turildi. Izotermik ushlab turish eritmadagi lokal konsentratsiya gradientlarining kamayishiga va tizimning termodinamik muvozanat holatiga yaqinlashishiga yordam beradi. So‘ngra GaP tagliklari joylashtirilgan grafit kasseta eritmaga tushirilib, tagliklar orasidagi 1 mm bo‘shliq eritma bilan to‘ldirildi. Kasseta asosiy eritma hajmidan chiqarilgach, kristallanish tagliklar orasida saqlanib qolgan cheklangan hajmdagi eritmadan amalga oshiriladi. Bunday usul kristallanish zonasidagi eritma miqdorini chegaralab, konvektiv oqimlarning ta’sirini kamaytiradi va massa ko‘chishida diffuzion mexanizmning rolini oshiradi.

Kristallanish haroratni 850 °C dan 750 °C gacha 1 °C/min tezlikda pasaytirish orqali olib borildi. Harorat pasayishi bilan eritmadagi komponentlarning muvozanat eruvchanligi kamayadi va eritma o‘ta to‘yingan holatga o‘tadi. Kristallanishning termodinamik harakatlantiruvchi kuchi aynan shu o‘ta to‘yinish bilan belgilanadi.

Sovitish tezligi o‘ta to‘yinishning hosil bo‘lish tezligi bilan komponentlarning kristallanish frontiga diffuzion yetkazilishi o‘rtasidagi nisbatni belgilaydi. Sovitish haddan tashqari tez bo‘lganda o‘ta to‘yinish keskin ortib, kristallanish faqat taglik yuzasida emas, balki eritma hajmida ham boshlanishi mumkin. Natijada ikkilamchi nukleatsiya, alohida kristallitlar, dendritsimon tuzilmalar va sirt notekisligi yuzaga keladi. Aksincha, juda sekin sovitishda o‘ta to‘yinish kichik bo‘lib, kristallanishning harakatlantiruvchi kuchi kamayadi va qatlamning o‘sish tezligi pasayadi. Shu sababli, 1 °C/min sovitish tezligi o‘ta to‘yinish va diffuzion massa ko‘chishi o‘rtasida maqbul nisbatni ta’minlovchi texnologik rejim sifatida tanlandi.

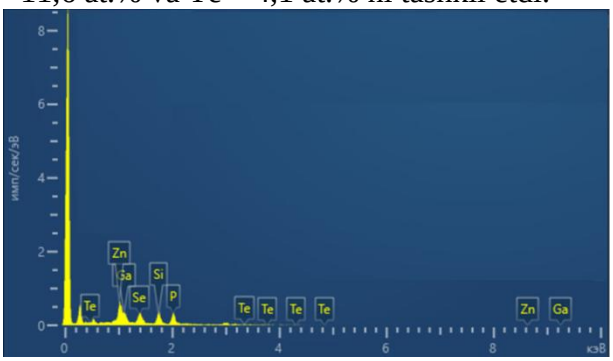
Eritmaning boshlang‘ich to‘yinish darajasi ham «taglik–eritma» chegarasidagi jarayonlarni belgilovchi muhim omildir. Agar eritma 850 °C da GaP ga nisbatan to‘yinmagan bo‘lsa, termodinamik muvozanatga erishish uchun taglikning sirt qatlami eritmaga o‘ta boshlaydi. Bu holat taglik yuzasining yemirilishi, «taglik–qatlam» chegarasining notekislanishi va kristallanish frontining fazoviy bir jinsliligi buzilishiga olib kelishi mumkin. Aksincha, boshlang‘ich o‘ta to‘yinish haddan tashqari yuqori bo‘lsa, geterogen epitaksial kristallanish bilan bir qatorda eritma hajmida gomogen yoki parazitar nukleatsiya ehtimoli ortadi. Shu sababli eritma tarkibi, boshlang‘ich to‘yinish harorati va sovitish tezligi o‘zaro muvofiqlashtirilib tanlandi.

Harorat 750 °C ga yetgach, tagliklar orasidagi ortiqcha metall eritma sentrifugalash yo‘li bilan chiqarib tashlandi. Bu jarayon sirtida Sn ga boy metall qoldiqlarining saqlanib qolishini kamaytiradi va epitaksial qatlamning keyingi strukturaviy hamda element tahlilini ishonchliroq amalga oshirish imkonini beradi. Namunalar nazorat ostida sovitilib, GaP taglik yuzasida qalinligi taxminan 10 μm bo‘lgan epitaksial qatlam hosil bo‘ldi.

Ko‘p komponentli qatlamning strukturaviy holati uning tarkibiy qismlariga xos kristall panjara parametrari bilan chambarchas bog‘liq. GaP, Si, ZnSe va ZnTe ning panjara parametrlari mos ravishda 5,451; 5,431; 5,668 va 6,104 Å ni tashkil etadi. GaP ga nisbatan panjara nomuvofiqligi Si uchun −0,37%, ZnSe uchun +3,97% va ZnTe uchun +11,97% ni tashkil etadi. Si va GaP panjara parametrlarining bir-biriga juda yaqinligi ushbu komponentlarning umumiy kristall panjaraga kiritilishida elastik deformatsiyalar nisbatan kichik bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatadi. ZnSe ning kiritilishi esa panjarada sezilarliroq lokal deformatsiyalar hosil qiladi. ZnTe uchun panjara nomuvofiqligining katta bo‘lishi uning miqdori oshganda elastik energiyaning ortishi, lokal deformatsiyalar, dislokatsiyalar yoki boshqa strukturaviy relaksatsiya

mexanizmlarining yuzaga kelish ehtimolini kuchaytiradi. Shu sababli ko‘p komponentli tizimda komponentlarning nisbiy ulushi qatlamning strukturaviy barqarorligini belgilovchi muhim omillardan biridir.

O‘stirilgan qatlamning sirt morfologiyasi va element tarkibi JEOL JSM-IT510 skanerlovchi elektron mikroskopi hamda Oxford Instruments AZtec Advanced energiya-dispersiv rentgen spektroskopiya tizimi yordamida o‘rganildi (1-rasm). EDS spektrida Si, Ga, P, Zn, Se va Te elementlariga mos xarakteristik rentgen chiziqlarining kuzatilishi ushbu elementlarning o‘stirilgan qatlam tarkibida mavjudligini ko‘rsatdi. Miqdoriy tahlil natijalariga ko‘ra, qatlamdagi elementlarning atom ulushlari Si – 26,5 at.%, Ga – 7,3 at.%, P – 35,2 at.%, Zn – 15,3 at.%, Se – 11,6 at.% va Te – 4,1 at.% ni tashkil etdi.



1-rasm. *$(Si)_{1-x-y-z}(GaP)_x(ZnSe)_y(ZnTe)_z$ qatlamining EDS spektri.*

EDS natijalaridagi atom ulushlari asosida qatlamning ehtimoliy strukturaviy tashkil topishi haqida dastlabki xulosalar chiqarish mumkin. Biroq EDS usuli elementlarning miqdoriy tarkibini aniqlaydi, atomlarning muayyan kristallografik tugunlarda joylashishini yoki ular orasidagi kimyoviy bog‘lanish turini bevosita aniqlamaydi. Shu sababli quyida keltirilgan strukturaviy ifodalar EDS natijalariga asoslangan formal stexiometrik model sifatida qaralishi lozim.

Elementlarni shartli ravishda ikki guruhga ajratganda, Si, Ga va Zn atomlarining umumiy ulushi: C(Si) + C(Ga) + C(Zn) = 26,5 + 7,3 + 15,3 = 49,1 at.% ni tashkil etadi. P, Se va Te atomlarining umumiy ulushi esa: C(P) + C(Se) + C(Te) = 35,2 + 11,6 + 4,1 = 50,9 at.% ga teng. Demak, (Si + Ga + Zn) : (P + Se + Te) = 49,1 : 50,9 ≈ 1 : 1. Ushbu nisbat qatlam tarkibini birinchi yaqinlashuvda ikkita o‘zaro to‘ldiruvchi atom guruhidan tashkil topgan AB-tipdagi formal strukturaviy model asosida tavsiflash mumkinligini ko‘rsatadi.

Har bir guruh ichidagi atom ulushlarini alohida normallashtirganda, birinchi guruh uchun quyidagi qiymatlar olinadi: x_{Si} = 26,5/49,1 ≈ 0,540; x_{Ga} = 7,3/49,1 ≈ 0,149; x_{Zn} = 15,3/49,1 ≈ 0,312. Ikkinchi guruh uchun esa: x_P = 35,2/50,9 ≈ 0,692; x_{Se} = 11,6/50,9 ≈ 0,228; x_{Te} = 4,1/50,9 ≈ 0,081.

Shunday qilib, EDS natijalariga asoslangan qatlamning formal empirik tarkibini quyidagicha ifodalash mumkin: $(Si_{0,540}Ga_{0,149}Zn_{0,312})(P_{0,692}Se_{0,228}Te_{0,081})$.

Ushbu yozuv qatlamning yagona kristall fazaga tegishli ekanligini emas, balki aniqlangan atomlarning umumiy stexiometrik nisbatini ifodalaydi.

Tarkibni alohida kimyoviy guruhlar nuqtai nazaridan tahlil qilish ham muhim natija beradi. Si va Ga atomlarining umumiy miqdori: C(Si) + C(Ga) = 26,5 + 7,3 = 33,8 at.% bo‘lib, bu qiymat P miqdoriga, ya’ni 35,2 at.% ga yaqin. Demak, (Si + Ga) : P ≈ 33,8 : 35,2 ≈ 1 : 1.

Si va Ga ning ushbu guruh ichidagi nisbiy ulushlari: x_{Si} = 26,5/33,8 ≈ 0,784; x_{Ga} = 7,3/33,8 ≈ 0,216. Mazkur qismni formal ravishda: $(Si_{0,784}Ga_{0,216})P$ tipidagi strukturaviy birlik sifatida tasvirlash mumkin.

Xuddi shuningdek, Se va Te atomlarining umumiy miqdori: C(Se) + C(Te) = 11,6 + 4,1 = 15,7 at.% bo‘lib, bu qiymat Zn miqdoriga – 15,3 at.% ga juda yaqin. Demak, Zn : (Se + Te) ≈ 15,3 : 15,7 ≈ 1 : 1. Se va Te ning ushbu guruhdagi normallashgan ulushlari: x_{Se} = 11,6/15,7 ≈ 0,739; x_{Te} = 4,1/15,7 ≈ 0,261. Natijada II–VI turdagi strukturaviy birlikni formal ravishda: $Zn(Se_{0,739}Te_{0,261})$ ko‘rinishida ifodalash mumkin.

Shunday qilib, EDS natijalarini o‘zaro bir-birini to‘ldiruvchi ikki xil yondashuv asosida talqin qilish mumkin. Birinchi yondashuvda qatlam ko‘p komponentli AB-tipdagi umumiy tizim sifatida: $(Si_{0,540}Ga_{0,149}Zn_{0,312})(P_{0,692}Se_{0,228}Te_{0,081})$ formal tarkib bilan tavsiflanadi. Ikkinchi yondashuvda esa elementlarning stexiometrik nisbatlari qatlam tarkibida: $(Si_{0,784}Ga_{0,216})P$ va $Zn(Se_{0,739}Te_{0,261})$ tipidagi lokal kimyoviy birliklarning shakllanish ehtimolini ko‘rsatadi.

Umuman olganda, EDS natijalari (Si, Ga, Zn) va (P, Se, Te) atom guruhlari o‘rtasida deyarli 1 : 1 stexiometrik nisbat mavjudligini ko‘rsatadi. Bundan tashqari, (Si + Ga) ≈ P hamda Zn ≈ (Se + Te) munosabatlarining bajarilishi qatlam tarkibida III–V va II–VI tipidagi lokal strukturaviy birliklarning shakllanish ehtimolini ko‘rsatadi. Biroq EDS ma’lumotlari asosida qatlamni bir fazali ko‘p komponentli qattiq qorishma deb qat’iy tasdiqlash mumkin emas. Buning uchun EDS natijalarini rentgen difraksiyasi, Raman spektroskopiyasi va boshqa strukturaviy tahlil usullari bilan birgalikda ko‘rib chiqish zarur.

Xulosa. Sn eritmasidan suyuq fazali epitaksiya usulida GaP taglik yuzasida qalinligi taxminan 10 μm bo‘lgan ko‘p komponentli epitaksial qatlam olindi. Kristallanishning 850–750 °C harorat oralig‘ida 1 °C/min sovish tezligida olib borilishi barqaror o‘sish sharoitini ta’minladi. EDS tahlili qatlam tarkibida Si, Ga, P, Zn, Se va Te elementlari mavjudligini ko‘rsatdi. Aniqlangan atom ulushlarining stexiometrik nisbatlari asosida qatlam tarkibini birinchi yaqinlashuvda ikki o‘zaro to‘ldiruvchi atom guruhidan tashkil topgan AB-tipdagi formal strukturaviy model sifatida tavsiflash mumkin. Ushbu modelning empirik tarkibi taxminan $(Si_{0,54}Ga_{0,149}Zn_{0,312})(P_{0,692}Se_{0,228}Te_{0,081})$ ko‘rinishiga mos keladi. Olingan natijalar tanlangan texnologik rejim GaP tagliklarda ko‘p komponentli epitaksial qatlamlarni shakllantirish uchun samarali ekanligini ko‘rsatadi.

Adabiyotlar

1. Scheel H.J. *Introduction to Liquid Phase Epitaxy*. John Wiley & Sons, 2007, pp. 1–19.
2. Wang K., Zhang M., Zeng T., He F., Wen W. Lattice-matched heteroepitaxial preparation of InSb/CdTe on Si (111) substrate by magnetron sputtering. *Vacuum*, 212 (2023), 112010.

YEVROPIY KIRISHMA ATOMLARI NANOKLASTERLARINING KREMNIY KRISTALL PANJARASIDA ELEKTROFIZIK PARAMETRLARGA TA'SIRI

Qurbanova U.X.[1], Isakov B.O.[2] Xusanboyeva F.R.[3]
Toshkent Davlat Texnika Universiteti professori, f-m,f-n[1]
Toshkent Davlat Texnika Universiteti dotsenti, PhD[2]
Toshkent Davlat Texnika Universiteti tayanch doktoranti[3]

ANNOTATSIYA: Ushbu ishda KEF-4,5, KEF-80 va KEF-100 markali kremniy kristall panjarasiga yevropiy (Eu) atomlarini kiritishning elektrofizik parametrlarga ta'siri nazariy modellashtirilgan. Hisob-kitoblar fosfor konsentratsiyasi kam bo'lgan KEF-80 va KEF-100 markalarida qarshilik o'zgarishi mos ravishda ~55% va ~65% gacha yetishini ko'rsatdi. Natijalar radiatsiyaga chidamli va sezgir funksional materiallar yaratish uchun optimal substratni tanlash imkonini beradi.

Kalit so'zlar: yevropiy, kremniy matrisasi, nanoklasterlar, elektrofizik parametrlar, solishtirma qarshilik,KEF-80.

KIRISH

Yarimo'tkazgichli asboblar va integral mikrosxemalar texnologiyasida nazorat qilinadigan xossalarga ega yangi funksional materiallar yaratish dolzarb vazifalardan biri hisoblanadi. Bu borada kremniy kristall panjarasiga kirishma atomlarini kiritish va ularning nanoklaster holatida taqsimlanishini boshqarish alohida

ahamiyat kasb etadi. Oxirgi yillarda past haroratli diffuziya usulida kremniyga turli kirishma atomlarini kiritish va ularning nanoklaster ko'rinishida taqsimlanishini boshqarish borasida qator ishlar olib borilgan: xususan, skandiy atomlari bilan legirlangan kremniyda sirt erroziyasisiz, butun hajm bo'yicha bir tekis taqsimlangan nanoklasterlar hosil qilish texnologiyasi va bunday namunalarning yuqori termik hamda radiatsion barqarorligi ko'rsatib berilgan [1]. Noyob yer elementlari — samariy, gadoliniy va yevropiy — bilan legirlangan kremniyda esa diffuziya usulida bir nechta chuqur energetik sathlarning hosil bo'lishi DLTS (chuqur sathlar tranzient spektroskopiyasi) usulida tasdiqlangan, bu esa aynan yevropiy atomlarining kremniy taqiqlangan zonasida faol energetik markazlar yaratish qobiliyatiga ega ekanligidan dalolat beradi. Boshqariluvchi elektrofizik xossalarga ega bunday funksional materiallarning amaliy ahamiyati, jumladan quyosh elementlari negizidagi ta'lim maqsadidagi qurilma va stendlar misolida ham yaqqol namoyon bo'ladi [2], bu esa kremniy kristall panjarasini kirishma atomlari bilan legirlash yo'nalishining nazariy va amaliy istiqbolini yana bir bor tasdiqlaydi.

Kamyob yer elementi bo'lgan yevropiy (Eu) atomlari kremniy kristall panjarasida alohida qiziqish uyg'otadi, chunki Eu ham kremniy kristall panjasrasini deformatsiyalovchi kuchli lokal magnit momentga, ham chuqur energetik sathlar hosil qilish qobiliyatiga ega. Xorijiy tadqiqotchilar tomonidan olib borilgan ishlarda Eu bilan legirlangan kremniyda xona haroratida magnit domenlarning shakllanishi aniqlangan, bu esa Eu atomlarining kremniyda erish chegarasidan ortiq konsentratsiyalarda klasterlanish tendensiyasini tasdiqlaydi [3]. $EuSi_2$ silitsidining kremniy bilan epitaksial kontakt hosil qilishi va uning nanoelektronika uchun istiqbolli material sifatida ko'rilishi[4] Eu-Si tizimidagi o'zaro ta'sirning texnologik ahamiyatini yana bir bor ko'rsatadi. Shuningdek, g'ovak kremniyda Eu^{3+} ionlari orqali samarali energiya ko'chishi mexanizmi aniqlangan [5], bu esa Eu nanoklasterlarining optik va elektron sathlar tuzilishiga bevosita ta'sirini isbotlaydi. Eu atomlarining kuchli lokal magnit momenti asosida manfiy magnit qarshilik effektidan foydalanib magnitsezgir sensorlar yaratish mumkinligi ko'rsatilgan [6], bu esa Eu bilan legirlangan kremniyni nafaqat optik, balki magnitsezgir funksional element sifatida ham qo'llash istiqbolini ochadi. Bundan tashqari, kompensatsiyalangan kremniyda past chastotali tok avtotebranishlarining qo'zg'alish shartlari va parametrlariga bir eksenli siqish ta'sirini o'rganish natijalari shuni ko'rsatadiki, kirishma markazlarining donor-akseptor tabiati va kompensatsiya darajasi material elektrofizik xossalariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi [7], bu esa Eu atomining ham kremniy panjarasida donor, ham akseptor xususiyatli sathlar hosil qilishi mumkinligini tasdiqlovchi qo'shimcha dalil bo'lib xizmat qiladi. Kremniyda rekombinatsiya to'lqinlari parametrlariga magnit maydon, elektr maydon va yorug'lik intensivligining ta'siri bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar [8] shuni ko'rsatadiki, tashqi fizik omillar rekombinatsiya jarayonlari orqali material elektrofizik parametrlarini maqsadli boshqarish imkonini beradi — bu esa Eu nanoklasterlari ishtirokida ham namoyon bo'lishi mumkin bo'lgan mexanizm hisoblanadi. Bu, o'z navbatida, Eu nanoklasterlari mavjud kremniyda qarshilikning temperatura bog'liqligi, tashuvchilar konsentratsiyasi va harakatchanligi kabi elektrofizik parametrlarning an'anaviy legirlangan kremniyga nisbatan tubdan farqli xarakterga ega bo'lishi mumkinligidan dalolat beradi.

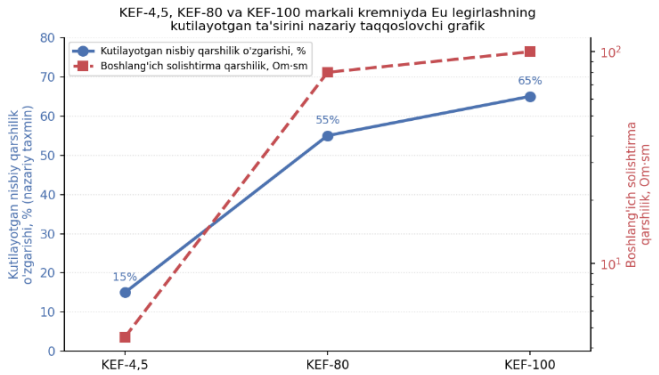
Yevropiy uchun bevosita elektrofizik ma'lumotlar hali cheklangan bo'lsa-da, unga yaqin noyob yer elementi — erbiy — bilan legirlangan kremniy bo'yicha so'nggi yillarda olib borilgan tadqiqotlar bunday tizimlarda yakka kirishma atomlarini elektr va optik usullar bilan aniqlash, ularning zaryad holatini boshqarish va kremniy panjarasidagi joylashuvini nazorat qilish imkoniyatini ko'rsatib bermoqda. Bu natijalar noyob yer elementlari, jumladan Eu, kremniy panjarasiga kiritilganda faqat optik emas, balki elektrofizik jarayonlarga ham sezilarli ta'sir ko'rsatishi mumkinligini tasdiqlaydi. Noyob yer elementlari bilan legirlash sohasida ishlab chiqilgan past haroratli diffuziya usuli va bunday elementlarning kremniydagi elektrofizik xususiyatlarini DLTS usulida tekshirish metodikasi Eu atomlarini KEF-80 markali kremniyga kiritishda ham qo'llanilishi mumkin bo'lgan ishonchli asos yaratadi. Skandiy nanoklasterlari misolida isbotlangan umumiy qonuniyat — nanoklaster o'lchami va konsentratsiyasining termodinamik

sharoitlarga bog'liqligi [1] — Eu-Si tizimi uchun ham qo'llanilishi mumkin bo'lgan umumiy metodologik yondashuvni tashkil etadi. Shu bilan birga, Eu atomining katta ion radiusi va kuchli magnit momenti [3] uni boshqa kirishma turlaridan farqli, o'ziga xos elektrofizik effektlar manbaiga aylantiradi, bu esa uning negizida yaratilishi mumkin bo'lgan magnitsezgir asboblar [6] va kompensatsiyaga sezgir tok avtotebranish rejimlari [7] uchun ham nazariy asos bo'lib xizmat qiladi.

1-jadval. KEF-4,5, KEF-80 va KEF-100 markali kremniyning boshlang'ich elektrofizik parametrlari va ularda Eu legirlashning nazariy kutilayotgan ta'siri

Parametr	KEF-4,5	KEF-80	KEF-100
Solishtirma qarshilik, Om·sm	4,5	80	100
Fosfor atomlari konsentratsiyasi, sm^{-3} (taxminan)	$\approx 1\times10^{15}$	$\approx 5{,}5\times10^{13}$	$\approx 4{,}4\times10^{13}$
Boshlang'ich erkin elektronlar konsentratsiyasi	Yuqori	O'rta-past	Past
Bir xil Eu dozasida Eu/P nisbati (shartli)	Past	Yuqori	Eng yuqori
Kompensatsiya effektiga sezuvchanligi (nazariy tahlil)	Kuchsiz	Kuchli	Eng kuchli
Eu legirlashda kutilayotgan qarshilik o'zgarishi (nazariy)	~15%	~55%	~65%

1-jadval va 1-rasmda keltirilgan nazariy tahlillar shuni ko'rsatadiki, KEF markali kremniyning boshlang'ich solishtirma qarshiligi ortishi bilan Eu atomlarining nisbiy ta'siri kuchayadi: fosfor konsentratsiyasi yuqori bo'lgan KEF-4,5 da kompensatsion ta'sir kuchsiz, KEF-80 va KEF-100 markalarida esa kompensatsion ta'sir va qarshilik o'zgarishi kattaroq bo'ladi [9]. Amalda qaysi marka eng barqaror va texnologik qulay natija berishini aniqlash uchun tajribalar uchala marka asosida bir xil rejimda o'tkaziladi va eng optimal substrat tanlanadi.



1-rasm. KEF-4,5, KEF-80 va KEF-100 markali kremniyda Eu legirlashning kutilayotgan nisbiy ta'sirini nazariy taqqoslash (boshlang'ich solishtirma qarshilik — o'ng o'q; kutilayotgan o'zgarish — chap o'q)

XULOSA: Adabiyotlar tahlili va nazariy hisob-kitoblar Eu kirishma atomlari hamda nanoklasterlarining kremniy elektrofizik parametrlariga ta'sirini o'rganish dolzarbligini ko'rsatadi. KEF-4,5, KEF-80 va KEF-100 markalarini qiyosiy tadqiq qilish orqali eng maqbul substrat markasini asoslab tanlash

hamda kelgusida radiatsiyaga chidamli, harorat va yorug'likka sezgir yangi funksional yarim o'tkazgichli asboblar yaratish mumkin.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Далиев Х.С., Эгамбердиев Б.Э., Хамиджонов И.Х., Норкулов Ш.Б., Эруглиев У.К. Исследование легирования атомами скандия на структуру поверхностного слоя кремния // International Multidisciplinary Research in Academic Science (IMRAS). – 2024. – Vol.7, №4. – P.229–237.

2. Qurbonova U.H., Rakhmonov B.R., Akramova F.M. Original educational devices and benches on basis of solar elements // 2016 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), 02-04 November 2016. – DOI: 10.1109/ICISCT.2016.7777388.

3. Mavlonov G.H., Isamov S.B., Koveshnikov S.V. et al. Ordering of europium magnetic domains in silicon at room temperature // Indian Journal of Physics (Springer Nature). – 2025.Vol.99. – P.2429–2435.

4. Averyanov D.V., Tokmachev A.M., Karateeva C.G. et al. Europium silicide – a prospective material for contacts with silicon // Scientific Reports. – 2016. – Vol.6. – Art. 25980.

5. Ben Zaied M.Y., Enrichi F., Daldosso N. et al. Energy transfer pathway in europium doped porous silicon // Materials Research Bulletin. – 2026. – Vol.195. – Art. 113876.

6. Bakhadirkhanov M.K., Iliev K.M., Ayupov K.S., Sattorov O.E., Qurbonova U.Kh., Mavlonov A.Sh. Magneto-sensors on the basis of negative magnetic resistance // Conference Proceedings - International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering, APEDE. – 2004.

7. Zikrillaev N.F., Sattorov A.A., Zikrillaev X.F., Kurbanova U.Kh., Norkulov N., Shoabdurakhimov M.M., Kushiev G.A., Abduganiev Y.A., Abdullaeva N. Effect of Uniaxial Compression on Excitation Conditions and Parameters of Low Frequency Auto-Oscillations of Current in Compensated Silicon // Journal of Nano- and Electronic Physics. – 2025. – Vol.17, №2. – DOI: 10.21272/jnep.17(2).02014.

8. Zikrillaev N.F., Shoabdurakhimova M.M., Kurbanova U.Kh., Narkulov N., Shakarov F.K. Effect of the Magnetic Field, Electric Field, and Light Intensity on the Parameters of Recombination Waves in Silicon // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. – 2024. – Vol.60, №5. – P.691–697. – DOI: 10.3103/S1068375524700248.

9. Бахадырханов М.К., Кенжаев З.Т., Ковешников С.В., Усмонов А.А., Мавлонов Г.Х. Взаимное влияние высоких концентраций фосфора и бора на их диффузию в кремнии // Неорганические материалы. – 2022. – Т.58, №1. – С.3–9.

NANOO‘LCHAMLI SOI FinFET TRANZISTORLARINING ELEKTRO FIZIK PARAMETRLARIGA OKSID–YARIMO‘TKAZGICH CHEGARASIDAGI TUZOQ HOLATLARI SIG‘IMINING TA’SIRI

Karimov Ibroximjon Nabiyevich (Andijon davlat universiteti Kondensirlangan muhitlar fizikasi kafedrasi professori., f.-m.f.d.).

Xakimov Abdulxakim (Andijon davlat universiteti Umumiy fizika kafedrasi mudiri, professor., p.f.d)

Foziljonov Mirzabaxrom Baxtiyorjon o’g’li (Andijon davlat universiteti Umumiy fizika kafedrasi katta o‘qituvchisi., f.-m.f.f.d. *e-mail: foziljonov.mirzabahrom.1991@gmail.com).

Zamonaviy nanoelektronika sohasidagi jadal taraqqiyot yarimo‘tkazgich qurilmalarining geometrik o‘lchamlarini nanometr o’lchamgacha qisqartirishni talab qilmoqda. Biroq bunday masshtabga o‘tish tranzistorlarda qator murakkab muammolarni yuzaga keltiradi: qisqa kanal effektlarining kuchayishi, sizish toklarning ortishi, bo‘sag‘a kuchlanishining o’zgarishi hamda zatvorning kanal ustidan elektrostatik boshqaruvining yomonlashuvi shular jumlasidandir. Shu munosabat bilan, yuqori darajadagi elektrostatik

nazoratni ta’minlay oladigan yangi konstruktiv yechimlarga ehtiyoj ortmoqda. Amaliy jihatdan eng istiqbolli yo‘nalishlardan biri sifatida ko‘p zatvorli tranzistor tuzilmalari, xususan, SOI texnologiyasiga asoslangan FinFET tuzulmalari keng qo‘llanilmoqda va nanoo‘lchamli qurilmalar samaradorligini oshirishda muhim rol o‘ynamoqda.

SOI asosidagi FinFET tranzistorlarda kanal sohasi bir necha tomondan zatvor bilan qamrab olinishi natijasida bo‘sag‘a osti ko‘rsatkichlari sezilarli darajada yaxshilanadi, sizish toklari kamayadi va qurilmaning umumiy barqarorligi yaxshilanadi. Shu bilan birga, nanoo‘lchamli tuzilmalarda chegara sohasi sifati hal qiluvchi omil bo‘lib qolmoqda. Xususan, oksid-yarimo‘tkazgich chegarasida mavjud nuqsonlar va tuzoq (trap) holatlar qurilmaning elektrofizik xususiyatlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Sirt holatlari zichligi (D_{it}) ortishi bilan chegarada zaryad tashuvchilarni ushlab turuvchi energetik holatlar soni ko‘payadi, bu esa elektrostatik boshqaruv jarayonlari hamda zaryad tashuvchilarning transport xususiyatlarining o‘zgarishiga olib keladi.

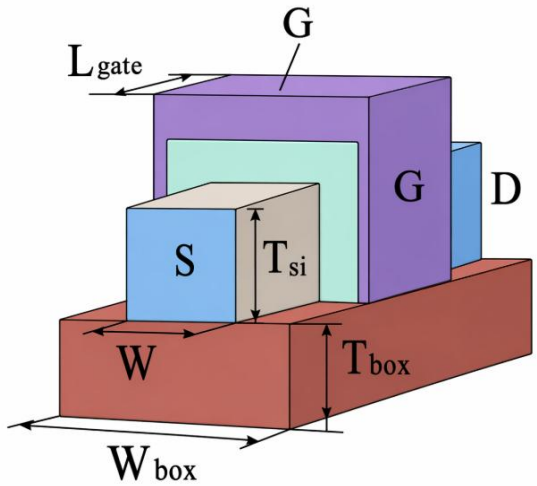
Chegara holatlarining muhim xossalaridan biri ularning sig‘imiy javobidir. Mazkur javob oksid-yarimo’tkazgich chegarasidagi tuzoq holatlar sig’imi (interfeys trap sig‘imi) C_{it} orqali ifodalanadi. Chegaradagi tuzoqlar sig‘imi, tuzoqda tutib qolingan zaryadlarning potensial bo‘yicha o‘zgarishini tavsiflab, sirt holatlari zichligi bilan bevosita bog‘langan asosiy parametr hisoblanadi. Chegaradagi tuzoqlar sig‘imi quyidagi munosabat bilan aniqlanadi:

$$C_{it} = q^2 D_{it} \text{ [1]} \quad (1)$$

Bu ifoda sirt holatlari zichligi ortishi bilan chegaradagi tuzoqlar sig‘imi ham ortishini ko‘rsatadi. Natijada zatvor kuchlanishining bir qismi kanalni boshqarishga emas, balki tuzoqlarda tutib qolingan zaryadlarni muvozanatlashga sarflanadi. Bu esa kanal yuzasidagi potensialning zatvor kuchlanishiga sezgirligini kamaytiradi va bo‘sag‘a osti rejimining yomonlashuviga olib keladi.

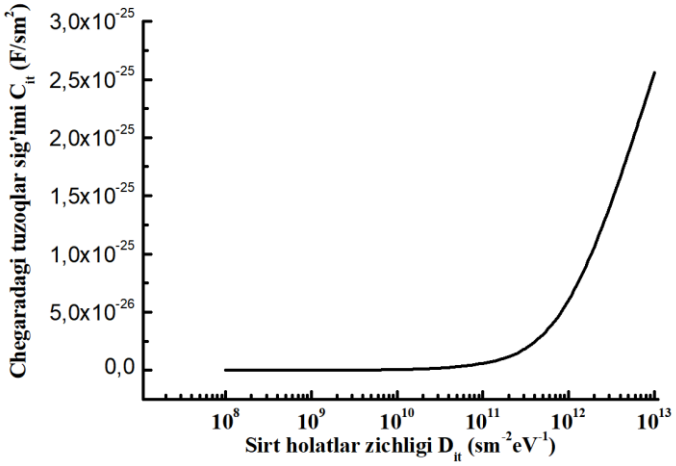
Bo‘sag‘a osti rejimida stok (chiqish) toki kanal sirtidagi elektrostatik potensialga eksponensial tarzda bog‘liq bo‘lib, oksid–yarimo‘tkazgich chegarasidagi tuzoq holatlar sig‘imining o‘zgarishi aynan ushbu rejimda eng sezilarli ta’sirni yuzaga keltiradi. Oksid-yarimo’tkazgich chegarasidagi tuzoqlar sig‘imining ortishi SS ning yomonlashuviga, ya’ni tranzistorning bo‘sag‘adan past sohasining boshqaruv xususiyatlari yomonlashishiga sabab bo’ladi [1]. Shu bilan birga, chegarada joylashgan tuzoqlar kanal bo’ylab zaryad taqsimotini, elektronlar konsentratsiyasini, volt-amper tavsifini va bo‘sag‘a kuchlanishini ham o‘zgartirishi mumkin.

Mazkur ish Synopsys Sentaurus TCAD dasturida raqamli modellashtirish asosida amalga oshirildi. Tadqiqot ob’ekti sifatida kremniy texnologiyasi asosida tayyorlangan vertikal maydon tranzistori — FinFET tuzilmasi tanlab olindi. Qurilmaning uch o‘lchamli geometrik modeli shakllantirilib, uning asosiy geometrik o’lchamlari (zatvor, kanal, istok va stok sohalari hamda oksid qatlamlari) fizik jihatdan real sharoitlarga mos holda parametrik tarzda belgilandi. FinFET tuzilmasining umumiy ko‘rinishi 1-rasmda keltirilgan [2]. Hisoblashlar resurslarini (quvvat va vaqtni) tejash maqsadida modellashtirish jarayonida zaryad tashuvchilar transporti dreyf-diffuzion modeli asosida tavsiflandi. Nanoo‘lchamli tranzistorlarda kvant effektlarni inobatga olish maqsadida zichlik gradientiga asoslangan kvant tuzatmalari joriy etildi. Bundan tashqari, harakatchanlik modelida kirishma atomlar konsentratsiyasiga bog‘liqlik hamda kuchli elektr maydonlarda yuzaga keladigan tezlikning to‘yinish effekti hisobga olindi. Hisoblashlarda Puasson va uzluksizlik tenglamalarini birgalikda yechish orqali qurilmaning elektrostatik holati va zaryad tashuvchilar taqsimoti aniqlab borildi [3].



1-rasm. Modellashtirilgan FinFET tranzistorning tuzulmasi [2].

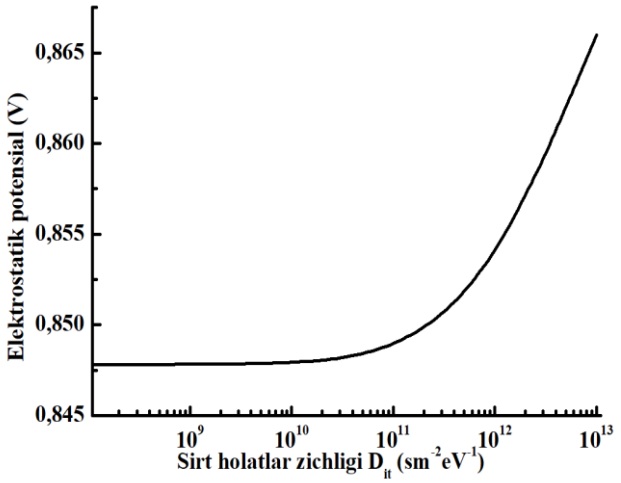
Oksid-yarimo’tkazgich chegarasida hosil bo’lgan tuzoqlar sig’imi C_{it} sirtiy holatlar zichligi D_{it} ni sig’imiy ekvivalenti bo’lib, chegarada hosil bo’lgan tuzoqlarda elektr zaryadlarni tutib qolinishini va bo’shashini tavsiflaydi. Chegarada paydo bo’lgan tuzoqlar sig’imi C_{it} (1) ifoda orqali baholanadi. 2-rasmdan ko’rinadiki, D_{it} ning kichik qiymatlarida (10^8-10^{10} cm^{-2} eV^{-1}) sirtiy holat sig’imi deyarli nolga yaqin bo’lib, juda sekin o’zgaradi. Bu holat kichkina sirtiy holatlar zichliklarda tuzoqlar hosil qilgan sirtiy holat sig’imi umumiy sig’imga ta’sir etmasligini bildiradi. Fizik jihatdan bunday holatda zatvor-kanal (zatvor-istok (stok)) tizimining sig’imi asosan oksid qatlam sig’imi C_{ox} va kambag’allashgan qatlam sig’imi C_{dep} bilan belgilanadi. Chegaradagi tuzoqlar hosil qilgan sirtiy holat sig’imi esa deyarli sezilmaydi. Biroq D_{it} ning 10^{11} cm^{-2} eV^{-1} dan katta qiymatlarida C_{it} ning ortishi kuzatiladi. Ayniqsa 10^{12}-10^{13} cm^{-2} eV^{-1} oraliqda grafikning qiyaligi keskin ortib, chegaradagi tuzoqlarning sirtiy holat sig’imi keskin ortishini ko’rishimiz mumkun. Bu holat yuqori sirtiy holatlar zichligida chegaradagi tuzoqlar zaryad almashinuvi jarayonida ishtirok etib zatvor kuchlanishiga sezilarli ta’sir etayotganligini ko’rsatadi.



2-rasm. Sirtiy holatlar zichligi D_{it} ni chegarada joylashgan tuzoq holatlar sig’imi C_{it} ga ta’siri

Mazkur natija shuni anglatadiki, chegarada hosil bo’lgan tuzoqlar soni ortgani sari zatvor kuchlanishining ma’lum qismi kanalni boshqarishga emas, balki chegaradagi tuzoqlarni zaryad bilan to’ldirish va muvozanatlashga sarflanadi. Shu sababli C_{it} ni ortishi zatvor nazoratining samaradorligini pasaytiruvchi asosiy omillardan biri hisoblanadi.

Oksid-yarimo’tkazgich chegarasidagi tuzoqlarda tutib qolingan zaryadlar hosil qiladigan sirtiy holat potensiali φ_s kanal yuzasidagi umumiy elektrostatik maydon potensialini o’zgarishini belgilovchi asosiy parametr hisoblanadi. Sirtiy holat potensiali φ_s zatvor kuchlanishining kanalni boshqarish darajasini tavsiflaydi. Chegara sohasida tuzoqlar mavjud bo’lganda zatvor kuchlanishining ma’lum qismi kanalni inversion holatga olib kelishga emas, balki tuzoqlarda tutib qolingan zaryadlarni muvozanatlashga sarflanadi. Shu sababli sirtiy holatlar zichligi D_{it} ning ortishi φ_s ni o’zgarishiga olib keladi.



3-rasm. Sirt holatlar zichligining elektrostatik maydon potensialiga ta’siri

D_{it} ning 10^8-10^{10} cm^{-2} eV^{-1} qiymatlarida sirtiy holat potensiali deyarli o’zgarmaydi va barqaror saqlanadi. Bu holatda C_{it} hali juda kichik bo’lib, zatvor kuchlanishining kanal ustidan elektrostatik nazorati kuchli ekanligini ko’rsatadi. Boshqacha aytganda kanal yuzasidagi elektrostatik maydon potensiali asosan C_{ox} va C_{dep} bilan belgilanadi. D_{it} ning 10^{11} cm^{-2} eV^{-1} dan yuqori qiymatlarida chegaradagi tuzoqlarda tutib qolingan zaryadlar hosil qilgan sirtiy holat potensiali φ_s orta boshlaydi va ayniqsa 10^{12}-10^{13} cm^{-2} eV^{-1} qiymatlar oralig’ida o’sish ancha keskin bo’ladi. Buni 3-rasmda ham ko’rishimiz mumkun. Bu natija yuqori sirtiy holatlar zichligida tuzoqlardagi zaryadlar qayta taqsimlanishini va kanal yuzasida qo’shimcha elektrostatik potensial paydo bo’lishini bildiradi.

Adabiyotlar

[1]. M. Foziljonov, N. Yunusaliev, B. Ergashev, O. Muminov, and G. Tojiboyev, “Dependence of the capacitance of trap states at the oxide–semiconductor interface on the interface trap density in nanoscale silicon-on-insulator FinFET transistors and its effect on electrophysical parameters,” *Adv. Sci. Technol. Res. J.*, vol. 20, no. 10, pp. 491–502, 2026, doi: 10.12913/22998624/225650.

[2]. M. Foziljonov, B. M. Ergashev, N. Y. Yunusaliyev, M. Norbutayev, and K. Orinboyeva, “TCAD-based capacitance analysis for identifying longitudinally localized oxide-trapped charge in SOI FinFETs,” *European Journal of Physics*, no. 3, pp. 286–291, 2026, doi: 10.26565/2312-4334-2026-3-

[3]. Atamuratov E.A., Karimov I.N., Foziljonov M.B., Abdikarimov A.E., Atamuratov O., Khalilloev M // Impact of local oxide trapped charge on electrical and Capacitance characteristics of SOI FinFET // East Eur. J. Phys. 3, 0 (2025), ISSN 2312-4334, https://doi.org/10.26565/2312-4334-2025-3-00. (№ 3, Scopus).

GRAFEN ASOSIDAGI POLIMER NANOKOMPOZITLARDA ELEKTR O‘TKAZUVCHANLIKNING PERKOLYATSION MEXANIZMI VA MIKRO-NANOELEKTRONIKADAGI ISTIQBOLLARI

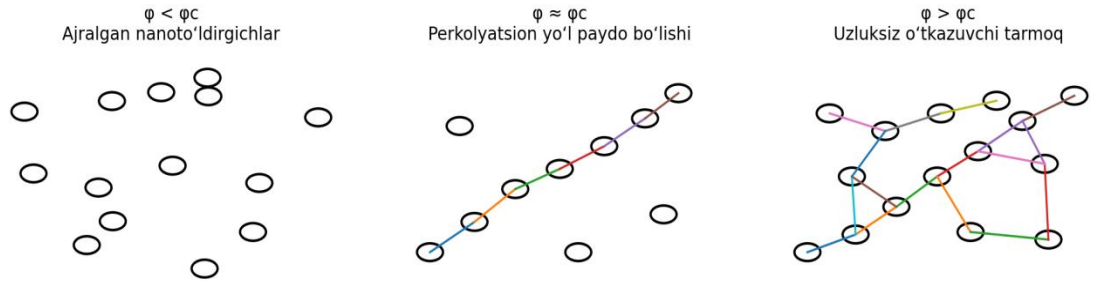
AXMADJONOV MEXRIDDIN FAXRIDINOVICH
Farg‘ona davlat texnika universiteti
mexriddinaxmadjonov@gmail.com

Mikro va nanoelektronika elementlari kichrayib, moslashuvchan va yengil konstruksiyalarga o‘tayotgan sari an’anaviy metall o‘tkazgichlar bilan bir qatorda polimer asosidagi funksional materiallarga ham talab ortmoqda. Sof polimerlarning aksariyati elektr jihatdan izolyator bo‘lsa-da, ularga grafen, grafen nanoplateletlari yoki boshqa uglerodli nanoto‘ldirgichlar kiritilganda elektr va issiqlik xossalari tubdan o‘zgarishi mumkin. Bunday nanokompozitlarda polimer matritsa mexanik yaxlitlik va texnologik ishlov berish imkonini beradi, nanoto‘ldirgichlar esa tok tashuvchilar uchun o‘tkazuvchi yo‘llar hosil qiladi. So‘nggi sharhlarda bu sinf materiallari elektronika, sensorlar, antistatik qoplamalar, elektromagnit ekranlash va issiqlik boshqaruvi uchun istiqbolli ekanligi qayd etilgan [1–3]. Mazkur tezis eksperimental ma’lumot uydirmasdan, zamonaviy adabiyotlar asosidagi tahliliy yondashuvda tayyorlandi.

Elektr o‘tkazuvchanlikning keskin ortishi perkolyatsiya hodisasi bilan izohlanadi. Nanoto‘ldirgich miqdori kichik bo‘lganda alohida grafen plastinkalari bir-biridan uzilgan holda joylashadi va kompozitning o‘tkazuvchanligi matritsa qiymatiga yaqin bo‘ladi. To‘ldirgichning hajmiy ulushi kritik qiymat – perkolyatsiya chegarasi φc ga yaqinlashganda zarrachalar orasidagi bevosita kontaktlar hamda kichik masofalarda kvant tunnellanish yo‘llari ko‘payadi. $\varphi > \varphi_c$ bo‘lganda esa namuna bo‘ylab uzluksiz o‘tkazuvchi tarmoq shakllanadi. Perkolyatsiya nazariyasining soddalashtirilgan ko‘rinishida o‘tkazuvchanlik quyidagicha ifodalanadi:

$$\sigma = \sigma_0(\varphi - \varphi_c)^t, \quad \varphi > \varphi_c$$

Bu yerda σ – kompozitning elektr o‘tkazuvchanligi, σ_0 – nanoto‘ldirgich va tarmoq geometriyasiga bog‘liq koeffitsiyent, φ – o‘tkazuvchi fazaning hajmiy ulushi, φc – perkolyatsiya chegarasi, t – kritik ko‘rsatkich. Formula real materialning barcha mikrotuzilmaviy xususiyatlarini to‘liq qamrab olmaydi, biroq o‘tkazuvchanlikning kritik chegaradan keyin nega keskin ortishini tushuntirish uchun qulay fizik modeldir [1, 4].



1-rasm. Polimer nanokompozitda o‘tkazuvchi tarmoqning perkolyatsiya chegarasigacha va undan keyingi sxematik holatlari (mualliflik sxemasi). $\varphi > \varphi_c$

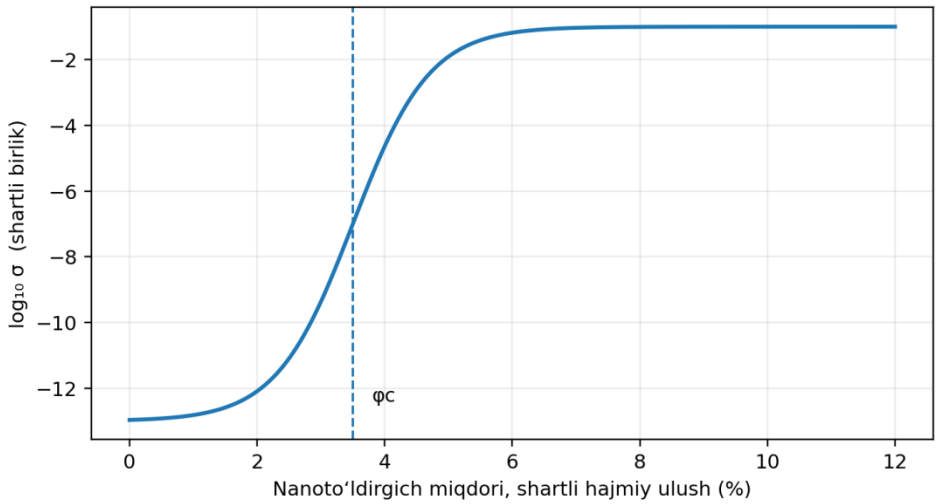
Grafen asosidagi kompozitlarda φ_c ning qiymati faqat to‘ldirgich miqdoriga emas, balki uning geometrik ko‘rsatkichlariga ham kuchli bog‘liq. Yuqori aspekt nisbatiga ega plastinkalar yoki nanotolalar kichik miqdorda ham katta fazoviy sohani qamrab oladi va o‘zaro tutashuvchi tarmoq hosil qilish ehtimolini oshiradi. Tarhini va Tehrani-Bagha grafen asosidagi polimer kompozitlarda tayyorlash usuli, dispersiya sifati va yo‘nalganlik elektr hamda issiqlik o‘tkazuvchanligiga bevosita ta’sir qilishini ko‘rsatgan [2]. Lalire va hammualliflar esa grafenning polimer aralashmalaridagi selektiv joylashuvi va ko‘p fazali

morfologiya orqali juda kam to‘ldirgich bilan o‘tkazuvchi yo‘llarni tashkil qilish mumkinligini tahlil qilgan [3].

Nanoto‘ldirgichlar bir-biriga tegmasdan, juda yaqin masofada joylashganda tok tashuvchilar tunnellanish orqali ham o‘tishi mumkin. Soddalashtirilgan holda bunday o‘tish ehtimoli masofa ortishi bilan eksponensial kamayadi:

$$G_t \propto exp(-\beta d)$$

Bu yerda G_t – zarrachalar orasidagi tunnellanish o‘tkazuvchanligi, d – nanoto‘ldirgichlar orasidagi masofa, β – potensial to‘siq xususiyatlariga bog‘liq koeffitsiyent. Shuning uchun dispersiya yomonlashib, zarrachalar orasidagi bo‘shliqlar ortsa yoki katta aglomeratlar hosil bo‘lsa, to‘ldirgichning umumiy miqdori yetarli bo‘lsa ham samarali elektr tarmoq hosil bo‘lmasligi mumkin. Aksincha, nazoratlangan agregatsiya ayrim tizimlarda tutashuv ehtimolini oshirishi mumkin; demak, “maksimal dispersiya” doimo “maksimal o‘tkazuvchanlik” bilan aynan bir ma’noni anglatmaydi [1, 4].



1-grafik. Perkolyatsiya chegarasi atrofida elektr o‘tkazuvchanlikning o‘zgarish tendensiyasi. Grafik nazariy-sxematik bo‘lib, muayyan eksperiment natijasi sifatida talqin qilinmaydi.

Mikro-nanoelektronika uchun bunday materiallarni loyihalashda uchta o‘zaro bog‘liq vazifa mavjud: past φc ga erishish, kerakli σ qiymatini ta’minlash va polimerning mexanik hamda texnologik afzalliklarini saqlash. Grafen miqdorini haddan tashqari oshirish viskozlikni ko‘paytirishi, qayta ishlashni qiyinlashtirishi, plastiklikni pasaytirishi va aglomeratsiyani kuchaytirishi mumkin. Shu sababli eritmada aralashtirish, eritmada ultratovushli dispersiyalash, eritmani quyish, eritmadan aralashtirish, melt blending va in-situ polimerlanish kabi texnologiyalarda zarracha o‘lchami, sirt funksionallashuvi, aralashtirish energiyasi va yo‘nalish nazorati muhim hisoblanadi [1, 2].

Amaliy nuqtai nazardan, o‘tkazuvchi polimer nanokompozitlar egiluvchan deformatsiya sensorlari, bosim va namlik sensorlari, elektromagnit xalaqitlardan himoyalovchi yengil ekranlar, antistatik detallar, mikroelektron qurilmalar korpusi va issiqlik tarqatuvchi qatlamlarda qo‘llanishi mumkin. Elektron qadoqlashda material bir vaqtning o‘zida elektr xossalari, dielektrik barqarorlik, issiqlik o‘tkazuvchanligi va mexanik ishonchlilik bo‘yicha muvozanatli bo‘lishi lozim. Bioparchalanuvchi polimer nanokompozitlar esa kelajakdagi qisqa muddatli yoki ekologik xavfi past elektron qurilmalar uchun alohida qiziqish uyg‘otmoqda [1].

Piezorezistiv sensorlarda perkolyatsion tarmoq mexanik deformatsiyaga sezgir bo‘ladi. Material cho‘zilganda ayrim nanoto‘ldirgichlar orasidagi masofa ortadi, kontaktlar soni kamayadi va tunnellanish qarshiligi ko‘payadi; siqilishda esa aksincha, elektr yo‘llari zichlashadi. Sensor sezgirligi odatda gauge factor orqali ifodalanadi: $GF = (\Delta R/R_0)/\varepsilon$, bu yerda $\Delta R/R_0$ – qarshilikning nisbiy o‘zgarishi, ε –

mexanik deformatsiya. Ushbu munosabat o‘tkazuvchi tarmoqni perkolyatsiya chegarasi yaqinida loyihalash nega sensor sezgirligini oshirishi mumkinligini fizik jihatdan tushuntiradi. Biroq juda yaqin kritik holat elektr shovqini, siklik barqarorlik va namunalararo takrorlanuvchanlikka salbiy ta’sir ko‘rsatishi mumkin; shu sababli sensor uchun optimal φ qiymati faqat maksimal GF bo‘yicha emas, barqarorlik bo‘yicha ham tanlanadi.

Mikroelektron qurilmalarda yana bir muhim masala issiqlikni tarqatishdir. Polimer matritsalarning issiqlik o‘tkazuvchanligi odatda past bo‘lgani uchun, grafen kabi yuqori issiqlik o‘tkazuvchi nanoto‘ldirgichlar elektron qadoqlash va termik interfeys materiallarida foydali bo‘lishi mumkin. Biroq elektr va issiqlik o‘tkazuvchanlik bir xil tarmoq parametrlariga mutlaq bir xil bog‘lanmaydi: issiqlik tashishda polimer-grafen va grafen-grafen interfeyslaridagi fonon sochilishi ham katta rol o‘ynaydi [2]. Demak, elektr perkolyatsiyasi yuzaga kelgan nuqta termik boshqaruv uchun ham avtomatik optimal nuqta bo‘lib qolmaydi. Bu mikro-nanoelektronika materiallarini ko‘p mezonli optimallashtirish zarurligini ko‘rsatadi.

Elektromagnit xalaqitlarni ekranlashda ham perkolyatsion tarmoq markaziy rol o‘ynaydi. O‘tkazuvchi kompozitga tushgan elektromagnit energiyaning bir qismi sirtida qaytadi, bir qismi material ichida Joule yo‘qotishlari va qutblanish jarayonlari hisobiga yutiladi, qolgan qismi esa ichki ko‘p martalik sochilishlardan so‘ng susayadi. Shu sababli ekranlash samaradorligini oshirish uchun faqat yuqori σ qiymati emas, balki qatlam qalinligi, nanoto‘ldirgichning fazoviy taqsimoti va dielektrik xossalar ham muhim. Juda yuqori o‘tkazuvchanlik aks ettirishni kuchaytirishi mumkin, lekin ayrim sensor yoki tibbiy-elektron qurilmalarda ortiqcha aks ettirish maqsadga muvofiq bo‘lmasligi mumkin. Shuning uchun o‘tkazuvchi polimer nanokompozitlar “metall o‘rnini bosuvchi” oddiy material emas, balki elektr, dielektrik va mexanik parametrlarni birgalikda sozlash mumkin bo‘lgan funksional platforma sifatida qaraladi [1, 3].

Materialni ishlab chiqarish masshtabi oshirilganda laboratoriyadagi perkolyatsiya chegarasini takrorlash ham alohida muammoga aylanadi. Aralashtirgich geometriyasi, kesuvchi kuchlar, sovitish tezligi va qoliplash yo‘nalishi grafen plastinkalarining orientatsiyasini o‘zgartirib, bir xil tarkibli namunalar orasida ham o‘tkazuvchanlik farqini keltirib chiqarishi mumkin. Shu bois kelajakdagi mikro-nanoelektronika materiallari uchun tarkibiy formula bilan bir qatorda texnologik “tarix”ni ham standartlashtirish zarur. Zamonaviy modellashtirish yondashuvlari, jumladan perkolyatsion va ma’lumotlarga asoslangan modellar, aglomeratsiya darajasi, nanoto‘ldirgich o‘lchami va tarmoq bog‘lanishini hisobga olib, kerakli σ ga erishish uchun optimal tarkibni oldindan baholashga yordam beradi [4]. Bu tajribalar sonini kamaytirish va resurslardan samaraliroq foydalanish uchun ham muhimdir.

Xulosa qilib aytganda, grafen asosidagi polimer nanokompozitlarning mikro-nanoelektronikadagi funksionalligi o‘tkazuvchi faza miqdorining o‘zi bilan emas, balki perkolyatsion tarmoq arxitekturasi, to‘ldirgichning aspekt nisbati, orientatsiyasi, dispersiyasi va polimer–grafen interfeysi bilan belgilanadi. Perkolyatsiya chegarasini pasaytirish va tunnellanish masofalarini nazorat qilish kam miqdordagi nanoto‘ldirgich bilan yetarli o‘tkazuvchanlikka erishish imkonini beradi. Shu sababli kelgusidagi asosiy yo‘nalish “ko‘proq nanoto‘ldirgich qo‘shish” emas, balki uch o‘lchamli o‘tkazuvchi tarmoqni maqsadli loyihalashdan iborat bo‘lishi kerak.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Tamjid E., Najafi P., Khalili M.A., Shokouhnejad N., Karimi M., Sepahdoost N. Review of sustainable, eco-friendly, and conductive polymer nanocomposites for electronic and thermal applications: current status and future prospects. Discover Nano. 2024. Vol. 19. Art. 29. DOI: 10.1186/s11671-024-03965-2.

2. Tarhini A., Tehrani-Bagha A.R. Advances in Preparation Methods and Conductivity Properties of Graphene-based Polymer Composites. Applied Composite Materials. 2023. Vol. 30. P. 1737–1762. DOI: 10.1007/s10443-023-10145-5.

3. Lalire T., Longuet C., Taguet A. Electrical properties of graphene/multiphase polymer nanocomposites: A review. Carbon. 2024. Vol. 225. Art. 119055. DOI: 10.1016/j.carbon.2024.119055.

4. Azimi N., Sharifzadeh E. Improved aggregation/agglomeration-dependent percolation theory to predict nanoparticle-aided electrical conductivity in polymer nanocomposites: A combination of analytical strategy and artificial neural network. Computational Materials Science. 2025. Vol. 246. Art. 113424. DOI: 10.1016/j.commatsci.2024.113424.

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ СИЛИЦИДНЫХ ПЛЕНОК $MeSi_2$ ДЛЯ КОНТАКТНОЙ СИСТЕМЫ

Б.Е. Умирзаков[1], И.Х. Турапов[*2], Ж.М. Жумаев[3],
[1] Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан
[2]“Cyber University”, Нурафшон, Узбекистан
[3]Термезский государственный университет, Термез, Узбекистан

Аннотация: С использованием метода имплантации ионов Ba^+ в сочетании с прогревом создан барьерный слой между контактирующего металла (Cu) и кремния. Показано, что формирование барьерного слоя $BaSi_2$ с толщиной ~100Å приводит к уменьшению глубину диффузию Cu в систему $BaSi_2$−Si до 5−6 раз, и не превышает более чем 110−120Å. Результаты исследования вольт - амперной характеристики ВАХ системы показали, что хороший омический контакт при облучение системы световым потоком сохраняется до Ф≈1000−1100лк.

Ключевые слово:Силицид, омический контакт, барьерный слой, световой поток, ионная имплантации, глубина проникновения, нанопленочная система.

Одной из основных проблем микроэлектроники, особенно в системах интегральных схем, является создание надежных омических контактов. Эти системы состоят из множества разнообразных транзисторов, в частности, транзисторов с проницаемой и металлической базой МОП-транзисторов созданных с применением слоев субмикронной толщины [1-8].

Имплантация ионов Ba^+, прогрев образцов и основные исследования проводились в одном и том же приборе в условиях сверхвысокого вакуума (P = 10^{-7} Па). Исследования состава, профили распределения атомов по глубине проводились методом оже – электронной спектроскопии (ОЭС) в сочетании травлением поверхность ионами $Ar^{+.}$

Очистка хорошо полированной поверхности Si(111) проводилась прогревом (сначала длительным (4-5 часа при $T \approx 1200$ K, а затем кратковременным при $T \approx 1500$ K) при вакууме ~ 10^{-7} Па.

Послойный оже-анализ осуществлялся распылением поверхности образца пучком ионов Ar^+. Энергия ионов изменялась в пределах 1÷3 кэВ. Угол падения ионов на образец можно было менять, изменяя наклон держателя образца. Максимальное давление аргона в ионном источнике составляло ~$5\cdot10^{-3}$ Па. При этом плотность ионного тока достигала 100 мкА·см$^{-2}$, а скорость распыления доходила до 5 Å/мин. Диаметр ионного пучка на мишени был равен ~3 мм.

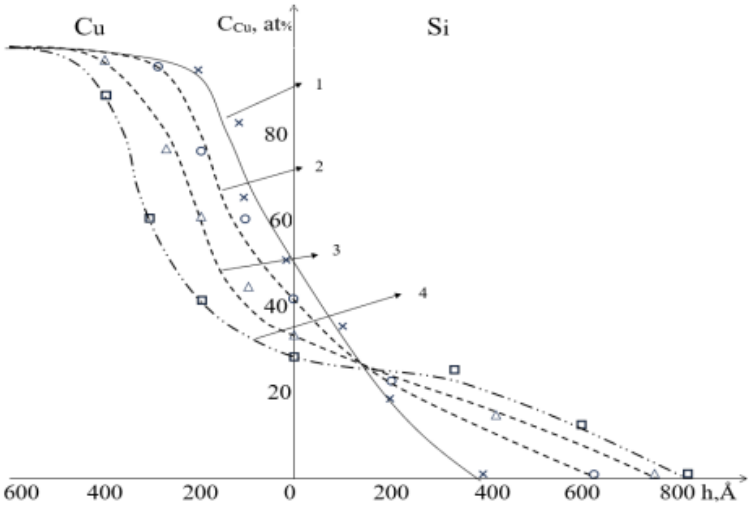


Рис 1. Зависимость концентрации Cu что глубина для систем Cu/Si(111) при разных T, K: 1-300; 2-400; 3-500;4-600;

Для изучения влияние формирования силицидных пленок на глубину диффузии Cu в Si мы на поверхности Si создавали пленки $BaSi_2$ с толщиной ~ 90–100Å. [18] Пленки $BaSi_2$ полечены имплантацией ионов Ba^+ в Si(111) с последующим отжигом при T= 1000-1050 K. На рис.2. приведени зависимости C_{Cu} (h) для системы $BaSi_2$/Si(111), полученные после прогрев при различных T. Толщина пленки $BaSi_2$ ~ 100Å. d_{Cu} =600 Å. Так как пленка $BaSi_2$ получены при T≈1050K, то при прогрева состав и структура системы $BaSi_2$/Si(111) до T≈100K практически не должна изменяться. Все наблюдаемые изменения происходит в основным вследствие диффузии Cu в $BaSi_2$/Si.

Как видно из рис.2. при комнатной T глубина проникновения Cu не превышает ≈ 40–50Å, при T≈600 K–65–70 Å, при T≈ 800 K–80–90Å, а при T≈1000 K−110−120Å. Из этих данных следует что для получения надежного диффузионного барьера, выдерживающий температуру до 1000 K толщина барьерного слоя должно быть d≈110-120 Å.

Отметим, что удельное сопротивление ρ слоя $BaSi_2$ составляет ~ 40-50 мкОм·см, а ρ_K контактного слоя Cu/$BaSi_2$/Si (111)–1,5-2 мкОм·см. На рис.3 приведены темновые и световые вольт-амперные характеристики (ВАХ) этой системы Cu/$BaSi_2$/Si (111)/Mo.

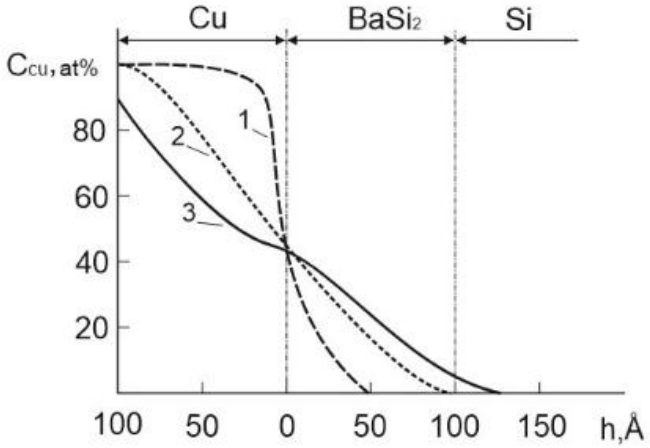


Рис 2. Зависимость концентрации C_{Cu}(h) для системы Cu/$BaSi_2$/Si при разных T, K: 1-300; 2-800; 3-1000;

Эти результаты очень важны при разработке солнечных элементов на основе Si. Из графика 1 видно, что прямая и обратная ветвь ложатся в одной прямой линии, т.е. формируется надежный омический контакт. По оценкам из ВАХ сопротивлении структуры составляет ~ 8 кОм. Освещение поверхности световым потоком со стороны медного Cu-контакта до Ф≈1000 лк не оказывает влияния на вид кривых. Происходит некоторое увеличение тока (уменьшение R).

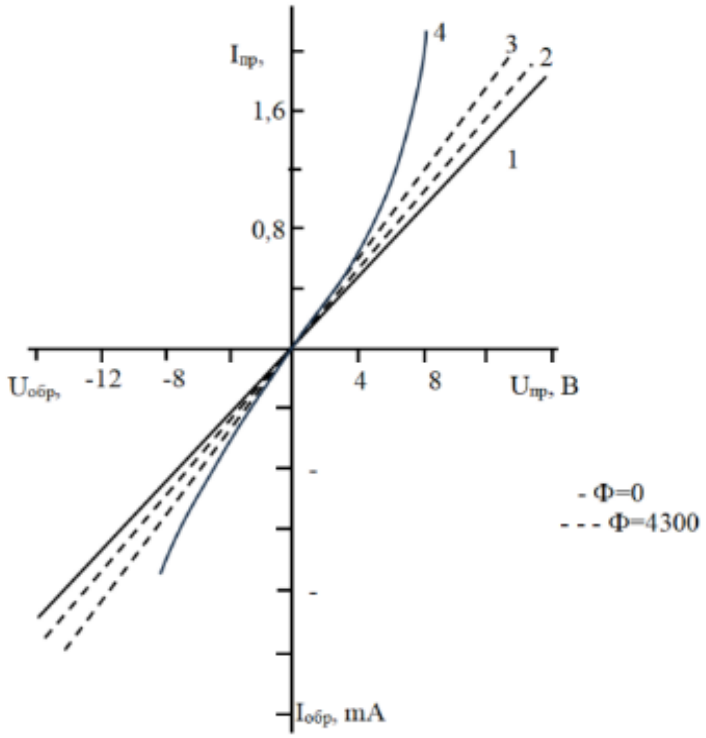


Рис 3. Темновое (кривая 1) и световое (2-4) вольт-амперные характеристики системы $Cu/BaSi_2/Si$ (111) полученных при освещение светом. Ф, лк: 1-0; 2-4300;3-1000;4-1300.

Начиная с Ф≈13000лк происходит преобразования ВАХ, т.е. при изменении напряжения ток изменяется экспоненциально, что характерно для диодных структур.

ЛИТЕРАТУРА

[1] S.M. Sze, K.K. Ng. Physics of semiconductor devices. John Wiley & Sons, N.Y. (2006). P. 832

[2] T. Shikama, H. Niu, M. Takai. Jpn.. J. Appl. Phys. 23, *10R*, 1314 (1984).

[3] Писаренко Т.А., Коробцов В.В., Димитриев А.А., Балашев В.В., Железнов В.В. Особенности зонной структуры и механизма латеральной фотопроводимости в гибридных структурах $T/SiO_2/Si$ (T=Fe, Fe_3O4, TiO_2). Физика твердого тела » Год 2022, выпуск 8 » Статья стр. 1101

[4] Бузанева Е.В., Вдовенкова Т.А., Цыганова А.И., Чарнецка-Сух Э. Модификация состава поверхности CdTe имплантацией ионов Ag^+ // Поверхность. Физика, химия, механика. 1994. № 5. С. 24-29.

[5] Гусаев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии, М.: Физматлит, 2005. 416 с.

[6] Chen, R.; Zhou, W.; Zhang, M.; Kwok, H. Self-aligned indium–gallium–zinc oxide thin-film transistors with $SiN_x/SiO_2/SiN_x/SiO_2$ passivation layers. Thin Solid Films 2014, *564*, 397–400.

[7] J. Henry, J. Livingstone. J. Phys. D 41, 16, 165106 (2008)

[8] L.Z. Hao, Y.J. Liu, Z.D. Han, Z.J. Xu, J. Zhu. J. Alloys Compd. 735, 88 (2018).

Al_2O_3 ASOSIDAGI MEMRISTORNING YUQORI VA PAST QARSHILIKLI HOLATLARINI O‘RGANISH

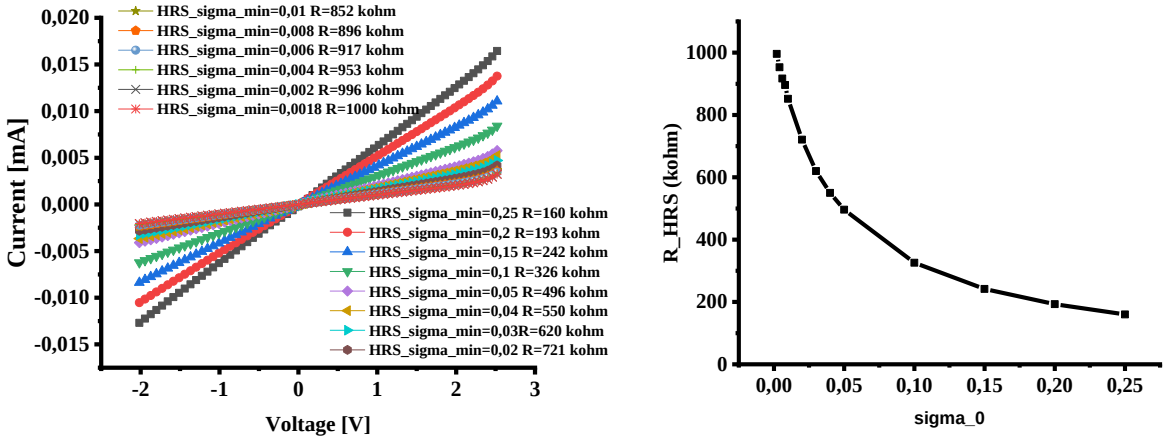
Hasanov Asrorbek[1], Abdullayeva Barno[1], Ismoilov Doniyor[2],
Aminbayev Jahongir[2], Atamuratov Atabek[2],
[1] Urganch davlat pedagogika instituti
[2] Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti

An’anaviy fon Neyman arxitekturasida mantiqiy va arifmetik amallar protsessorda bajarilib, natijalar undan alohida joylashgan xotira blokiga uzatiladi; protsessor bilan xotira o‘rtasidagi bunday doimiy ma’lumot almashinuvi qo‘shimcha energiya sarfiga va uzatish vaqtiga bog‘liq kechikishlarga olib keladi — bu muammo adabiyotlarda fon Neyman bo‘g‘ozi (von Neumann bottleneck) nomi bilan yuritiladi. Mantiqiy va xotira funksiyalarini bitta elementda birlashtirish imkoniyatini beruvchi memristorlar ushbu muammoni bartaraf etishning istiqbolli yechimlaridan biri sifatida so‘nggi yillarda keng o‘rganilmoqda. Xususan, Al_2O_3 asosidagi memristorlarda yuqori qarshilikli (HRS) va past qarshilikli (LRS) holatlar orasidagi farq — o‘qish oynasi — qurilmaning xotira elementi sifatidagi ishonchliligini belgilovchi asosiy omil hisoblanadi [1]. Ushbu ishda ana shu ikki holatni boshqaruvchi fizik parametrlar modellashtirish yordamida batafsil o‘rganildi.

Al–Al_2O_3–Te tuzilmali memristorni modellashtirish Te ionlarining diffuziyasiga asoslangan CBRAM (Conductive-Bridge Random-Access Memory — ya’ni o‘tkazuvchan nano-ko‘prikcha hosil bo‘lishi hisobiga ishlovchi xotira) modeli asosida amalga oshirildi [2]. Filamentning o‘tkazuvchanligi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\sigma = \sigma_0(k) \cdot e^{-\frac{E_{AC}(k)}{k_B T}} \quad (1)$$

bu yerda $k=n/n_0$ — normallashtirilgan ion kontsentratsiyasi, $n_0 = 10^{21}$ sm^{-3}. Modellashtirish usuli [3]-ishda taklif qilingan bo‘lib, unda HRS holat asosan σ_0 o‘tkazuvchanlik koeffitsientiga, LRS holat esa filamentning geometrik o‘lchamlariga bog‘liq bo‘lishi kuzatilgan [4]. Modellashtirish natijasida olingan turli σ_0 qiymatlarida hisoblangan HRS holatining VAXi va unga mos qarshilikning σ_0 ga bog‘liqligi 1-rasmda keltirilgan.



(a) (b)

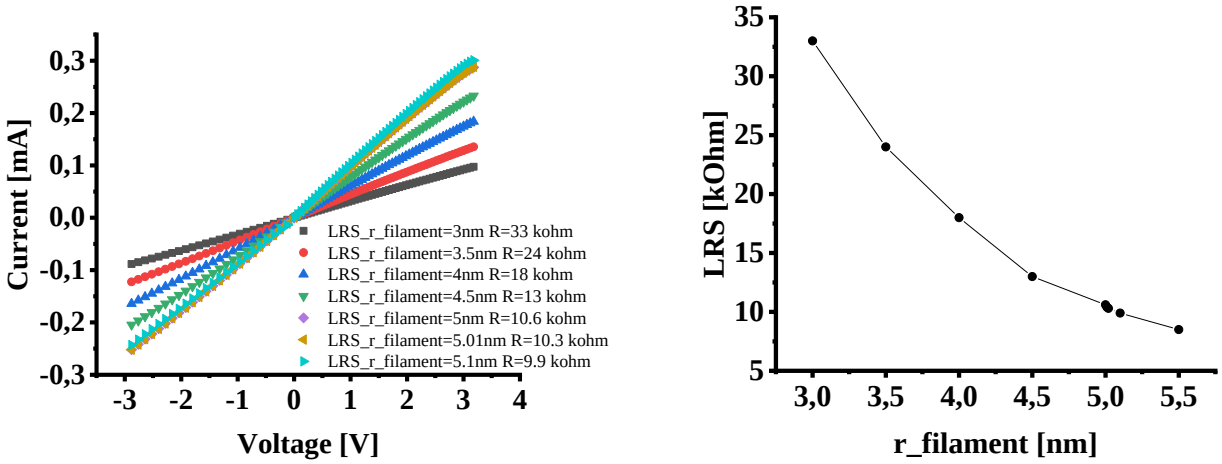
1-rasm. (a) turli o‘tkazuvchanlik koeffitsientlaridagi memristorning yuqori qarshilikli VAX tarmog‘i, (b) HRS holatidagi qarshilikning σ0 ga bog‘liqligi.

1-rasm (a) dan ko‘rinib turibdiki, σ_0 ortishi bilan HRS tarmog‘ining tikligi ortadi, ya’ni o‘tkazuvchanlik kuchayadi. 1-rasm (b) esa R_HRS ning σ_0 ga keskin, deyarli giperbolik bog‘liqligini ko‘rsatadi: σ_0 ning

0,002–0,01 S/sm oralig‘ida R_HRS 1000 kOm dan 852 kOm gacha o‘zgaradi. Bu bog‘liqlik HRS holatida o‘tkazuvchanlik asosan to‘liq shakllanmagan filamentning qoldiq (tarqoq) o‘tkazuvchanligi orqali amalga oshishi bilan izohlanishi mumkin [1].

Filament to‘liq shakllangan LRS holatda qarshilik asosan filamentning geometriyasi, xususan radiusi bilan belgilanadi. Turli filament radiuslarida hisoblangan LRS holatining VAXi va unga mos qarshilik 2-rasmda keltirilgan.

2-rasm (b) dan ko‘rinadiki, R_LRS filament radiusi r ortishi bilan keskin kamayadi: r=3 nm da ≈33 kOm bo‘lgan qarshilik r=5,1 nm da ≈9,9 kOm gacha tushadi. Bu bog‘liqlik LRS holatida o‘tkazuvchanlikning silindrsimon o‘tkazuvchi kanal bo‘ylab, $R \propto 1/r^2$ qonuniyatiga yaqin tarzda amalga oshishini ko‘rsatadi, bu o‘mik o‘tkazuvchanlik xarakteriga mos keladi [1]. Shunday qilib, HRS va LRS holatlar tubdan farqli fizik mexanizmlar — mos ravishda filament ichidagi tarqoq o‘tkazuvchanlik va to‘liq shakllangan kanal bo‘ylab o‘mik o‘tkazuvchanlik bilan izohlanishi mumkin.



(a) (b)

2-rasm. (a) turli filament radiuslaridagi memristorning past qarshilikli VAX tarmog‘i, (b) LRS holatidagi qarshilikning filament radiusiga bog‘liqligi.

Xulosa qilib aytganda, Al_2O_3 asosidagi memristorning HRS va LRS holatlari tubdan farqli parametrlarga, ya’ni mos ravishda o‘tkazuvchanlik koeffitsienti σ_0 va filamentning geometrik radiusiga bog‘liq bo‘lishi kuzatildi. Tadqiqot natijalari memristorni zanjir tarkibiga kiritishda uning HRS va LRS holatlaridagi qarshilik qiymatlarini zanjir parametrlariga muvofiq ravishda moslashtirish mumkinligini ko‘rsatadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Puglisi F.M., Padovani A., Pavan P. An Empirical Model for RRAM Resistance in Low- and High-Resistance States // IEEE Electron Device Letters. 2013. Vol. 34, № 3. P. 387–389.

2. Aeschlimann J., Durch F., Weilenmann C., Emboras A., Luisier M., Leuthold J. Multiscale Modeling of Metal/Oxide/Metal CBRAM Cells: from Ab Initio to Finite Element Calculations // arXiv:2602.10034.

3. Kim S., Choi S., Lu W. Comprehensive physical model of dynamic resistive switching in an oxide memristor // ACS Nano. 2014. Vol. 8, № 3. P. 2369–2376.

4. Kamiya K. et al. Generalized mechanism of the resistance switching in binary-oxide-based RRAM // Physical Review B. 2013. Vol. 87. P. 155201.

ФОРМИРОВАНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК $CrSi_2$ ТВЕРДОФАЗНЫМ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ И ИХ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

И.Р. Бекпулатов[1], И.Х. Турапов[2], З.А. Рузиева[3]
[1]Каршинский государственный университет, Карши, Узбекистан
[2]“Cyber University”, Нурафшон, Узбекистан
[3]Национальный университет Узбекистана, Ташкент, Узбекистан

Среди термоэлектрических материалов силициды являются потенциально полезными материалами из-за их хороших термоэлектрических свойств, высокой температуры плавления и химической стабильности при высоких температурах [1-4].

В частности, силицид $CrSi_2$ является перспективным материалом благодаря его химической стабильности до T=1000 – 1100 K, использованию в спинтронике, магнитных сенсорах, интегральных схемах, а также в термоэлектрических и оптоэлектрических приборах. Тонкие пленки CrSi2 и Mn4Si7 обладают полупроводниковыми свойствами с термостойкостью на воздухе около 1000 K [5-7].

В качестве подложки использованы монокристаллы Si (111) n типа. Напыление CrSi2 осуществлялось на автоматизированной вакумной ионно – плазменной установке типа Epos-DVD-Desk-Pro. Источником CrSi2 служили специально подготовленные образцы (мишени) CrSi2, полученные методом, предложенной в [8].

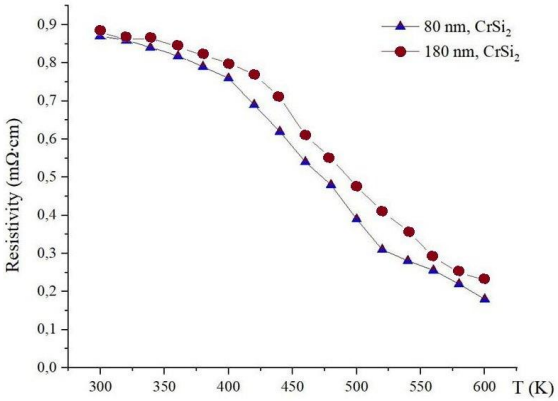


Рис. 1. График зависимости удельного сопротивления поликристаллической пленки $CrSi_2$ от температуры.

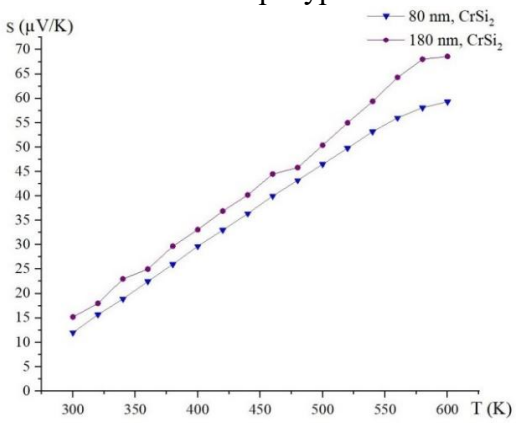


Рис. 2. Температурная зависимость коэффициента Зеебека, определенная для пленок $CrSi_2$ двух разных толщин.

Как показано выше, термоэлектрические свойства сформированной пленки $CrSi_2$ зависят от ее толщины. Для определения этой зависимости нами подготовлены пленки $CrSi_2$ двух разных толщин (80 нм, 180 нм). На рисунке 1 представлена температурная зависимость удельного сопротивления ρ пленок $CrSi_2$ толщиной 80 нм и 180 нм. Как видно из рисунков, удельное сопротивление пленки толщиной 80 нм во всей области T имеет меньшие значения, чем для пленки толщиной 180 нм. В обоих случаях в интервале T ≈ 300 – 400 K ρ изменяется незначительно, а затем в интервале T ≈ 400 – 500 K резко уменьшается. При T ≥ 500 – 600 K скорость уменьшения ρ замедляется. На рис. 2 показаны температурные зависимости коэффициента Зеебека для пленки $CrSi_2$, сформированной при двух разных толщинах. Как видно из рисунка, коэффициент Зеебека принимает несколько меньшие значения в пленке толщиной 80 нм и эта разница незначительно увеличивается при повышении температуры от комнатной до 600 K. Сравнение результатов рис. 1 и 2 показывает, что уменьшение ρ в случае тонких пленок $CrSi_2$/Si(111) приводит к увеличению S. Отметим, что в процессе прогрева системы $CrSi_2$/Si(111) не наблюдается заметное изменение состава поликристаллической пленки $CrSi_2$. По – видимому, изменение значений ρ и S при прогреве могут быть связаны с изменением соотношения *c*/*a*. На основании полученных результатов, то есть температурной зависимости удельного сопротивления и температурной зависимости коэффициента Зеебека, можно определить коэффициент мощности по формуле $P = \frac{S^2}{\rho}$.

Показано, что с ростом T удельное сопротивление ρ поликристаллической пленки $CrSi_2$ неравномерно уменьшается, а коэффициент Зеебека S – увеличивается. Эти изменения, по-видимому, связаны в основном, с изменением соотношения параметров решетки *c* и *a*. По данным ρ и S определен коэффициент мощности P пленки.

Литература

1. A.K. Vasudevan, J.J. Petrovic, Mater. Sci. Eng. A 155 (1) (1992).
2. C.B. Vining, CRC Handbook of Thermoelectrics, CRC, New York, NY, 1995, (Chap. 23).
3. I. Nishida, T. Sakata, J. Phys. Chem. Solids 39 (1978) 499.
4. T. Dasgupta, J. Etourneau, B. Chevalier, S.F. Matar, A.M. Umarji, J. Appl. Phys. 103 (2008) 113516
5. K. Kawasumi, I., Sakata, M., Nishida, I. & Masumoto, J. Mater. Sci. 16, 355 (1981).
6 U. Gottlieb, A. Sulpice, B. Lambert-Andron, and O. Laborde, J. Alloys Compd. 361, 13 (2003)
7. T.S. Kamilov, A.S. Rysbaev, V.V. Klechkovskaya, A.S. Orekhov, B.D. Igamov, I.R. Bekpulatov. The Influence of Structural Defects in Silicon on the Formation of Photosensitive Mn_4Si_7–Si(Mn)–Mn_4Si_7 and Mn_4Si_7–Si(Mn)–M Heterostructures. // Applied Solar Energy, 2019, Vol. 55, № 6, pp. 380-384.
8. I.R. Bekpulatov, D.S. Shomukhammedova, D.M. Shukurova, B.V. Ibragimova. Obtaining higher manganese silicide films with high thermoelectric properties. // E3S Web of Conferences, 2023, 365, № 05015, DOI: 10.1051/e3sconf/202336505015.

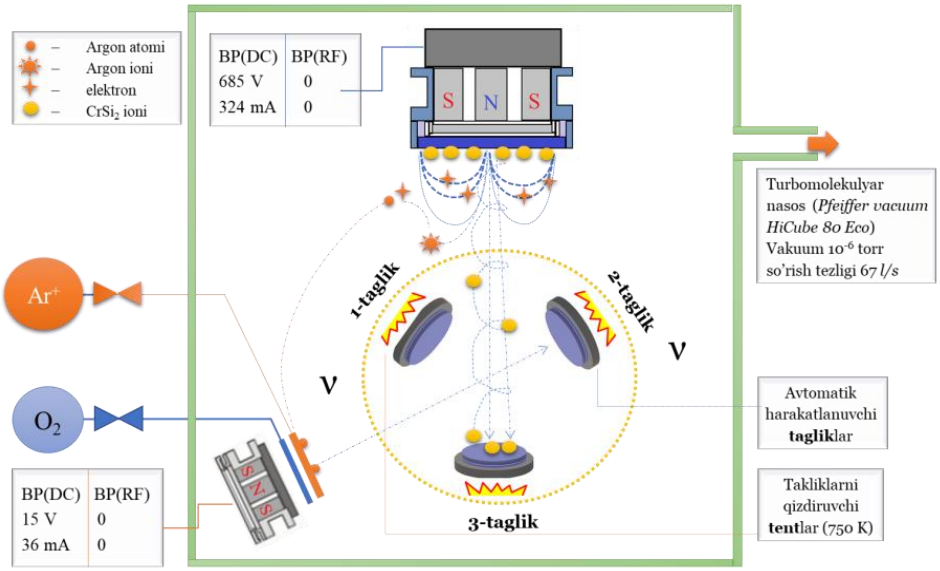
EPOS-PVD-DESK-PRO MAGNETRON QURILMASIDA DC VA RF REJIMLARIDA OLINGAN Pb YUPQA PLYONKALARINING ELEKTROFIZIK XUSUSIYATLARI

Ishmurodov E.A, Temirov F.I., Rajabov S.N., Normurodov D.A.
Qarshi davlat universiteti, Qarshi shahri, Ko‘chabog‘ ko‘chasi, 180119.
elmurodishmurodov22@gmail.com

Ushbu ishda EPOS-PVD-DESK-PRO magnetron changlatish qurilmasi yordamida shisha tagliklarda hosil qilingan qo‘rg‘oshin (Pb) yupqa plyonkalarining elektrofizik xususiyatlari tadqiq qilindi. Pb yupqa plyonkalari DC va RF magnetron changlatish rejimlarida 5 minut davomida, taglik harorati 150 °C bo‘lgan

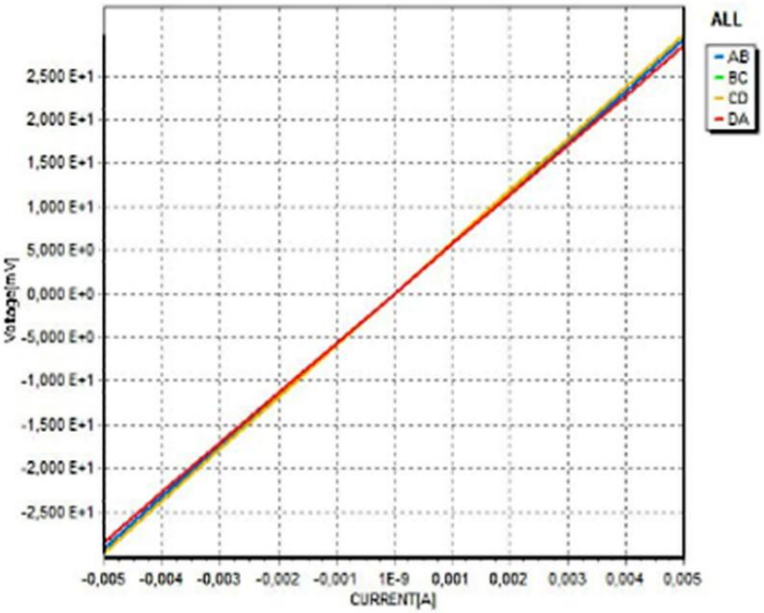
sharoitda olindi. Olingan namunalar HMS-5000 Hall Effect Measurement System qurilmasida tekshirildi. Tadqiqot davomida tok-kuchlanish xarakteristikalari va Hall effektiga asoslangan elektr o‘lchovlar amalga oshirildi. Tajriba natijasida olingan grafiklarda tok va kuchlanish orasidagi bog‘lanishning asosan chiziqli xarakterga ega ekanligi kuzatildi. Bu Pb yupqa plyonkalarida elektr o‘tkazuvchanlik xususiyatlarining barqarorligini ko‘rsatadi. DC va RF rejimlarida hosil qilingan plyonkalarning elektrofizik xususiyatlarini taqqoslash magnetron changlatish rejimining yupqa plyonka xossalariga ta’sirini aniqlash imkonini beradi.

Hozirgi kunda mikro va nanoelektronika sohasining rivojlanishi yangi funksional materiallarni yaratish hamda ularning fizik xususiyatlarini chuqur o‘rganishni talab etadi. Ayniqsa, metall va yarim o‘tkazgich asosidagi yupqa plyonkalar zamonaviy elektron qurilmalar, datchiklar, mikroelektronik elementlar va boshqa funksional tizimlarda keng qo‘llanilmoqda. Yupqa plyonkalarning fizik xususiyatlari ularni olish texnologiyasiga bevosita bog‘liq. Plyonkani hosil qilish jarayonida vakuum darajasi, taglik materiali, taglik harorati, changlatish vaqti, magnetron quvvati hamda changlatish rejimi muhim ahamiyatga ega. Ushbu parametrlarning o‘zgarishi plyonkaning strukturasi, morfologiyasi va elektrofizik xususiyatlariga ta’sir qiladi. Magnetron changlatish usuli yupqa plyonkalarni olishning zamonaviy fizik usullaridan biri hisoblanadi. Ushbu usul yordamida yuqori sifatli, bir jinsli va ma’lum xususiyatlarga ega plyonkalarni hosil qilish mumkin. Magnetron qurilmalarida DC va RF rejimlaridan foydalanish turli materiallarning yupqa plyonkalarini olish imkonini beradi. Mazkur ishda qo‘rg‘oshin (Pb) metallidan yupqa plyonkalar olindi. Pb metallining elektrofizik xususiyatlarini yupqa plyonka holatida o‘rganish mikro va nanoelektronika materialshunosligi uchun muhim hisoblanadi.



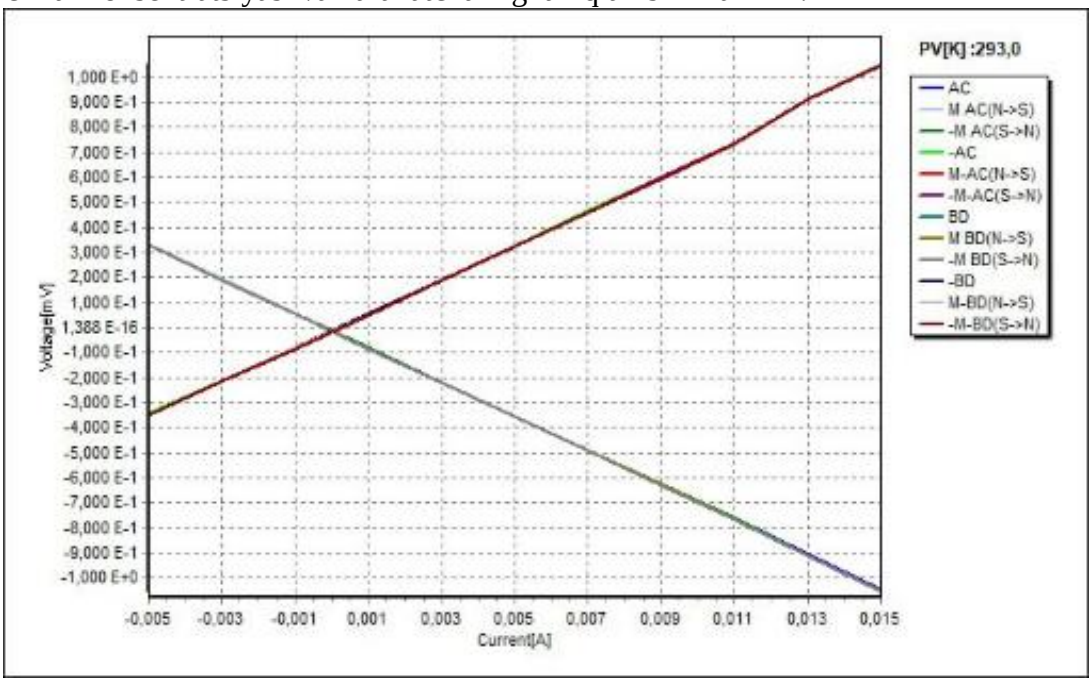
1-rasm. EPOS-PVD-DESK-PRO magnetron changlatish qurilmasining tajriba sxemasi.

HMS-5000 Hall Effect Measurement System qurilmasi yordamida olingan Pb yupqa plyonkasining tok-kuchlanish (I–V) xarakteristikasi 2-rasmda keltirilgan. Grafikda AB, BC, CD va DA kontaktlari bo‘yicha o‘lchash natijalari deyarli bir-biriga mos kelishi kuzatildi. Tok kuchining o‘zgarishiga mos ravishda kuchlanishning chiziqli o‘zgarishi namunaning barqaror elektr o'tkazuvchanlik xususiyatiga ega ekanligini ko‘rsatadi. I–V xarakteristikasining chiziqli ko‘rinishi kontaktlar orasidagi elektr bog‘lanishning yaxshi ekanligini va namuna elektr xossalarining bir xil taqsimlanganligini ko‘rsatadi.



2-rasm. Tok kuchi va kuchlanish orasidagi bog‘lanish tasvirlangan. Grafikda AB, BC, CD va DA yo‘nalishlari bo‘yicha o‘lchash natijalari keltirilPb yupqa plyonkasining

HMS-5000 qurilmasida olingan elektr o‘lchash natijalari 3-rasmda tasvirlangan. Grafikda tok kuchining o‘zgarishiga mos ravishda o‘lchanayotgan elektr parametrlarining musbat va manfiy yo‘nalishlarda chiziqli o‘zgarishi kuzatiladi. Egri chiziqlarning qarama-qarshi yo‘nalishda o‘zgarishi tashqi elektr toki yo‘nalishi o‘zgarganda elektr potensialining ham mos ravishda o‘zgarishini ko‘rsatadi. Olingan natijalar namunaning elektr transport xususiyatlarini aniqlashda muhim ahamiyatga ega. Ushbu o‘lchash natijalari asosida Pb yupqa plyonkasining solishtirma qarshiligi, elektr o'tkazuvchanligi, Hall koeffitsiyenti, zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi va harakatchanligi aniqlanishi mumkin.



3-rasm. HMS-5000 qurilmasida bajarilgan o‘lchash natijalarining tokka bog‘liq o‘zgarishi tasvirlangan.

DC va RF rejimlarida olingan namunalarni keyingi tadqiqotlarda plyonka qalinligi, sirt morfologiyasi va kristall strukturasi bilan birgalikda o'rganish muhimdir. Bunday kompleks tadqiqot magnetron changlatish parametrlarining Pb yupqa plyonkasi xususiyatlariga ta'sirini yanada aniqroq tushuntirish imkonini beradi.

Adabiyotlar

1.Manjunath A.W., Sankarappa T., Ramanna R., Ashwajeet J.S., Sujatha T., Sarvanan P. Low Temperature Electrical Resistivity Studies in Lead Thin Films // *Journal of Nano- and Electronic Physics*. – 2013. – Vol. 5, No. 3. – Article 03026.

2. Vilfan I., Pfnür H**.** Charge-carrier transport properties of ultrathin Pb films // *European Physical Journal B*. – 2004.

3. Liu Y., Haviland D.B., Nease B., Goldman A.M. Insulator-to-superconductor transition in ultrathin films // *Physical Review B*. – 1993. – Vol. 47. – P. 5931.

4. Liu Y., Tang Y., Wang Z. va boshqalar**.** Anomalous linear magnetoresistance in high quality crystalline lead thin films. – 2020.

5. Mattox D.M. *Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing*. – 2nd ed. – William Andrew Publishing, 2010.

6. Petrov I., Barna P.B., Hultman L., Greene J.E. Microstructural evolution during film growth // *Journal of Vacuum Science & Technology A*. – 2003. – Vol. 21.

CALCULATION OF THE INELASTIC MEAN FREE PATH OF ELECTRONS WITH ENERGIES OF T = 0.05-10 keV İN SiO_2

F.Sh. Babayeva[1,2,]*, Y.D. Jafarov[1,2], G.T. Imanova[1,2]
[1]Institute of Physics, Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, B.Vahabzadeh 9, AZ 1143, Baku, Azerbaijan
[2]Azerbaijan University of Architecture and Construction, Ayna Sultanova 11, AZ-1073, Baku, Azerbaijan
bfatime126@gmail.com

Metal and metal oxides are widely used in various fields of science and technology due to their unique electronic, optical, radiation, and specific structural properties, including radiation physics, radiation materials science, condensed matter physics, micro- and nanoelectronics, astrophysics, and the study of changes occurring in low-temperature and thermonuclear plasmas, gas discharges, and the atmospheres of stars, planets, and comets. On the other hand, metal oxides are also used as radiation shielding materials, sensor components, and functional components due to their radiation sensitivity.

When electrons pass through matter, their interaction with the atoms or molecules constituting the matter mainly results in such effects as the formation of electron-hole pairs through direct single ionization of various molecular orbitals, various electron-excitation states (excitons), structural displacement (radiation defects of the Frenkel-pair type), and heat generation. In other words, active intermediate particles (electron-hole pairs and electron-excitation states) generated in matter through inelastic collisions under the influence of ionizing radiation play a direct role in energy and charge transport processes. In explaining these processes, the mean free path (MFP), corresponding to successive collisions of electrons with the atoms or molecules constituting matter, and the inelastic mean free path (IMFP), corresponding to successive inelastic collisions, are widely used. These quantities are considered important parameters for studying electron and energy transport processes in matter.

In the presented work, a mathematical model of the inelastic collision process of electrons with kinetic energies of T = 0.05-10 keV in amorphous, non-porous nano-SiO_2 was developed, and the inelastic mean free path of electrons was calculated based on this model. The calculations were performed using the Monte Carlo, step-by-step, and direct single-ionization methods in the Mathcad software. In the calculations, for the effective cross section of direct single ionization of various molecular orbitals of the Si ($1s^2$, $2s^2$, $2p^6$, $3s^2$, $3p^2$) and O ($1s^2$, $2s^2$, $2p^4$) atoms constituting the SiO_2 molecule during the inelastic collision of primary electrons or each new generation of δ-electrons that may be generated by them, an improved formulation of the Mott equation was used. For the effective cross section of electron excitation, the formula proposed by Cobut based on the equation given by Kutcher and Green was used. It should be noted that, within the nano-SiO_2 under investigation, it was possible to determine both the maximum energy transfer during the inelastic collision of the generated electrons and the corresponding inelastic mean free path. Since the results obtained from the calculations are consistent with various experimental, theoretical, and computational methods, this work can be considered significant.

The calculated value of the inelastic mean free path of electrons with kinetic energies of T = 0.05-10 keV in SiO_2 varies in the range of λ = 6-167 nm depending on the kinetic energy of the primary electrons. Resonant energy transfer was determined to occur at a kinetic energy of T = 100 eV, while the minimum value of the inelastic mean free path corresponding to this energy was determined as $\lambda_{min.}$ = 6 nm.

CRYSTAL STRUCTURE AND PHASE-DEPENDENT PROPERTIES OF TiO_2 NANOPARTICLES

[1]Gunel Imanova, [2]Ilkhom Bekpulatov, Anar Aliyev[1]
[1]Institute of Physics, Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan
[2]Karshi State University 180119, Karshi, Uzbekistan
*Corresponding authors: gunnel_imanova55@mail.ru and ilkhomjon31121985@gmail.com

Abstract. Titanium dioxide (TiO_2) nanoparticles have attracted considerable attention because of their unique structural, optical, electronic, and photocatalytic properties. Their physicochemical behavior is strongly influenced by crystal structure, phase composition, particle size, and surface characteristics. TiO_2 mainly occurs in three crystalline polymorphs: anatase, rutile, and brookite. Among these phases, anatase and rutile are the most extensively investigated owing to their technological importance. Both structures are composed of distorted TiO_6 octahedra; however, differences in octahedral connectivity result in distinct structural and functional properties. Anatase crystallizes in a tetragonal structure with the $I4_1/amd$ space group and lattice parameters of approximately $a = 0.54$nm and $c = 0.95$nm, whereas rutile has a tetragonal $P4_2/mnm$ structure with $a = 0.46$nm and $c = 0.30$nm. Although rutile is the thermodynamically stable bulk phase, anatase can become more favorable at the nanoscale because of its lower surface-energy contribution. Anatase generally exhibits superior photocatalytic activity, while the combination of anatase and rutile phases can produce enhanced photoelectric and photocatalytic properties. This work presents a concise analysis of the crystal structures of TiO_2 nanoparticles and discusses the relationship between phase composition and functional properties.

Keywords: TiO_2 nanoparticles, anatase, rutile, brookite, crystal structure, phase composition, photocatalysis, nanomaterials.

1. Introduction

Nanomaterials are characterized by dimensions typically ranging from approximately 1 to 100 nm. At this scale, materials can exhibit physicochemical properties that differ significantly from those of their bulk counterparts. Changes in surface-to-volume ratio, electronic structure, defect concentration, and quantum-size effects can strongly influence their optical, electronic, chemical, magnetic, and catalytic behavior.

Titanium dioxide is one of the most extensively studied metal-oxide nanomaterials because of its chemical stability, high refractive index, optical activity, and photocatalytic performance. TiO_2 nanoparticles have consequently found potential applications in environmental purification, energy conversion, photoelectrochemical systems, coatings, sensors, and other advanced technologies [1–4]. The performance of TiO_2 is closely associated with its crystal structure. The material exists in three naturally occurring polymorphs—anatase, rutile, and brookite—with anatase and rutile being the most frequently investigated phases [3]. Understanding the structural differences between these polymorphs is therefore essential for controlling the properties of TiO_2-based nanomaterials.

2. Crystal Structure of TiO_2 Nanoparticles

The fundamental structural unit of TiO_2 is a distorted TiO_6 octahedron, in which a Ti^{4+} ion is surrounded by six O^{2-} ions. Although anatase and rutile possess the same basic coordination unit, their octahedral arrangements within the crystal lattice are different, leading to distinct crystallographic and physical properties. Anatase has a tetragonal structure belonging to the $I4_1/amd$ space group. Its lattice parameters are approximately $a = 0.54$nm and $c = 0.95$nm. In this structure, TiO_6 octahedra are connected mainly through shared corners. This arrangement determines the characteristic electronic structure and surface properties of anatase. Rutile also possesses a tetragonal structure but belongs to the $P4_2/mnm$ space group. Its lattice parameters are approximately $a = 0.46$nm and $c = 0.30$nm. Compared with anatase, rutile has a different arrangement of TiO_6 octahedra, including stronger edge-sharing connections. These structural differences are reflected in the stability and functional properties of the two phases. Rutile is the thermodynamically stable form of TiO_2 under bulk conditions. However, when the particle size decreases to the nanoscale, surface-energy effects become increasingly important. As a result, anatase can become energetically favorable for sufficiently small particles [1,3].

3. Relationship Between Crystal Structure and Photocatalytic Properties

The crystal phase of TiO_2 plays an important role in determining its photocatalytic performance. When TiO_2 absorbs photons with sufficient energy, electron–hole pairs are generated. The subsequent migration and separation of these charge carriers determine the efficiency of photocatalytic reactions. Anatase is frequently reported to exhibit higher photocatalytic activity than pure rutile. This behavior is associated with its electronic structure, surface characteristics, defect chemistry, and charge-carrier dynamics [1–4]. Consequently, anatase TiO_2 nanoparticles have become important materials for photocatalytic environmental and energy-related applications. The properties of TiO_2 can also be modified by incorporating additional components. For example, palladium-modified TiO_2 nanostructures can exhibit changes in their optical and electronic behavior due to interactions between the metal and semiconductor phases [2,4]. Such modifications can improve charge separation and influence the response of TiO_2 to incident radiation.

4. Mixed Anatase–Rutile Structures

In addition to single-phase TiO_2, mixed-phase anatase/rutile materials have attracted considerable scientific interest. The coexistence of two crystalline phases can create interfaces with favorable charge-transfer characteristics. A controlled combination of anatase and rutile can promote separation of photogenerated electrons and holes, thereby reducing their recombination. As a result, mixed-phase TiO_2 can exhibit enhanced photocatalytic activity compared with individual anatase or rutile phases [5]. The functional properties of mixed-phase TiO_2 therefore depend strongly on the anatase-to-rutile ratio, crystallite size, surface area, defect concentration, and preparation conditions. Optimization of these structural parameters is essential for designing TiO_2 nanoparticles with improved performance.

5. Conclusion

The crystal structure of TiO_2 nanoparticles plays a fundamental role in determining their physical and chemical properties. Anatase, rutile, and brookite represent the principal crystalline polymorphs, with

anatase and rutile being the most extensively investigated. Anatase and rutile both consist of distorted TiO_6 octahedra but differ in their crystal symmetry, lattice parameters, and octahedral connectivity. Rutile is the thermodynamically stable bulk phase, whereas anatase can be stabilized at the nanoscale because of surface-energy effects. The structural characteristics of anatase also contribute to its high photocatalytic activity. Particularly promising properties can be obtained by combining anatase and rutile in controlled proportions. The resulting phase interfaces can facilitate charge separation and improve photocatalytic performance. Therefore, precise control of phase composition, crystallite size, and crystal structure is essential for optimizing TiO_2 nanoparticles for photocatalytic, environmental, and energy-related applications.

References

1. Chen, X., Mao, S. S. Titanium Dioxide Nanomaterials: Synthesis, Properties, Modifications, and Applications. *Chemical Reviews*, 2007, 107, 2891–2959.
2. Ye, M., Lin, Z. High-efficiency photoelectrocatalytic hydrogen generation enabled by palladium quantum dots-sensitized TiO_2 nanotube arrays. *Journal of the American Chemical Society*, 2012, 134(38), 15720–15723.
3. Dambournet, D., Belharouak, I., Amine, K. Tailored Preparation Methods of TiO_2 Anatase, Rutile, Brookite: Mechanism of Formation and Electrochemical Properties. *Chemistry of Materials*, 2009/2010, 22(3), 1173–1179.
4. Li, J., et al. Structural and Optical Interplay of Palladium-Modified TiO_2 Nanoheterostructure. *The Journal of Physical Chemistry C*, 2015, 119(4), 2222–2230.
5. Luo, Z., et al. Crystalline Mixed Phase (Anatase/Rutile) Mesoporous Titanium Dioxides for Visible Light Photocatalytic Activity. *Chemistry of Materials*, 2015, 27(1), 6–17.

ВЛИЯНИЯ ВАРИЗОННОСТИ НА НАНОРАЗМЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ В ТВЕРДЫХ РАСТВОРАХ $Si_{1-x}Ge_x$ ($0 \le x \le 1.00$)

А.А. Абдурахмонов[1], Х.М. Мадаминов[2], А.Д. Абдулхамидов[2].
[1]Ферганский государственный университет, Фергана, 150100, ул. Мураббийлар, 19,
[2]Андижанский государственный университет, Андижан, 170100, ул. Университетская, 129.

Кремний-совместимые гетероструктуры остаются ключевой платформой наноэлектроники [1] и Si-фотоники [2], [3], обеспечивая монолитную интеграцию электронных и оптоэлектронных функций. В этом контексте твёрдые растворы $Si_{1-x}Ge_x$ ($0 \le x \le 1.00$) обладают высокой управляемостью параметров: изменение доли Ge позволяет целенаправленно модифицировать ширину запрещённой зоны E_g, эффективные массы и профиль краёв зон. Наиболее выразительные возможности инженерии зонной структуры открываются в варизонных слоях, где состав x=x(z) меняется вдоль направления роста. Такой градиент формирует плавный потенциал для носителей и внутренние квазистатические поля, влияя одновременно на локализацию носителей и на спектральные свойства [4].

При нанометровых толщинах (L порядка нескольких-десятков нм) система переходит в режим квантового конфайнмента: спектр электронов и дырок дискретизируется на подзоны, а оптические переходы испытывают характерный сдвиг. Одновременно варизонность сама по себе через зависимость $E_g(x)$ и офсетов от состава вызывает зонноградиентную смещение. Следовательно, наблюдаемая перестройка энергии оптического перехода в варизонных SiGe-структурах определяется суперпозицией двух механизмов: композиционного изменения E_g вдоль z и квантово-размерного вклада, обусловленного дискретизацией уровней.

Рассмотрим слой SiGe, выращенный на кремниевой подложке толщиной L и с линейным изменением концентрации германия вдоль оси роста (z):

$$x(z) = x_0 + (x_1 - x_0)\cdot\frac{z}{L}, 0 \le z \le L. \quad (1)$$

Здесь x_0 и x_1 – начальная и конечная доли Ge соответственно. Несоответствие решеток между подложкой и эпитаксиальным слоем вызывает сжимающее механическое напряжение в системе вдоль двух осей. Это напряжение определяет разделение валентной полосы на подзоны легких и тяжелых дырок. С учетом деформационных потенциалов и упругих постоянных эффективные предельные потенциалы для зоны проводимости и валентной полосы тяжелых дырок относительно состава x_0 параметризуются следующим образом:

$$V_e(z) = \Delta E_c(x(z)) - \Delta E_c(x_0), \quad (2)$$

$$V_h(z) = \Delta E_v(x(z)) - \Delta E_v(x_0). \quad (3)$$

В этой модели в качестве базовых параметров использовались соотношения, основанные на соотношения Ван де Валле: $\Delta E_c = 0{,}64x$ и $\Delta E_v = 0{,}74x$ [5]. Поскольку эффективная масса носителей в среде гетероструктуры изменяется в зависимости от координаты (m* = m*(x(z))), для сохранения эрмитовости оператора кинетической энергии было записано одномерное уравнение Шрёдингера в форме Бен-Даниэля-Дьюка [6]:

$$-\frac{\hbar^2}{2}\frac{d}{dz}\left[\frac{1}{m^*_{e,h}(z)}\frac{d\psi_n(z)}{dz}\right] + V_{e,h}(z)\psi(z) = E_n\psi_n(z) \quad (4)$$

Здесь $\hbar$ – приведенная постоянная Планка, E_n – энергия, соответствующий подзоны, $\psi_n(z)$ – огибающая волновая функция носителей заряда [7]. Пространственный профиль эффективных масс был получен как $m^*_e(z) = (0{,}19 + 0{,}08x(z))m_0$ для электронов и $m^*_{hh}(z) = (0{,}28 + 0{,}11x(z))m_0$ для тяжелых дырок.

Данная система дифференциальных уравнений (4) была дискретизирована с использованием метода конечных разностей на однородной сетке с шагом $\Delta z = 0{,}05$ нм. На границах слоев были применены условия бесконечно высокой потенциальной стенки ($\psi(0) = \psi(L) = 0$), что свело оператор Гамильтона к трехдиагональной симметричной матрице. Основные энергетические состояния (E_{e1} и E_{h1}) и волновые функции были рассчитаны путем диагонализации матрицы. Суммарная энергия оптического перехода (E_{opt}) системы определяется следующим выражением [8]:

$$E_{opt} \approx \langle E_g \rangle + E_{e1} + E_{h1} \quad (5)$$

где $\langle E_g \rangle = \frac{1}{L}\int_0^L E_g(x(z))dz$ - это усредненная значения ширина запрещенной зоны по слою $E_g(x(z))$. Мы разлагаем общий спектральный сдвиг на вклады градиента (ΔE_{grad}) и квантового ограничения (ΔE_{qc}):

$$\Delta E_{qc} = E_{e1} + E_{h1} \quad (6)$$

$$\Delta E_{grad} = \langle E_g \rangle - E_g(x_0) \quad (7)$$

Для оценки конкуренции между этими механизмами был введен безразмерный индекс доминирования (R):

$$R = \Delta E_{qc}/|\Delta E_{grad}| \quad (8)$$

Первоначальные расчеты были выполнены для модельного образца толщиной L = 12 нм и профилем германия $x_0 = 0{,}10 \rightarrow x_1 = 0{,}30$. В такой системе, благодаря линейному профилю (1), формируются асимметричные потенциальные ямы глубиной 0,128 эВ и 0,148 эВ для электронов и дырок соответственно (рис. 1).

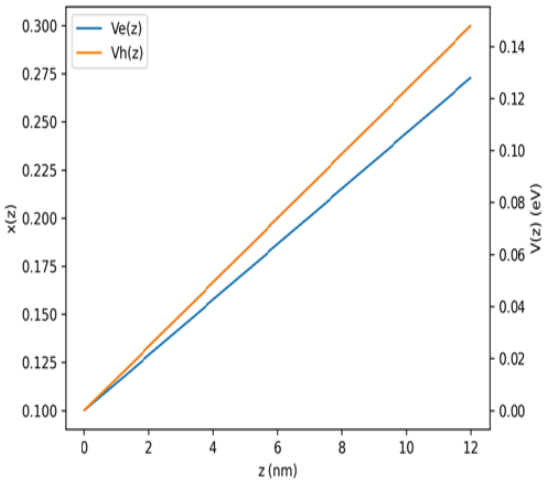


Рис. 1. Профиль состава *x(z)* и эффективные потенциалы $V_e(z)$, $V_h(z)$ (L = *12 нм*, $x_0 = 0.1$, $x_1 = 0.3$, $\Delta E_c=0.64x$, $\Delta E_v=0.74x$)

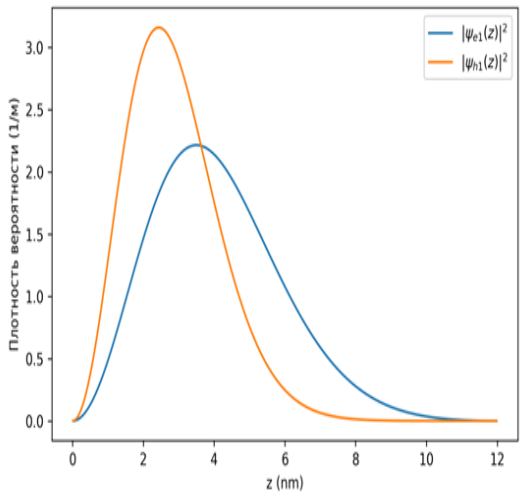


Рис. 2. Плотности вероятности основных состояний $|\psi_{e1}(z)|^2$ *и* $|\psi_{h1}(z)|^2$ (локализация в варизонном потенциале)

Поле линейного градиента сжимает обе волновые функции в направлении правой гетерограницы ($z = L$), где расположена самая глубокая часть потенциала (рис. 2). Однако из-за большой эффективной массы (m_{hh}*) тяжелых дырок по сравнению с массой электронов, волновая функция дырки локализована гораздо сильнее в нижней части потенциала и более отсоединена от левой границы. Такое пространственное разделение значительно уменьшает интеграл покрытия электрон-дырка ($I_{eh} \approx 0,72$). Этот эффект теоретически подтверждает уменьшение коэффициента оптического поглощения в варизонных системах, о котором сообщали Левер [9] и Чайсакул [10].

Для оценки роли геометрических факторов в системе было смоделировано изменение толщины слоя L от 5 нм до 30 нм при неизменном профиле германия ($x_0 = 0.10$, $x_1 = 0.30$). Результаты приведены в рис. 3.

Вклад квантового ограничения ΔE_{qc} резко уменьшается с увеличением толщины, следуя закону ($\sim 1/L^2$), как в модели Бастарда [11]. Напротив, вклад градиента состава остается постоянным ΔE_{grad} = - 0,059 эВ во всем диапазоне толщин.

Успешно построена одномерная модель огибающей функции для выделения компонент энергетического спектра в $Si_{1-x}Ge_x/Si$ ($0 \le x \le 1.00$) гетероструктурах, с линейным градиентом. Установлено, что при фиксированных пределах геометрический размер (толщины слоя) служит основным упругим рычагом, определяющим смещение квантовых подзон. Введенный безразмерный критерий R позволяет сформулировать точные инженерные правила для оптимизации гетероструктур для нанофотоники и модуляторов среднего ИК-диапазона.

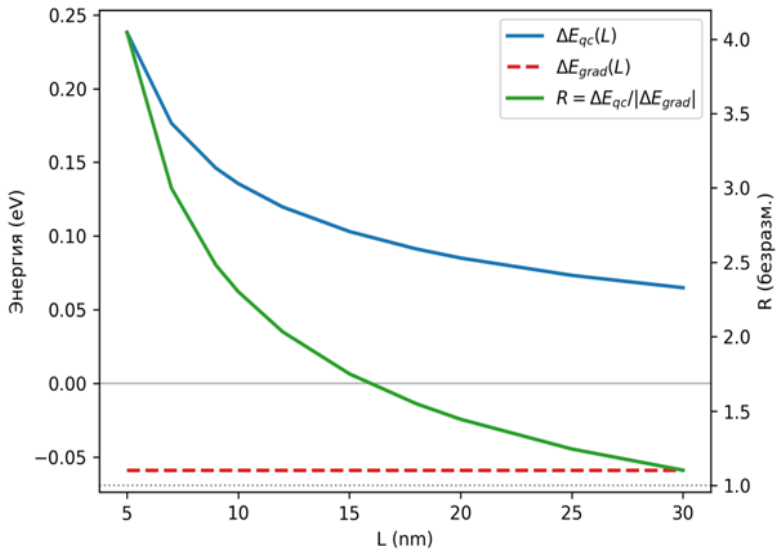


Рис. 3. Разложение вкладов и критерий доминирования $R=\Delta E_{qc}/|\Delta E_{grad}|$.
Линия $R=1$ соответствует режиму компенсации

Предложенная модель и метод безразмерной R-параметризации обладают высокой степенью универсальности и могут быть успешно применены к структурам $Si_{1-x}Sn_x/Si$ [12-13], которые считаются наиболее перспективным классом полупроводников $A^{IV}B^{IV}$ класса [17-17].

Список использованной литературы

1. A.S. Saidov, A.Yu. Leyderman, Sh.N. Usmonov, U.Kh. Rakhmonov, D.V. Saparov, Q.T. Suyarov, A.M. Akhmedov, e-Journal of Surface Science and Nanotechnology, 21, 1 (2023).
2. Kh.M. Madaminov, Applied Physics, 1, 63-68 (2021).
3. Kh.M. Madaminov, Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences, 119(2), 35 (2025).
4. Sh.K. Ismailov, A.S. Saidov, Sh.N. Usmonov, D.V. Saparov, D.O. Eshonkhojaev, U.P. Asatova, S.G. Bobojanov, The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, 6(73), 980 (2024).
5. J. Huertas-Pedroche, V. Turpaud, L. Lucia, et al. Optics Express, 33(20), 42408-42419 (2025).
6. R. People, Physical Review B, 32(2), 1405-1408 (1985).
7. S. Sant, A. Schenk, W. Fichtner, Journal of Applied Physics, 113, 033708 (2013).
8. L. Colombo, A. Fasolino, Physical Review B, 44(11), 5572-5579 (1991).
9. L. Lever, & et al, Journal of Applied Physics, 112, 123105 (2012).
10. P. Chaisakul, D. Marris-Morini, G. Isella, D. Chrastina, S. Edmond, J. Osmond, J.-R. Coudevylle, L. Vivien, E. Cassan, Photonics, 6 (1), 24 (2019).
11. G. Bastard, Wave mechanics applied to semiconductor heterostructures. (Les Editions de Physique, Les Ulis). 1988. pp. 45-90.
12. Kh.M. Madaminov, Applied Physics, 2, 80 (2020), EID: 2-s2.0-85100152868 (in Russian).
13. G.-F. Dalla, J. Ye, Chips, 2, 83 (2023).
14. H. Zhang, N.-G. Park, DeCarbon, 3, 100025 (2024).
15. A.S. Abdulhameed, H.A. Hadi, & R.A. Ismail, J Mater Sci: Mater Electron 35, 699 (2024).
16. S. Conti, S. Saberi-Pouya, A. Perali, et al. Quantum Mater. 6, 41 (2021).
17. A.Sh. Ikromov, A.A. Abdurakhmonov, Kh.M. Madaminov, East Eur. J. Phys. 3, 309 (2025).

KREMNIY-QALAY QATTIQ QORISHMALARI - TERMOELEKTRIK MATERIAL

A.A. Abduraxmonov[1], A.D. Abdulhamidov[2], X.M. Madaminov[2].
[1]Farg’ona davlat universiteti, Fargona, 150100, Murabbiylar ko`chasi, 19,
[2]Andijon davlat universiteti, Andijon, 170100, Universitet ko‘chasi, 129.

Bugungi kunda issiqlik energiyasini murakkab qurilmalarsiz elektr energiyasiga aylantirish uchun termoelektrik materiallardan foydalaniladi. Odatda, mazkur jarayonda samaradorlik ko‘rsatkichi – ZT, termoelektrik materialning asosiy mezoni hisoblanadi va u quyidagicha ifodalanadi:

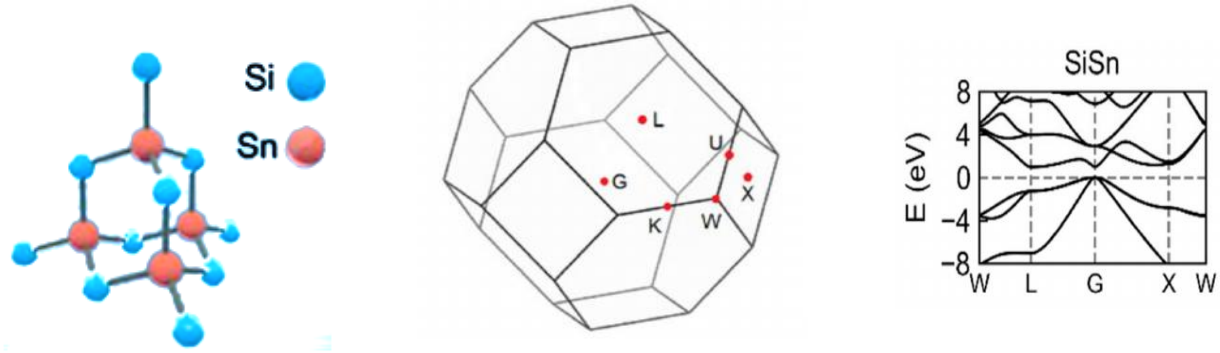
$$ZT = S^2\sigma T/\kappa \qquad (1)$$

bu yerda S - Zeebek koeffitsiyenti, σ - elektr o‘tkazuvchanlik, κ - umumiy issiqlik o‘tkazuvchanlik va $S^2\sigma$ - quvvat koeffitsiyenti. O’tkazilgan qator tadqiqotlar termoelektrik materiallar orasida SiGe [1], Mg_3Sb_2 [2], Bi_2Te_3 [3] va SnSe [4]lar yuqori elektr o’tkazuvchanlik hamda past issiqlik o’tkazuvchanlik xususiyatlarini namoyish etgani sababli yahshi o‘rganilgan. Shular orasida, an’anaviy yuqori haroratli termoelektrik material bo‘lgan SiGe qattiq qorishmalari nisbatan keng tadqiq qilingan. Biroq, uning elektr o’tkazuvchanligi nisbatan yomon bo‘lgani sababli, SiGe ning ZT maksimal qiymati unchalik yuqori emas (1200 K da ZT_{max} = 1,3) [5]. Shuni hisobga olib, keying yillarda muqobil yuqori haroratli termoelektrik material nomzodlarini izlash kun tartibidagi muhim masalaga aylandi. Shunday nomzodlardan biri SiSn qattiq qorishmalari hisoblanadi.

Ushbu ishda $A^{IV}B^{IV}$ sinfiga mansub SiSn qattiq qorishmalarning termoelektrik xususiyatlari tizimli ravishda o’rganildi. Tadqiqot ob’yektining elektron relaksatsiya vaqtini aniqlash uchun elektron-fonon bog‘lanish nazariyasidan foydalanildi. Olingan natijalarning tahlili asosida SiSn qattiq qorishmalarini, SiGe ga qaraganda ustunroq termoelektrik material ekanligi aniqlandi.

Hozirgi kunda SiGe qattiq qorishmalari an’anaviy termoelektrik material hisoblansada [6], germaniy (Ge) elementi Yerda ancha kam uchraydi. Uning ustiga qalay (Sn)ga nisbatan ancha qimmat, shuningdek germaniy (Ge) zaharli, qalay (Sn) esa unday emas. Eng muhimi, SiSn qattiq qorishmalarining panjara issiqlik o‘tkazuvchanligi SiGe nikidan past bo‘lishi bashorat qilinmoqda, bu esa yuqorida ta’kidlanganidek termoelektrika uchun SiSn ning SiGe ga nisbatan katta ustunlikka ega ekanligini yana bir karra isbotlaydi [7]. Bundan tashqari, SiSn ning mexanik, optik, issiqlik va elektr xususiyatlari ham ko‘plab nazariyotchi olimlar tomonidan yetarlicha tadqiq qilingan [8, 9]. Bizning nazariy hisoblashlarimiz [10]ga ko‘ra, SiSn ning T = 800 K da ZT_{max} = 2,0 dan ham katta bo’lishi mumkin.

Shu o’rinda, 4-guruh elementlaridan (Si va Sn) tashkil topgan SiSn qattiq qorishmalari olmossimon, hajmiy markazlashgan kub tuzilmaga egaligini eslab o’tish kerak. Hajmiy markazlashgan kub tuzilmaning har bir atomi to‘rtta kuchli kovalent bog‘ga ega (1-rasm) va bu tuzilma kristall panjarasi qattiqligi va mustahkamligini ta’minlaydi.



A **b** **d**

1-rasm. SiSn qattiq qorishmasining kristall panjara ko’rinishi (a), birinchi Brillyuen sohasidagi yuqori simmetriya nuqtalari (b) va sohaviy tuzilmasi (d) [11].

Umuman, qattiq qorishma tarkibiga kiruvchi atomlarning kovalent radiusi ortishi bilan panjara doimiylari ham mos ravishda ortishi avvaldan ma’lum. Shuni e’tiborga olib, ishda dastlab binar qattiq qorishmalarning termoelektrik xususiyatlari o‘rganildi. O’rganishlar natijalari esa keyingi tadqiqot ob’yekti sifatida yuqori samaradorlikka ega uchlamchi qattiq qorishmalarni tanlashga asos bo‘ladi.

1-jadvalda binar qattiq qorishma SiSn ning optimallashtirilgan panjara doimiylari keltirilgan. Olingan natijalarni solishtirish uchun jadvalda Vangning LDA hisoblash natijalari [12] ham keltirilgan bo‘lib, bizning natijalarimiz ushbu ma’lumotlarga qoniqarli darajada mos kelishi ko’rinib turibdi.

1-jadval

SiSn qattiq qorishmalarining panjara parametrlari va taqiqlangan soha kengligi (E_g)

Parametrlar	a, QE (Å)	a, VASP (Å)	a, (Å) [12]	Eg, PBE (eV)	Eg, HSE06 (eV)
SiSn	5.99	6.08	5.914	0.40	0.97

Taqiqlangan soha kengligi (E_g) termoelektrik samaradorlikni bashorat qilishda muhim rol o‘ynaydi, chunki termoelektrik materiallar yuqori elektr o‘tkazuvchanlik va Zeebek koeffitsientini saqlab qolish uchun son qiymati yetarlicha katta taqiqlangan sohaga ega bo‘lishi kerak. Uglerod asosidagi qattiq qorishmalar (SiC, GeC, SnC va PbC) uchun o‘rtacha molekulyar massa ortishi bilan G nuqtadagi soha energiyasi kamayadi. Bu o‘zgarish uglerod asosidagi qattiq qorishmalarni bilvosita sohali yarimo‘tkazgichlardan (SiC va GeC) to‘g‘ri zoali yarimo‘tkazgichlarga (SnC), so‘ngra yarimmetallarga (PbC) aylantiradi. Ushbu qattiq qorishmalar energiya sohalarining valent soha yuqori qismi G nuqta holatida joylashgan. SiC va GeC ning o‘tkazuvchanlik sohasi tubi yuqori simmetriya nuqtasi X da joylashgan bo‘lsa, SnC va PbC niki G nuqtada joylashgan. PBE va HSE06 hisoblashlari SiC ning taqiqlangan soha kengligini mos ravishda 1,37 va 2,26 eV deb bashorat qiladi, tajribaviy natija esa 7,34 eV ni tashkil etadi [13]. Hatto HSE06 gibrid funksionali yordamida hisoblangan taqiqlangan soha qiymati, bu materialning haqiqiy sohasi bizning hisoblangan qiymatimizdan ancha katta bo‘lishi kerakligini ko’rsatdi. GeC ning hisoblangan sohasi SiC nikidan kattaroq bo‘lgani uchun, GeC dielektrik bo‘lishi kerak. Boshqa 4-guruh qattiq qorishmalari orasida SiPb, GePb, SnPb va GeSn yarimmetal yoki metallardir; shuning uchun ularning termoelektrik xususiyatlarini o‘rganish ortiqcha hisoblanadi. Shu sababli, faqat uchta yarimo‘tkazgich material - SnC, SiGe va SiSn - qo‘shimcha o‘rganishga loyiqdir.

Ushbu tadqiqotda biz birlamchi tamoyillar asosidagi hisoblashlardan foydalanib, 4-guruh elementlari (C, Si, Ge, Sn, Pb) asosidagi qattiq qorishmalarning energetik sohaviy tuzilishidagi farqlarni o‘rgandik. Ajablanarlisi shundaki, SiSn qotishmalarining energiya sohasi kuchli konvergensiyasiga ega; ya’ni, L va X nuqtalaridagi o‘tkazuvchanlik sohasi vohalarining energiya qiymatlari G nuqtadagi energiyaga juda yaqin bo‘lib, uch-energiya-vohasi konvergensiya effektini hosil qiladi. Bolsman transport tenglamasi va elektron-fonon ta’sirlashuv nazariyasidan foydalanib, SiSn ning elektr o’tkazuvchanlik xususiyatlari haqiqatan ham SiGe nikidan ustun ekanligi aniqlandi. Ushbu ma’lumot ko‘p-energiya-vohasi effekti elektr o’tkazuvchanlik samaradorligini effektiv ravishda oshirishi mumkinligini ko‘rsatadi.

SiGe va SiSn ning T = 800 K dagi ZT qiymatlarini (1)-formula yordamida hisoblash mumkin. SiGe uchun maksimal ZT qiymati 1,1 bo‘lib, bu tajriba ma’lumotlariga qoniqarli darajada mos keladi [5]. Bu bizning hisoblashlarimizning aniqligini ko‘rsatish uchun yetarli bo‘lib, ular ancha ishonchlidir. Optimal tok tashuvchi zarralar konsentratsiyasida SiSn ning panjara issiqlik o‘tkazuvchanligi ancha past bo‘lib, SiSn uchun ZT = 2,2 ga yetishi mumkin. Ya’ni, SiSn uchun ZT ning son qiymati SiGe nikidan taxminan 100% yuqori bo‘ladi. Olingan ushbu natijalar olmossimon tuzilishga ega 4-guruh qattiq qorishmalari uchun yangi imkoniyatlar eshigini ochadi. Pirovardida, ushbu holat SiSn qattiq qorishmasini SiGe ning o‘rnini bosuvchi yuqori potensial imkoniyatli termoelektrik material bo‘lishi mumkinligini anglatadi.

Biroq, qattiq qorishmalar nafaqat ikki tarkibiy qismning bir xil nisbatlaridagi binar qorishmalarni, balki turli nisbatlardagi binar qattiq qorishmalarni, uchlamchi qattiq qorishmalarni va hokazolarni ham o‘z ichiga oladi. Mos taqiqlangan soha kengligi va nisbatan kichik panjara issiqlik o‘tkazuvchanligiga asoslanib, yuqori samarali qattiq qorishmalarni izlash uchun SiGeSn qattiq qorishmalari tanlab olindi. Mazkur qattiq qorishmalarning ZT qiymati kam baholangan bo‘lsa-da, u nisbiy termoelektrik samaradorlikni aks ettirishi mumkin [13]. $Si_{0.75}Sn_{0.25}$ ning termoelektrik samaradorligi $Si_{0.5}Sn_{0.5}$ nikidan ustun ekanligi aniqlangan, bu esa SiSn qotishmalari SiGe qotishmalariga nisbatan tengsiz afzalliklarni namoyon etishda davom etishini bildiradi [14-15].

Bundan tashqari, effektiv massa qiymatining yuqori qiymatga ega bo’lishi tufayli, SiSn ning panjara issiqlik o‘tkazuvchanligi SiGe nikidan pastdir. Qattiq qorishma SiSn ning T = 800 K da 2,0 dan yuqori ZT qiymatlarini namoyish etadi, bu uning yuqori elektr o’tkazuvchanlik va pastroq panjara issiqlik o‘tkazuvchanligini yana bir bor tasdiqlaydi. Nazariy hisoblashlar SiSn juda yuqori ZT qiymatlariga (800 K da 2,2 gacha) ega ekanligini ko‘rsatdi, bu esa SiSn qattiq qorishmalarini termoelektrik materiallar uchun potensial yangi nomzod bo‘lishi mumkinligini yaqqol isbotlaydi. Chuqurroq tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, SiSn qattiq qorishmalarining eng yaxshi termoelektrik tarkibiy qismi $Si_{0.75}Sn_{0.25}$ bo‘lib, u kuchli sohaviy qayta tashkillanish va past panjara issiqlik o‘tkazuvchanligi bilan kuchaytirilgan.

Adabiyotlar ro‘yxati

1. Possanzini C., Fletcher R., Coleridge P.T., Feng Y.; Williams R.L., Maan J.C. Diffusion Thermopower of a Two-Dimensional Hole Gas in SiGe in a Quantum Hall Insulating State. Phys. Rev. Lett. 2003, 90, 176601.
2. Omonboyev F., Mamadalimov A., Thermoelectric properties of granular Mg_3Sb_2 particles. E3S Web of Conferences 462, 03013 (2023) AFE2023.https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346203013.
3. Ghaemi P., Mong R.S.K., Moore J.E. In-Plane Transport and Enhanced Thermoelectric Performance in Thin Films of the Topological Insulators Bi_2Te_3 and Bi_2Se_3. Phys. Rev. Lett. 2010, 105, 166603.
4. Dewandre A., Hellman O., Bhattacharya S., Romero A.H., Madsen G.K.H., Verstraete M.J. Two-Step Phase Transition in SnSe and the Origins of its High Power Factor from First Principles. Phys. Rev. Lett. 2016, 117, 276601.
5. Wang X.W., Lee H., Lan Y.C., Zhu G.H., Joshi G., Wang D.Z., Yang J., Muto A.J., Tang M.Y., Klatsky J., et al. Enhanced Thermoelectric Figure of Merit in Nanostructured n-Type Silicon Germanium Bulk Alloy. Appl. Phys. Lett. 2008, 93, 193121.
6. Donmez Noyan I., Gadea G., Salleras M., Pacios M., Calaza C., Stranz A., Dolcet M., Morata A., Tarancon A., Fonseca L. SiGe Nanowire Arrays Based Thermoelectric Microgenerator. Nano Energy 2019, 57, 492–499.
7. Khatami S.N., Aksamija Z. Lattice Thermal Conductivity of the Binary and Ternary Group-IV Alloys Si-Sn, Ge-Sn, and Si-Ge-Sn. Phys. Rev. Appl. 2016, 6, 014015.
8. Zhang X., Wen S., Zhao C., Zhang H. Study on the Mechanical and Optical Properties of SiSn Alloy by First Principles. Mater. Today Commun. 2021, 28, 102543.
9. Madaminov Kh.M. Temperature dependences of the electrophysical properties of the solid solution $Si_{1-x}Sn_x$ ($0 \le x \le 0.04$). Applied Physics, 2021, 1, 63-68.
10. Omonboyev F.L., Madaminov X.M. Termoelektrik materiallarda quvvat omilini yaxshilash va undagi muammolar. “Zamonaviy yarimo’tkazgichli mikroelektronika va fotovoltaikada nanoo’lchamli tizimlarning qo’llanilishi” mavzusida xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallari to’plami, Andjon, 2025, 19-20 dekabr, 110-113 bet.
11. Zhang X., Wen S., Zhao C., and Zhang H. Study on the Mechanical and Optical Properties of SiSn Alloy by First Principles. Mater. Today Commun. 2021, 28, 102543.

12. Wang S.Q., Ye H.Q. Plane-Wave Pseudopotential Study on Mechanical and Electronic Properties for IV and III-V Crystalline Phases with Zinc-Blende Structure. Phys. Rev. B 2002, 66, 235111.
13. Xue D., Myles C.W. First-Principles Analysis of Vibrational Properties of Type II SiGe Alloy Clathrates. Nanomaterials 2019, 9, 723.
14. He Y., Savić, I., Donadio D., Galli G. Lattice Thermal Conductivity of Semiconducting Bulk Materials: Atomistic Simulations. Phys. Chem. Chem. Phys. 2012, 14, 16209–16222.
15. Kandemir A., Ozden A., Cagin T., Sevik C. Thermal Conductivity Engineering of Bulk and One-Dimensional Si-Ge Nanoarchitectures. Sci. Technol. Adv. Mater. 2017, 18, 187–196.

ZrO_2/Si(111) YUPQA PLYONKALARINING STRUKTURAVIY, FAZAVIY VA ELEKTRON XOSSALARINING TERMIK ISHLOV BERISHGA BOG'LIQLIGI

J.T. Abduraximov[1], I.R. Bekpulatov[2]
1. Qarshi davlat universitetining tayanch doktoranti
2. Fizika-matematika fanlari doktori (DSc), Qarshi davlat universiteti dotsenti

Sirkoniy dioksidi (ZrO_2) yuqori kimyoviy turg'unligi, yuqori dielektrik singdiruvchanligi (*k*-qiymati), mexanik mustahkamligi hamda optik xususiyatlari tufayli zamonaviy mikroelektronika, himoya qoplamalari va sensor texnologiyalarida keng qo'llaniladigan materiallardan biri hisoblanadi. ZrO_2 yupqa plyonkalari kremniy podloshkalar sirtida yuqori dielektrik xossalarga ega qatlam sifatida, xususan, MOSFET qurilmalarida kremniy oksidi o'rnini bosuvchi material sifatida katta qiziqish uyg'otmoqda.

Normal sharoitda va past haroratlarda sirkoniy dioksidi termodinamik jihatdan turg'un monoklinik fazada mavjud bo'ladi. Haroratning ortishi yoki plyonka qalinligining nanometrik o'lchamlargacha kamayishi natijasida tetragonal va kubik fazalarning hosil bo'lishi hamda ma'lum sharoitlarda ularning turg'unlashishi kuzatilishi mumkin. Ushbu fazaviy o'zgarishlar va mikrostrukturaning shakllanishi materialning fizik-mexanik va dielektrik xossalariga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli ZrO_2 yupqa plyonkalarida yuz beradigan fazaviy transformatsiyalarni rentgen-difraksion tahlil (XRD) yordamida o'rganish muhim ilmiy vazifalardan biridir.

Tadqiqotda ZrO_2 yupqa plyonkalari reaktiv magnetronli purkash usuli yordamida toza Si(111) podloshkalar sirtiga o'stirildi. Cho'ktirish jarayonida yuqori tozalikdagi sirkoniy meyshini argon va kislorod aralashmasidan iborat ishchi muhitda qo'llanildi. Olingan namunalar 400–800 °C harorat oralig'ida havo muhitida termik qizdirildi.

Namunalarning fazaviy tarkibi va kristallik tuzilishi Cu-Kα nurlanish manbasiga ega rentgen difraktometri yordamida, λ = 1,5406 Å to'lqin uzunligida, 2θ = 20–80° burchak diapazonida o'rganildi. Kristallitlarning o'rtacha o'lchamini aniqlash uchun Scherrer tenglamasidan foydalanildi:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta}$$

bu yerda: *D* - kristallitning o'rtacha o'lchami, *K* - shakl koeffitsiyenti (0,9), λ - rentgen nurlanishining to'lqin uzunligi, β - difraksiya piksining yarim balandlikdagi to'liq kengligi (FWHM), θ - Bragg burchagi. Fazalarning nisbiy miqdorini aniqlashda Toraya usulidan foydalanildi.

Turli haroratlarda tavlangan ZrO_2 yupqa plyonkalarining XRD difraktogrammalari tahlili shuni ko'rsatdiki, 400 °C haroratda tavlangan namunada kristallanish darajasi past bo'lib, difraksiya piklari zaif intensivlikda kuzatiladi. Harorat 600 °C gacha oshirilganda ZrO_2 ning tetragonal fazasiga xos difraksiya piklari, jumladan (101), (110) va (111) tekisliklariga mos reflekslar yaqqol namoyon bo'ladi. Bu holat termik ishlov berish natijasida plyonkaning kristallanish darajasi ortishini ko'rsatadi.

Qizdirish haroratining 800 °C gacha oshirilishi natijasida plyonkaning fazaviy tarkibida sezilarli o'zgarishlar kuzatiladi. Xususan, tetragonal fazaning monoklinik fazaga o'tishi, ya'ni $t \rightarrow m$ fazaviy

transformatsiyaning kuchayishi qayd etiladi. Ushbu jarayon yuqori harorat ta’sirida kristallitlarning o‘sishi va tizimning termodinamik jihatdan turg‘un holatga intilishi bilan bog‘liq.

1-jadval. ZrO_2 yupqa plyonkalarining qizdirish haroratiga bog‘liq fazaviy tarkibi va kristallit o‘lchami

Qizdirish harorati, °C	Tetragonal faza, %	Monoklinik faza, %	Kristallit o‘lchami, D, nm
400	100	0	8,5
500	92	8	12,1
650	78	22	18,4
800	35	65	29,7

Jadval ma’lumotlaridan ko‘rinib turibdiki, qizdirish haroratining ortishi bilan kristallitlarning o‘rtacha o‘lchami muntazam ravishda oshib boradi. 400 °C da kristallit o‘lchami 8,5 nm ni tashkil etgan bo‘lsa, 800 °C da ushbu qiymat 29,7 nm gacha ortgan. Shu bilan birga, haroratning oshishi tetragonal faza ulushining kamayishi va monoklinik faza ulushining ortishi bilan kechadi.

Kristallit o‘lchamining ortishi ZrO_2 yupqa plyonkalaridagi fazaviy turg‘unlikka ta’sir etuvchi muhim omillardan biridir. Nanokristallik ZrO_2 da sirt energiyasining yuqori bo‘lishi metastabil tetragonal fazaning turg‘unlashishiga yordam berishi mumkin. Kristallitlar yiriklashishi bilan sirt energiyasining umumiy hissasi kamayadi va termodinamik jihatdan turg‘un monoklinik fazaning shakllanishi uchun sharoit yuzaga keladi. Shu sababli yuqori haroratlarda $t \rightarrow m$ fazaviy transformatsiyaning kuchayishi kuzatiladi.

XRD difraktogrammalaridagi ayrim difraksiya piklarining burchak bo‘yicha siljishi plyonka tarkibida qoldiq mexanik kuchlanishlar mavjudligini ko‘rsatishi mumkin. Bunday kuchlanishlar plyonka va Si(111) podloshka o‘rtasidagi panjara parametrlarining nomuvofiqligi, termik kengayish koeffitsiyentlarining farqi hamda termik ishlov berish jarayonida yuzaga keladigan strukturaviy o‘zgarishlar bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin.

Mikrostrukturaviy tahlil natijalari plyonkaning qalinligi, kristallitlarning o‘lchami va plyonka–podloshka chegarasidagi o‘zaro ta’sirlar fazaviy transformatsiya jarayoniga sezilarli ta’sir ko‘rsatishini ko‘rsatadi. Yuqori haroratlarda tetragonal fazaning monoklinik fazaga o‘tishi natijasida kristall panjara parametrlarining o‘zgarishi plyonkada qo‘shimcha mexanik kuchlanishlar va nuqsonlarning paydo bo‘lishiga olib kelishi mumkin. Bu esa ayrim hollarda mikroyoriqlar hosil bo‘lish ehtimolini oshiradi.

Xulosa

O‘tkazilgan rentgen-difraksion tahlil natijalari asosida ZrO_2 yupqa plyonkalarining strukturaviy va fazaviy xususiyatlari qizdirish haroratiga sezilarli darajada bog‘liq ekanligi aniqlandi.

1. Reaktiv magnetronli purkash usulida olingan ZrO_2 yupqa plyonkalarida termik qizdirish natijasida kristallanish darajasi va fazaviy tarkibning sezilarli o‘zgarishi kuzatildi.
2. Qizdirish haroratining ortishi bilan kristallitlarning o‘rtacha o‘lchami 8,5 nm dan 29,7 nm gacha oshdi. Shu bilan birga, tetragonal faza ulushi kamayib, monoklinik faza ulushi ortdi.
3. 800 °C haroratda tetragonal fazadan monoklinik fazaga $t \rightarrow m$ transformatsiya sezilarli darajada kuchayib, monoklinik fazaning ulushi 65 % gacha yetdi.
4. Olingan natijalar ZrO_2 yupqa plyonkalarining fazaviy turg‘unligi kristallit o‘lchami, qizdirish harorati va plyonka–podloshka o‘zaro ta’siri bilan chambarchas bog‘liqligini ko‘rsatadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Garvie R.C. The occurrence of metastable tetragonal zirconia as a crystallite size effect // *Journal of Physical Chemistry*. – 1965. – Vol. 69. – P. 1238–1243.

2. Wang X., et al. Microstructure and dielectric properties of atomic layer deposited ZrO_2 films // *Thin Solid Films*. – 2020. – Vol. 695. – P. 137–142.
3. Karimov M.Sh., Tursunov X.T. *Yarimo‘tkazgichli yupqa plyonkalarning fizikasi*. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2021. – 240 b.
4. Useinov A.S., Rahimov B.D. Rentgenostruktura tahlilining zamonaviy usullari // *O‘zbekiston fizika jurnali*. – 2022. – №3. – B. 145–150.

ПОЛУЧЕНИЕ И ФАЗОВАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ПЛЕНОК СИЛИЦИДОВ МАРГАНЦА НА МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ КРЕМНИИ

М.Ш. Исаев[1], С.А. Музафарова[2], Ш.А. Исмаилов[2], Н.А. Ахмедова[2]
[1]Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека (НУУз), Факультет физики
[2]Научно-исследовательский институт физики полупроводников и микроэлектроники Национального университета Узбекистана, 100057, г. Ташкент, Узбекистан

Аннотация

Исследовано формирование силицидных слоев при диффузионном насыщении монокристаллического p-Si марганцем в вакуумированных кварцевых ампулах. Термическую обработку проводили при 880–1180 °C в течение 20 мин–3 ч. По данным исходной работы, повышение температуры приводит к переходу от преимущественно аморфного слоя к смешанному фазовому состоянию и далее к поликристаллическим высшим силицидам марганца $MnSi_{1.70–1.75}$ и Mn_4Si_7. Толщина сформированного слоя составляла 10–30 мкм. Результаты показывают, что режим диффузии является ключевым параметром управления фазовым составом приповерхностного слоя Si–Mn.

Ключевые слова: кремний, марганец, диффузия, силициды марганца, Mn_4Si_7, XRD, SEM.

Введение

Силициды переходных металлов представляют интерес как термически устойчивые контактные и функциональные материалы кремниевой электроники. Особое место занимают высшие силициды марганца (HMS), для которых характерны составы $MnSi_x$ при x≈1.67–1.75 и полупроводниковые свойства. Литературные данные подтверждают сложную температурно-зависимую морфологию и структуру HMS, включая переход от пленочного к островковому росту и формирование тетрагональных фаз $Mn_4Si_7/MnSi_{1.7}$ [3–5]. Цель настоящей работы — установить связь между режимом высокотемпературной диффузии Mn и фазовым состоянием силицидного слоя на поверхности монокристаллического кремния.

Эксперимент

Использовали монокристаллический кремний p-типа КДБ-10 с удельным сопротивлением 10 Ом·см и размерами 4×6×12 мм³, а также порошок Mn чистотой 99.99 %. После механической шлифовки микропорошками SiC M-14 и M-10 образцы обезжиривали в толуоле при 40–50 °C, химически травили в растворе $HF:HNO_3$=1:5 в течение 1–2 мин, промывали деионизованной водой и сушили при температуре не выше 100 °C. По три образца помещали в кварцевые ампулы вместе с 20–25 мг Mn. Ампулы вакуумировали до ~10^{-6} мм рт. ст., герметизировали и отжигали в горизонтальной печи СУОЛ-4 при 880–1180 °C в течение 20 мин–3 ч со скоростью нагрева 5–10 °C/мин. После отжига применяли медленное охлаждение вместе с печью.

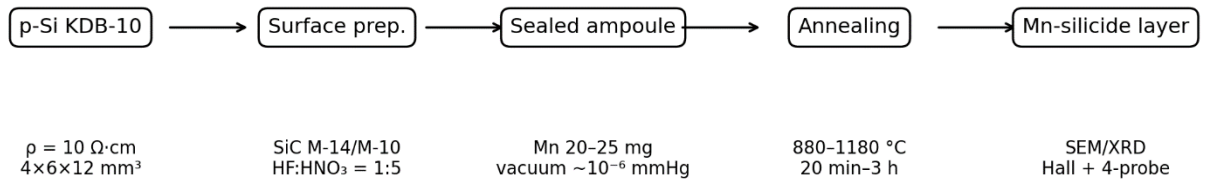


Рис. 1. Схема получения и исследования силицидных слоев Mn–Si (авторская схема по данным настоящей работы).

Результаты и обсуждение

Электрофизические свойства контролировали четырехзондовым методом и измерением постоянной Холла, а толщину слоя и фазовый состав — методами SEM и XRD соответственно. В исходных данных установлена выраженная зависимость состояния слоя от температуры отжига. При 880–900 °C слой характеризовался как аморфный. В интервале 900–1000 °C наблюдалось совместное присутствие моно- и высших силицидов марганца. При 1010–1080 °C формировались поликристаллические высшие силициды типа $MnSi_{1.70–1.75}$ и Mn_4Si_7. При температурах выше 1080 °C возрастала доля Mn-богатых и металлических фаз. Толщина силицидного слоя изменялась приблизительно от 10 до 30 мкм в зависимости от режима.

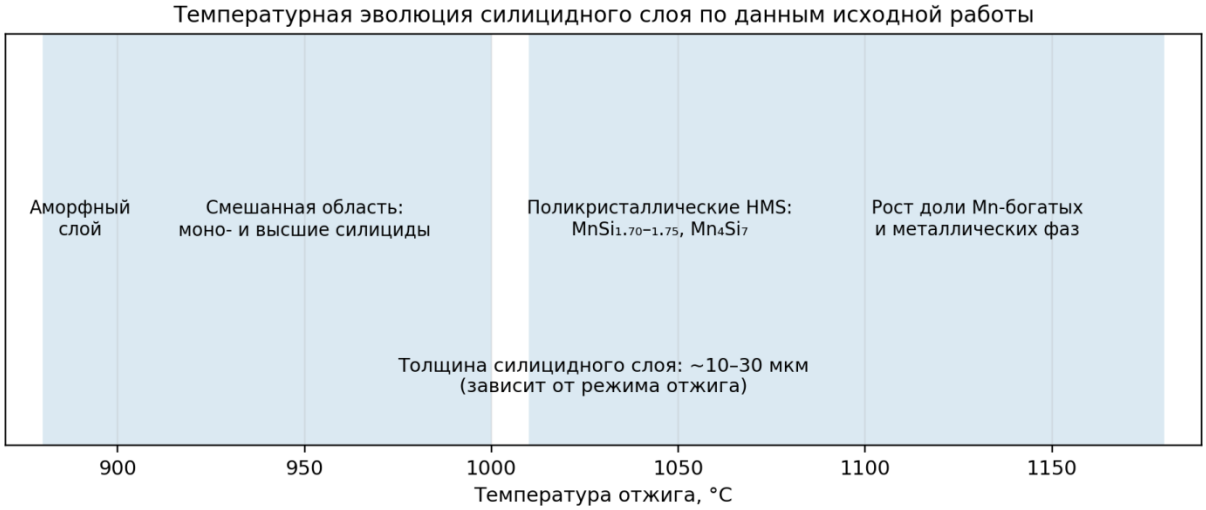


Рис. 2. Обобщенная температурная карта фазово-структурной эволюции слоя Mn–Si, построенная по экспериментальным данным работы.

Полученная последовательность согласуется с общей физической картиной реакционной диффузии: поступление Mn к поверхности Si, адсорбция и взаимная диффузия компонентов создают условия для зарождения силицидных фаз, а повышение температуры ускоряет массоперенос и структурную перестройку. В работе предложена последовательность Mn(пар) → Mn(адс.) → MnSi → $MnSi_{1.70–1.75}$; для Mn_4Si_7 суммарную реакцию можно представить как $4Mn + 7Si \rightarrow Mn_4Si_7$. При этом реальный слой может быть многофазным, поэтому идентификацию конкретных фаз следует связывать прежде всего с XRD, а не только с температурой обработки.

Литературные исследования подтверждают, что HMS имеют сложную тетрагональную структуру и состав около $MnSi_{1.7}$, а морфология сильно зависит от температуры роста [3].

Современные XRD-исследования диффузионно сформированного Mn_4Si_7 также демонстрируют наличие характерного набора дифракционных рефлексов этой фазы [4]. Это делает сочетание SEM и XRD принципиально важным: SEM определяет морфологию и толщину слоя, тогда как XRD обеспечивает фазовую идентификацию.

Практическое значение

Управляемое формирование силицидного слоя представляет интерес для создания контактов и барьерных структур на кремнии. Однако технологический режим должен выбираться с учетом многофазности системы Mn–Si: недостаточная температура ограничивает кристаллизацию, тогда как чрезмерно высокая температура может увеличивать долю Mn-богатых фаз. Поэтому область 1010–1080 °C в рамках представленных данных является наиболее информативной для получения поликристаллических высших силицидов, но оптимальный режим для конкретного устройства должен определяться по совокупности XRD, SEM и электрических измерений.

Заключение

Показано, что высокотемпературная диффузия Mn в монокристаллический p-Si приводит к формированию приповерхностного силицидного слоя толщиной порядка 10–30 мкм, фазовое состояние которого существенно зависит от температуры и продолжительности отжига. При 880–900 °C преобладает аморфное состояние, при 900–1000 °C формируется смешанная область силицидов, а при 1010–1080 °C наблюдаются поликристаллические высшие силициды $MnSi_{1.70–1.75}$ и Mn_4Si_7. При дальнейшем повышении температуры возрастает вклад Mn-богатых фаз. Таким образом, изменение режима диффузии позволяет направленно регулировать структурно-фазовое состояние системы Mn–Si.

Полученные результаты подтверждают перспективность диффузионного подхода для формирования силицидных контактных слоев на кремнии. Для последующей оптимизации необходима количественная корреляция фазового состава XRD с толщиной и морфологией SEM, а также с концентрацией и подвижностью носителей по данным эффекта Холла.

Литература

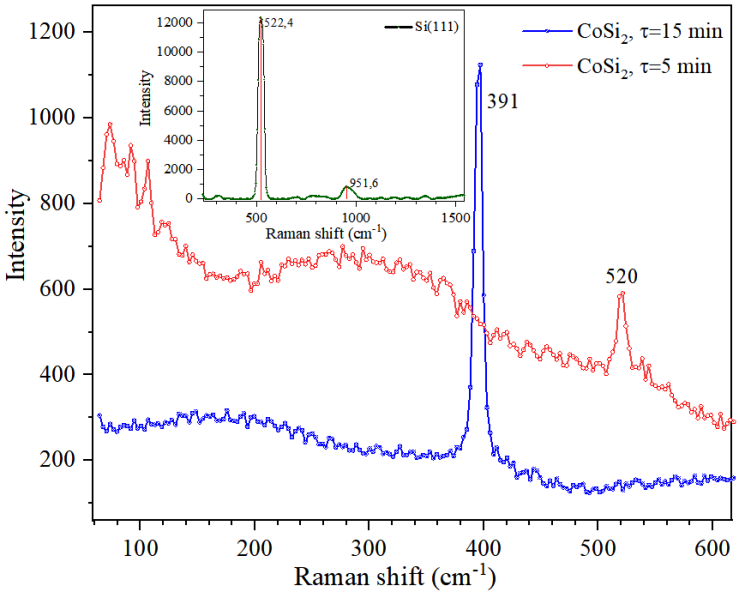
1. Мамадалимов А.Т., Исаев М.Ш. Полупроводниковые силициды. Ташкент, 2024. 308 с.
2. Isaev M.Sh. Photoelectric and optical properties of manganese silicides. Science and World. 2025. No. 12. P. 10–12.
3. Teichert S. et al. Preparation and properties of MnSi1.7 on Si(001). Microelectronic Engineering. 2001. Vol. 55. P. 227–232. DOI: 10.1016/S0167-9317(00)00452-4.
4. Igamov B.D. et al. Study of the physical nature of Mn4Si7 crystals formed by the diffusion method using an X-ray diffraction. Journal of Crystal Growth. 2025. Vol. 649. 127932. DOI: 10.1016/j.jcrysgro.2024.127932.
5. Akselrud L., Cardoso Gil R., Wagner-Reetz M., Grin Yu. Disorder in the composite crystal structure of the manganese ‘disilicide’ MnSi1.73 from powder X-ray diffraction data. Acta Crystallographica B. 2015. Vol. 71. P. 707–712. DOI: 10.1107/S2052520615019757.

$CoSi_2$ YUPQA PLYONKALARINING OPTIK XUSUSIYATLARI VA RAMAN SPEKTROSKOPIYASINI O'RGANISH

M. Normuradov[1], Q. Dovranov[1], J. Parmonov[1], S. Ibrohimova[2], E. Haqberdiyev[1], Sh. Jurayeva[1]
Qarshi davlat universiteti, Qarshi, 180119, Uzbekiston
Buxoro davlat universiteti, Buxoro, , Uzbekiston

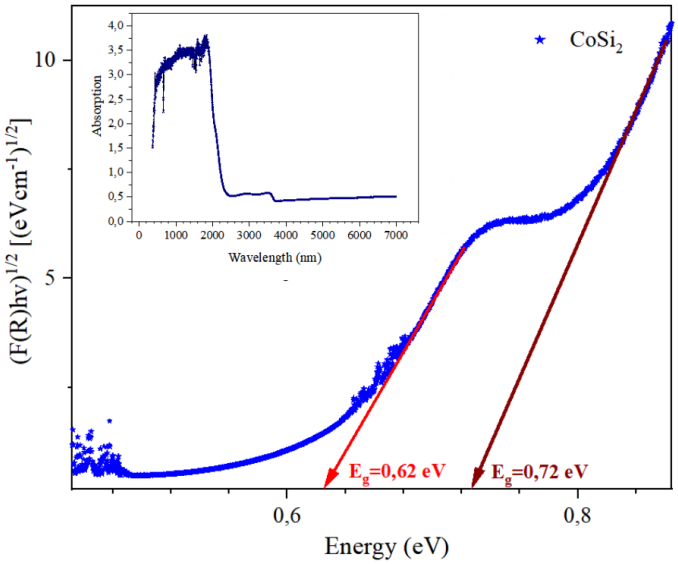
So'nggi yillarda uning qo'llanish sohasi infraqizil detektorlar, fotodetektorlar va boshqa optoelektronik qurilmalarni ham qamrab oldi [1]. $CoSi_2$ plyonkalarini yotqizishda o'rta chastotali radiochastotali (mid-RF) va o'zgarmas tok (DC) magnetron purkash usullari keng qo'llanilishiga qaramay [2], molekulyar nur epitaksiyasi (MBE) kabi epitaksial usullar yuqori sifatli qatlamlar hosil qilishi mumkin [3, 4]. Biroq, turli tagliklarda olingan plyonkalarning optik xossalarini qiyosiy tadqiq etish yetarli darajada amalga oshirilmagan. Bundan tashqari, epitaksial usullarning qimmatligi va murakkabligi ularning keng qo'llanishini cheklaydi. $CoSi_2$ yupqa plyonkalarining infraqizil optik xossalari, ayniqsa taglik materialining ta'siri bo'yicha sezilarli ilmiy bo'shliq mavjud. Taglik tanlovi plyonkaning o'sishi va mikrostrukturasi bilan birga, interfeysdagi elektron tuzilma va optik impedanslarning farqi sababli optik xossalarga ham ta'sir qiladi. Shu sababli, turli legirlangan kremniy va dielektrik tagliklarda hosil qilingan $CoSi_2$ plyonkalarini qiyosiy o'rganish optoelektronik qurilmalarda ularning samaradorligini optimallashtirish uchun muhimdir.

1-rasmda Magnetron changlatish qurilmasi yordamida hosil qilingan CoSi2 yupqa plyonkalarning 390 sm^{-1} da kuzatilgan kuchli Raman cho'qqisi $CoSi_2$ ning Tg(2) fonon modasiga mos kelishi keltirilgan. Kubik CaF_2-tipidagi kristall tuzilma ($Fm\bar{3}m$ fazoviy guruhi) uchun Raman-faol modalar bitta E_g va ikkita Tg modadan iborat. Tg(2) moda yuqori chastotali, uch martalik degeneratsiyaga ega optik fonon bo'lib, kristall panjaradagi kremniy atomlarining qarama-qarshi fazadagi tebranishlari bilan bog'liq.



1-rasm. $CoSi_2$/Si(111) yupqa plyonkalarining Raman spektri. Ichki rasmda (inset) yalang'och Si(111) substratining Raman spektri keltirilgan.

390 sm^{-1} da joylashgan ushbu aniq Tg(2) cho'qqisining mavjudligi yaxshi faza tozaligiga ega kristall $CoSi_2$ hosil bo'lganligini tasdiqlaydi. Chunki ushbu moda disilitsid fazasi uchun xos bo'lib, CoSi yoki Co_2Si kabi boshqa kobalt silitsid birikmalarida kuzatilmaydi.



2-rasm. Tauc grafigi tahlili asosida aniqlangan $CoSi_2$ yupqa plyonkasining optik taqiqlangan zona (bandgap) spektri.

2-rasmda DC va mid-RF purkash rejimlarida olingan $CoSi_2$ yupqa plyonkalari uchun Kubelka–Munk qaytarish ma’lumotlaridan hosil qilingan Tauc grafiklari keltirilgan. Har ikkala holatda ham ikkita aniq chiziqli soha kuzatiladi. Bilvosita optik o‘tish modeli (n = 2) asosida bajarilgan Tauc tahlili natijasida ikkita alohida optik taqiqlangan zona qiymati aniqlandi. Taxminan 0,62 eV da kuzatilgan birinchi o‘tish past energiyali yutilish jarayoniga mos keladi va nuqsonlar bilan bog‘liq energetik holatlar mavjudligini ko‘rsatadi. Ushbu holatlar, ehtimol, plyonka–taglik chegarasidagi strukturaviy nuqsonlar natijasida yuzaga kelgan. Bunday sub-bandgap yutilish magnetron changlatish usulida tayyorlangan nanokristall silitsid plyonkalarida keng tarqalgan hodisa hisoblanadi. $CoSi_2$ ning asosiy bilvosita optik taqiqlangan zonasi E_g = 0,72 eV deb aniqlandi. Bu qiymat stexiometrik kobalt disilitsid uchun avval adabiyotlarda keltirilgan natijalar bilan juda yaxshi mos keladi.

Adabiyotlar ro‘yxati

1. Weaver, L., Simard-Normandin, M., Naem, A., et al. The use of TEM and Raman spectroscopy to determine the absorption coefficient and silicidation sequence of cobalt silicide. MRS Proc. 260, 287–291 (1992). https://doi.org/10.1557/PROC-260-287
2. Mahato, J.C., Das, D., Roy, A., Batabyal, R., Juluri, R.R., Satyam, P.V., Dev, B.N. Uniformity of epitaxial nanostructures of $CoSi_2$ via defect control of the Si(111) surface. Thin Solid Films 534, 296–300 (2013). https://doi.org/10.1016/j.tsf.2013.01.092
3. Landi, S., Segundo, I.R., Freitas, E., Vasilevskiy, M., Carneiro, J., Tavares, C.J. Use and misuse of the Kubelka–Munk function to obtain the band gap energy from diffuse reflectance measurements. Solid State Commun. 341, 114573 (2022).
4. Kutschera, M., Groth, T., Kentsch, C., Shumay, I.L., Weinelt, M., Fauster, T. Electronic structure of $CoSi_2$ films on Si(111) studied using time-resolved two-photon photoemission. J. Phys. Condens. Matter 21, 134006 (2009).

THICKNESS-DEPENDENT STRUCTURAL, SURFACE, AND ELECTRONIC PROPERTIES OF MoO_3 THIN FILMS FABRICATED BY MAGNETRON SPUTTERING

F.O. Kuryozov[1], U.B. Sharopov[2]
[1]Urgench RANCH Technological University, Department of Engineering, Urgench, Uzbekistan
tel.: +998 97 510 80 64; e-mail: kuryozovfurkat22@gmail.com
[2] Institute of Physics and Technology, Academy of Sciences of Uzbekistan, Doctor of Physical and Mathematical Sciences (DSc), Tashkent, Uzbekistan
e-mail: utkirstar@gmail.com

Introduction

Molybdenum trioxide (MoO_3) is a widely investigated transition-metal oxide for use at interfaces in organic electronic devices, including organic light-emitting diodes, organic photovoltaic cells, and organic transistors. Its practical importance is associated with its relatively high work function and deep electronic states, which can facilitate energetically favorable hole injection from an electrode into an organic semiconductor [1–3]. In addition to electronic properties, the structural and surface characteristics of a thin oxide layer are important because the interface with the organic material is directly affected by film continuity, roughness, and thickness. A smooth and homogeneous interfacial layer can provide more uniform contact conditions and improve the reproducibility of subsequent device fabrication [4,5].

The properties of sputtered MoO_3 films depend on deposition conditions, including substrate temperature, oxygen content, working pressure, and deposition rate. These parameters can influence the structural state of the film and, consequently, its morphology and electronic behavior [6,7]. Amorphous MoO_3 is of particular interest for thin-film applications because the absence of long-range crystalline order and grain boundaries can contribute to a relatively homogeneous surface [7,8]. At the same time, the work function must be considered together with the physical quality of the film when evaluating its suitability as an interfacial layer.

The purpose of the present study is to analyze how film thickness in the 10–150 nm range is related to the structural, morphological, and surface-electronic characteristics of magnetron-sputtered MoO_3 films. Particular attention is given to the relationship between amorphous structure, surface roughness, film continuity, and work function. Such a combined consideration makes it possible to assess whether the functional surface properties of the deposited layers remain stable when the film thickness is varied.

Methods

MoO_3 thin films were deposited on Si(100) substrates by magnetron sputtering using a 99.99% pure molybdenum target in a gas mixture containing 95% Ar and 5% O_2. Deposition was carried out in a Kepler 450 system at a working pressure of $(2–3) \times 10^{-2}$ mbar. The film thickness was varied from 10 to 150 nm and monitored during deposition with a quartz crystal microbalance. Silicon substrates were used as the supporting material because their initially low surface roughness provides a suitable reference for evaluating the morphology of the deposited oxide layer.

The structural state and thickness of the films were investigated by X-ray diffraction (XRD) using a D8 Discover diffractometer (Bruker) with Cu Kα radiation ($\lambda = 0.15406$ nm). Measurements were performed in $\theta/2\theta$ and $2\theta/\theta$ geometries. The $\theta/2\theta$ scans were used to identify diffraction features and assess the structural state of the MoO_3 layers, whereas the $2\theta/\theta$ geometry was used to verify the film thickness by reflectometry. The thickness values obtained from reflectometry were compared with the values recorded by the quartz crystal microbalance.

Surface morphology and roughness were examined by atomic force microscopy (AFM) using an Ntegra Spectra system (NT-MDT). The AFM measurements were performed over areas of 5 × 5 μm and larger in order to evaluate both the continuity of the coating and the characteristic surface relief. The electronic surface properties were studied by ultraviolet photoelectron spectroscopy (UPS) using an Escalab 250Xi

spectrometer with a He I radiation source (21.2 eV). The samples were measured without removal from the vacuum chamber. The work function was determined from the cutoff position in the high-binding-energy region of the UPS spectrum.

Results and Discussion

XRD measurements showed no distinct diffraction reflections for the investigated films in the 2θ = 20–60° range. Instead, the diffractograms exhibited the characteristic diffuse response associated with a lack of long-range crystalline order. The result indicates that the MoO_3 layers produced under the selected magnetron-sputtering conditions are amorphous. This observation is consistent with reports that relatively low substrate-temperature conditions during sputter deposition can favor the formation of amorphous molybdenum-oxide films [7,8]. The absence of pronounced crystalline reflections over the investigated thickness range also indicates that increasing the thickness from 10 to 150 nm did not lead to an experimentally detectable transition to a well-developed crystalline phase.

The thickness values obtained by reflectometry in the 2θ/θ geometry agreed with the values determined from the quartz crystal microbalance. Across the 10–150 nm range, the thickness was therefore controlled by two independent approaches, with an agreement within approximately 10%. The roughness of the underlying Si substrate did not exceed 1 nm. This low initial roughness is important because it limits the contribution of the substrate to the measured surface morphology and allows the AFM results to be associated primarily with the deposited MoO_3 layer.

AFM measurements demonstrated that the MoO_3 films form a continuous coating over 5 × 5 μm areas and larger for all investigated thicknesses. The surface roughness did not exceed 2 nm, while surface features protruding above the mean level had predominantly lateral dimensions of about 100–200 nm. The combination of continuous coverage and low roughness is significant for applications in organic electronics, because an irregular interface can affect the uniformity of an organic layer deposited subsequently. The observed smooth morphology is also consistent with the expected behavior of amorphous thin films, where the absence of grain boundaries can reduce large-scale topographic variations [4,8].

The UPS measurements provide an additional perspective on the thickness dependence of the films. For the 10 nm MoO_3 layer, the valence-band spectrum showed a broad feature in the −7.5 to −2.5 eV energy interval relative to the Fermi level, which is associated with Mo–O electronic states [9,10]. The work function determined from the high-binding-energy cutoff was 5.8 ± 0.2 eV. Measurements of 30 and 150 nm films yielded the same value within the experimental uncertainty. Thus, within the investigated thickness interval, no significant thickness dependence of the work function was observed.

The measured work-function range of approximately 5.6–6.0 eV is substantially higher than the values typically associated with conventional metal or silicon contacts cited in the study, and it is consistent with values reported for MoO_3-based interfacial layers [3,5,9]. The combination of a high work function with low surface roughness and continuous coverage is important because the energetic alignment at the MoO_3/organic-semiconductor interface depends not only on the electronic properties of the oxide but also on the physical quality of the interface. The near-constant work function for 10, 30, and 150 nm films suggests that the surface electronic properties are relatively stable over this thickness range. Consequently, the results demonstrate that the deposition process provides MoO_3 layers whose amorphous structure, smooth surface, and high work function are maintained as the film thickness is varied.

References

[1] Greiner, M. T., Lu, Z. H. Thin-film metal oxides in organic semiconductor devices. NPG Asia Materials, 5, e55 (2013). doi:10.1038/am.2013.29.

[2] Meyer, J., Hamwi, S., Kröger, M., et al. Transition metal oxides for organic electronics. Advanced Materials, 24(40), 5408–5427 (2012). doi:10.1002/adma.201201630.

[3] Kröger, M., Hamwi, S., Meyer, J., et al. Role of the deep-lying electronic states of MoO_3 in the enhancement of hole injection. Applied Physics Letters, 95, 123301 (2009). doi:10.1063/1.3231928.

[4] Cauduro, A. L. F., dos Reis, R., Chen, G., et al. Crystalline molybdenum oxide thin-films for application as interfacial layers. ACS Applied Materials & Interfaces, 9(8), 7717–7724 (2017). doi:10.1021/acsami.6b14228.

[5] White, R. T., Thibau, E. S., Lu, Z. H. Universal energy-level alignment of molecules at metal oxide interfaces. Scientific Reports, 6, 21109 (2016). doi:10.1038/srep21109.

[6] Sian, T. S., Reddy, G. B. Optical, structural and photoelectron spectroscopic studies on amorphous and crystalline molybdenum oxide thin films. Solar Energy Materials and Solar Cells, 82, 375–386 (2004). doi:10.1016/j.solmat.2003.12.007.

[7] Sharma, N., Kumar, R., Jayabalan, J. Optical and structural properties of magnetron-sputtered MoO_3 thin films. Current Applied Physics, 21, 58–65 (2021). doi:10.1016/j.cap.2020.10.004.

[8] Sharopov, U. B., Samiev, K., To'raev, A., et al. Surface defect formation studied by total current spectroscopy. Vacuum, 227, 113395 (2024). doi:10.1016/j.vacuum.2024.113395.

[9] Ramana, C. V., Atuchin, V. V., Kesler, V. G., et al. Electronic structure and chemical bonding in molybdenum-oxide films. Applied Surface Science, 253(12), 5368–5374 (2007). doi:10.1016/j.apsusc.2006.12.012.

[10] Scanlon, D. O., Watson, G. W., Payne, D. J., et al. Theoretical and experimental study of the electronic structures of MoO_3 and MoO_2. Journal of Physical Chemistry C, 114(10), 4636–4645 (2010). doi:10.1021/jp9093172.

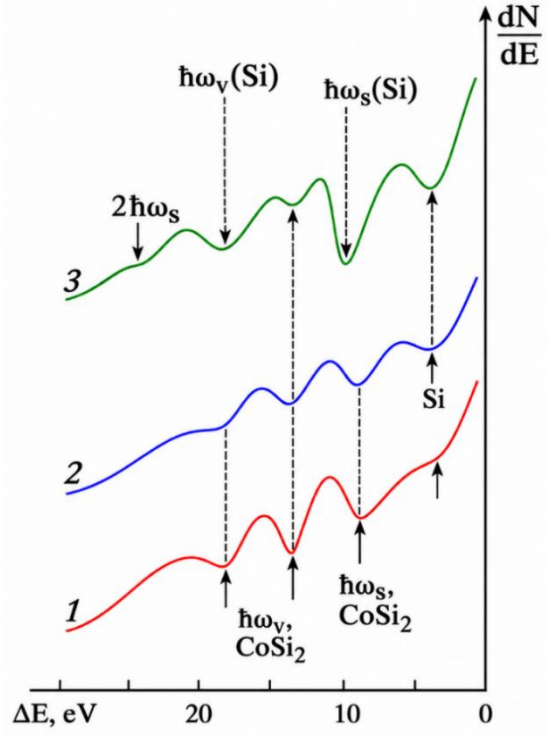
$CoSi_2$/Si(111) YUPQA PLYONKALARINI Ar^+ IONLARI BILAN BOMBARDIMON QILISHDA NANOO'LCHAMLI TUZILMALARNING SHAKLLANISH JARAYONLARINI O'RGANISH

G.M. Shirinov[1], B. Donayev[2], R.S. Mirzayeva[1]
[1]*Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti*
[2]*Qarshi davlat texnika universiteti, e-mail: ganjimurod777@gmail.com*

$CoSi_2$/Si(111) asosidagi nanoo'lchamli tuzilmalarga bo'lgan qiziqish ularning elektron qurilmalar, mikro- va nanoelektronika elementlarini yaratishda istiqbolli material sifatida qo'llanilishi bilan bog'liq. Shu sababli mazkur tizimlarning elektron tuzilishi, sirt xossalari hamda ion bombardimonining ularning xususiyatlariga ta'sirini o'rganishga alohida e'tibor qaratilmoqda. $CoSi_2$/Si(111) plyonkalarining sirt holatini tadqiq qilishdan oldin ular T = 900 K haroratda 2-3 soat davomida degazatsiya qilindi, natijada sirt tarkibidagi O va C aralashma atomlarining konsentratsiyasi 0,5-1 at.% gacha kamaytirildi. 1-rasmda E_0 = 1 keV energiyali Ar^+ ionlari bilan turli dozalar ta'sirida bombardimon qilingan $CoSi_2$/Si(111) namunalarining XPEE spektrlari keltirilgan [1].

Spektrlarni tahlil qilishni soddalashtirish maqsadida, asosan, plazmon tebranishlariga mos keluvchi maksimumlarning o'zgarishi kuzatildi. 1-rasmning 2-egri chizig'idan ko'rinib turibdiki, $D = 8\cdot10^{14}$ sm^{-2} dozada $CoSi_2$ ga xos barcha XPEE maksimumlari saqlanib qoladi, biroq ularning intensivligi sezilarli darajada kamayadi va $E \approx 4$ eV energiyaga ega bo'lgan Si ning zonalararo o'tishiga mos keluvchi past intensivlikdagi maksimum paydo bo'ladi. Bunda sof kremniyga xos plazmon tebranishlari maksimumlari deyarli kuzatilmaydi. XPEE spektrlarini OES va REM natijalari bilan birgalikda tahlil qilish ion bombardimon qilish jarayonida $CoSi_2$ ning tarkibiy qismlariga ajralishi va Si atomlarining asosan sirt tomon diffuziyalanishini ko'rsatadi. Kichik ion dozalarida ($D \leq 10^{15}$ sm^{-2}) ionlar sirtning alohida qismlariga tushishi natijasida Si ning klasterli fazalari hosil bo'ladi. Ushbu klaster fazalarining sirt o'lchamlari kichikligi ($d \leq$ 20-25 nm) va ular bir-biridan sezilarli darajada uzoqda joylashganligi (markazlari orasidagi

masofa 50-60 nm) sababli, XPEE spektrida $CoSi_2$ ga xos asosiy maksimumlar saqlanib qoladi, Si valent elektronlarining kollektiv tebranishlari bilan bog‘liq maksimumlar esa hali shakllanmaydi [2, 3].



1-rasm. $CoSi_2$/Si(111) plyonkasining E_p = 100 eV energiyada olingan XPEE spektrlari. Plyonka E_0 = 1 keV energiyali Ar^+ ionlari bilan turli dozalar bilan bombardimon qilingan. D, sm^{-2}: 1 - 0; 2 - $8\cdot10^{14}$; 3 - $6\cdot10^{16}$

$CoSi_2$ ga xos maksimumlarning intensivligi D dozasi ortishi bilan monotonik ravishda kamayadi, bu esa “kremniyli” fazalarning sirt o‘lchamlari kattalashishi bilan bog‘liq. Shu bilan bir vaqtda $CoSi_2$ ning sirtga yaqin qatlamlarida to‘liq tartibsizlanish jarayoni sodir bo‘ladi. D = $4\cdot10^{16}$ sm^{-2} dozada spektrda Si ga xos bo‘lgan XPEE maksimumlarining deyarli barchasi, xususan, E = 11, 18 va 23 eV energiyalardagi, valent elektronlarning kollektiv tebranishlarining qo‘zg‘alishi bilan bog‘liq maksimumlar qayd etiladi (1-rasm, 3-egri chiziq). Shuni taxmin qilish mumkinki, ionlarning katta dozalarida (D $\geq 10^{16}$ sm^{-2}) bombardimon qilingan sirtning butun qismi bir tekisda Si atomlari bilan qoplanadi. Bu esa $CoSi_2$/Si tizimining sirtga yaqin sohasida Co atomlarining qayta taqsimlanishiga olib kelishi kerak. Co atomlarining chuqurlik bo‘yicha taqsimlanish profillarini aniqlash maqsadida bir xil sharoitlarda uchta namuna tadqiq qilindi: sof $CoSi_2$/Si(111) namunasi; E_0 = 1 keV energiyali Ar^+ ionlari bilan D = $6\cdot10^{16}$ sm^{-2} dozada bombardimon qilingan $CoSi_2$/Si(111) namunasi hamda xuddi shu namunaning T = 900 K haroratda 30 daqiqa davomida qizdirilgandan keyingi holati.

Xulosa. O‘tkazilgan tadqiqotlar natijasida Ar^+ ionlari bilan bombardimon qilish $CoSi_2$/Si(111) tizimining elektron va sirt xossalariga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi aniqlandi. Ion dozasi ortishi bilan $CoSi_2$ ga xos XPEE maksimumlarining intensivligi kamayib, Si ga xos plazmon tebranishlari maksimumlari shakllana boshlaydi. Bu jarayon ion bombardimoni ta’sirida $CoSi_2$ ning parchalanishi, Si atomlarining sirt tomon diffuziyalanishi va sirt yaqinida Si klaster fazalarining hosil bo‘lishi bilan bog‘liq. D $\leq 10^{15}$ sm^{-2} kichik dozalarda Si klasterlari alohida sohalarda shakllansa, D $\geq 10^{16}$ sm^{-2} yuqori dozalarda bombardimon qilingan sirtning Si atomlari bilan deyarli bir tekis qoplanishi kuzatiladi. Natijalar $CoSi_2$/Si(111) tizimining sirt xossalarini ion bombardimoni orqali boshqarish imkoniyatini ko‘rsatadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Вяткин А.Ф., Егоров В.К., Зуев А.П. Изучение релаксации упругих напряжений на интерфейсе эпитаксиальной структуры $Ge_{0,2}Si_{0,8}$/Si методом каналирования ионов гелия. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2000. № 5. с. 93 - 101.
2. Герасименко Н.Н., Павлюченко М.Н., Джаманбалин К.К. Сайфутдинова Л.Р. Фрактальный анализ поверхности $CoSi_2$, полученной ионным синтезом // Изв. Вузов. Электроника. 2002. - №6. с. 35-39.
3. Тетельбаум Д.И., Горшков О.Н., Трушин С.А., Ревин Д.Г, Гапонова Д.М., Экштайн В. Влияние режимов формирования и легирования па люминесцентные свойства наноструктурированной системы SiO_2: Si при ионной имплантации. //Известия академии наук. Серия Физическая. 2000. Т.64. № 2. с. 362 - 365.

МАЛОУГЛОВОЕ РАССЕЯНИЯ ИОНОВ С ДЕФЕКТНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ InGaP(001)

И.Дж.Ядгаров,У.О.Кутлиев,Ш.Р. М.У.Отабаев
[1]*Институ Ионно-плазменных и лазерных технологии АНРУз.Ташкент*
[2]*Ургенчский государственный университет. Ургенч. uchkunk@mail.ru*

Введения

В области низкий и средних энергий траектории сталкивающихся частиц определяются в первом приближении силами упругого взаимодействия атомов. Эти силы возникают из кулоновских сил взаимодействия ядер и электронных атомов и, следовательно, действуют на любом расстоянии между взаимодействующими частицами. Подтверждением тому, что атомы решетки свободны при столкновениях, т.е. ведут себя как атомы плотного газа, являются результаты исследования времени взаимодействия и энергии сталкивающихся частиц. Для дальнейшего развития математического моделирования процесса рассеяния ионов средних и малых энергий в широком интервале углов падения и рассеяния нами использованы закономерности столкновения двух тяжелых частиц. Итак, будем рассматривать рассеяние пучка ионов от поверхности монокристаллического образца на основе модели парных одно-, двух-, и т.д. многократных соударений[1-2]. Последние годы все больший интерес экспериментаторов и теоретиков, работающих в области физики взаимодействия заряженных частиц с поверхностью твердого тела, вызывают процессы взаимодействия ионов с поверхностью полупроводников. Весьма перспективными среди этих процессов, с точки зрения фундаментальных и прикладных задач современной физики поверхности, являются процессы взаимодействия частиц при мало индексных кристаллографических направлениях поверхностей твердых тел.

Компьютерное моделирования

В области низкий и средних энергий траектории сталкивающихся частиц определяются в первом приближении силами упругого взаимодействия атомов. Эти силы возникают из кулоновских сил взаимодействия ядер и электронных атомов и, следовательно, действуют на любом расстоянии между взаимодействующими частицами. Следовательно, для расчета траектории налетающего иона необходимо рассмотреть его взаимодействие в кристаллической решетке со всеми атомами одновременно, что весьма трудно. Но при не очень низких энергиях столкновения ион-атом могут рассматриваться как изолированные парные столкновения частиц. Подтверждением тому, что атомы решетки свободны при столкновениях, т.е. ведут себя как атомы плотного газа. Для дальнейшего развития математического моделирования процесса рассеяния ионов средних и малых энергий в широком интервале углов падения и рассеяния нами использованы закономерности столкновения двух тяжелых частиц. В приближении парных столкновений основаны две базовые программы, при

помощи которых моделируют широкий круг процессов, вызываемых бомбардировкой твердых тел ускоренными частицами.

Концепция приближения парных столкновений лежит в основе математических моделей двух базовых программных продуктов, которые на сегодняшний день составляют методологический фундамент для компьютерного моделирования многообразных физико-химических процессов, протекающих при радиационном воздействии ускоренных атомных частиц на конденсированные среды. Использование данного приближения позволяет свести сложное многочастичное взаимодействие к последовательности независимых бинарных актов рассеяния. С помощью этих вычислительных программ успешно исследуется обширный комплекс радиационных эффектов, включая кинетическое и потенциальное ионно-электронное испускание. Процессы высокоэнергетической имплантации (внедрения) примесных атомов в кристаллическую решетку. Закономерности распыления поверхности мишени и формирование каскадов атомных смещений. Особенности каналирования и рассеяния ионов на малые и большие углы.

С помощью метода компьютерного моделирования исследован процесс рассеяния ионов с дефектной поверхности кристалла InGaP(001). Основной целью данного исследования является определение влияния точечных дефектов, расположенных на поверхности кристалла, на траектории движения падающих ионов, угловые распределения рассеянных частиц, а также на их энергетические характеристики. Исследование взаимодействия ионов с поверхностью твёрдого тела позволяет получить важную информацию об атомной структуре поверхности, наличии дефектов и локальных особенностях кристаллической структуры.

Движение ионов и характер их рассеяния с поверхности InGaP(001) непосредственно связаны с периодическим расположением атомов в кристаллической решётке. На идеальной поверхности атомы расположены упорядоченно, вследствие чего падающие ионы при последовательных взаимодействиях с поверхностными атомами могут двигаться по определённым траекториям. Особенно для низко- и среднеэнергетических ионов межатомные расстояния и геометрическое расположение атомных рядов оказывают существенное влияние на процесс рассеяния. Поэтому наличие дефектов приводит к заметным изменениям угловых и энергетических распределений рассеянных ионов по сравнению с идеальной поверхностью.

В процессе моделирования учитывалось наличие точечных дефектов на поверхности InGaP(001). Расположение дефектов на поверхности изменяет условия взаимодействия падающих ионов с атомами кристалла. В результате идеальные траектории, характерные для каналированного и зеркального рассеяния, в отдельных случаях нарушаются. Ионы, взаимодействующие с дефектными участками поверхности, могут отклоняться от первоначального направления движения и выходить из соответствующего канала. Такой процесс приводит к деканалированию ионов. Поэтому в угловых и энергетических распределениях рассеянных частиц, помимо основных интенсивных максимумов, характерных для идеальной поверхности, появляются дополнительные пики с относительно меньшей интенсивностью.

Результаты расчётов показывают, что в угловом распределении ионов, рассеянных от дефектной поверхности InGaP(001), формируется несколько характерных максимумов. Основные интенсивные пики преимущественно соответствуют ионам, зеркально рассеянным от участков кристалла, не содержащих дефектов. В данном случае ион после взаимодействия с поверхностными атомами изменяет направление своего движения в соответствии с геометрией поверхности и возвращается в вакуум под определённым углом относительно первоначального направления движения. Согласно результатам моделирования, наиболее интенсивные максимумы наблюдаются в области углов рассеяния до $\theta \approx 100°$.

Зеркальное рассеяние определяется главным образом периодическим потенциалом кристаллической поверхности. Траектория падающего иона изменяется под действием упорядоченного расположения поверхностных атомов, вследствие чего рассеянные частицы концентрируются в определённых направлениях пространства. Это приводит к формированию интенсивных максимумов в угловом распределении. Высокая интенсивность основных пиков связана с периодичностью расположения атомов идеальной поверхности и характером взаимодействия между падающими ионами и атомами кристалла.

Наряду с основными максимумами в расчётных распределениях наблюдается ряд дополнительных пиков с относительно небольшой интенсивностью. Эти пики связаны с ионами, которые под действием поверхностных дефектов отклонились от первоначальной каналированной траектории и вышли из канала, то есть подверглись деканалированию. Траектория иона, проходящего вблизи дефектного участка, отличается от траектории иона в идеальном кристалле. Это связано с локальным изменением потенциального поля вследствие нарушения периодического расположения атомов. Процесс деканалирования можно также рассматривать с точки зрения последовательных бинарных столкновений иона с атомами кристалла. В области расположения дефекта структура межатомных взаимодействий отличается от структуры идеального кристалла. Поэтому изменяется положение следующего столкновения иона с атомом. Это изменение, в свою очередь, влияет на последующие столкновения, в результате чего траектория иона постепенно отклоняется от первоначального направления. Именно такие процессы приводят к формированию дополнительных максимумов в угловом распределении рассеянных частиц. Влияние дефектов проявляется не только в угловом распределении, но и в энергетическом спектре рассеянных ионов. Ионы, зеркально рассеянные от идеальной поверхности, могут формировать выраженный максимум в определённом энергетическом диапазоне. В случае взаимодействия ионов с дефектами возникают дополнительные потери энергии. Эти потери могут быть связаны с последовательными столкновениями с атомами поверхности, передачей энергии атомам кристаллической решётки и увеличением длины траектории иона внутри приповерхностной области. В результате деканалированные ионы могут формировать дополнительные особенности спектра в области относительно меньших энергий по сравнению с основным максимумом.

В целом наличие дефектов приводит к усложнению пространственного распределения рассеянного ионного потока. На идеальной поверхности значительная часть ионов рассеивается преимущественно в определённых симметричных направлениях, тогда как на дефектной поверхности рассеянные частицы распределяются в более широком угловом интервале. Это связано с локальным нарушением потенциального поля и изменением каналированных траекторий ионов. Поэтому угловое распределение рассеянных частиц может рассматриваться как один из важных физических параметров, характеризующих дефектную структуру поверхности. Следует также отметить, что изменение концентрации дефектов и характера их распределения по поверхности может приводить к изменению формы углового и энергетического спектров. При увеличении концентрации дефектов можно ожидать увеличения доли деканалированных ионов и относительного уменьшения интенсивности основного пика зеркального рассеяния. При небольшой концентрации дефектов, напротив, процесс зеркального рассеяния от участков идеальной поверхности остаётся преобладающим, а в угловом распределении сохраняются хорошо выраженные интенсивные максимумы. Важным результатом моделирования является возможность разделения ионов, зеркально рассеянных от идеальных участков поверхности, и деканалированных ионов, траектории которых были изменены под действием дефектов. Положение основных интенсивных максимумов в основном определяется геометрическими и кристаллографическими

характеристиками поверхности, тогда как появление дополнительных пиков и изменение их интенсивности связано с наличием дефектов и их влиянием на движение ионов.

Выводы

Таким образом, результаты компьютерного моделирования показывают, что при рассеянии ионов от дефектной поверхности InGaP(001) одновременно проявляются механизмы зеркального рассеяния и деканалирования. Основные интенсивные пики, наблюдаемые в области углов рассеяния до $\theta \approx 100°$, формируются преимущественно за счёт ионов, зеркально рассеянных от участков идеальной поверхности. Последующие пики с относительно меньшей интенсивностью связаны с деканалированными ионами, траектории которых изменяются вследствие взаимодействия с поверхностными дефектами. Следовательно, совместный анализ угловых и энергетических распределений рассеянных ионов представляет собой эффективный теоретический подход для определения влияния дефектов на процесс рассеяния и исследования структурных особенностей поверхности InGaP(001). Полученные результаты имеют важное значение для исследования поверхностной структуры полупроводниковых материалов на основе InGaP с использованием методов ионно-рассеятельной спектроскопии. В частности, анализ угловых и энергетических распределений деканалированных ионов позволяет получать дополнительную информацию о наличии точечных дефектов, их влиянии на движение ионов и локальной структуре поверхности кристалла.

Литература

1. Robinson M. T. "MARLOWE Binary Collision Cascade Simulation Program, Version 15b, A Guide for Users" –London, 2002. 231p.

2. Robinson M. T. Computer Simulation Studies of High-Energy Collision Cascades// Phys. Rev. - Amsterdam,1992. -B 67.–P.396-400.

РАССЕЯНИЯ ИОНОВ С ДЕФЕКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ InP(001)

И.Дж.Ядгаров,У.О.Кутлиев,Ш.Р. М.У.Отабаев
[1]*Институ Ионно-плазменных и лазерных технологии АНРУз.Ташкент*
[2]*Ургенчский государственный университет. Ургенч. uchkunk@mail.ru*

В настоящее время накоплен значительный объем экспериментальных и теоретических данных, посвященных исследованию процессов рассеяния заряженных частиц от идеально упорядоченных поверхностей твердых тел. Исследование взаимодействия ионов с кристаллическими поверхностями имеет большое значение для современной физики поверхности, физики твердого тела, ионно-пучковых технологий, микро- и наноэлектроники. Методы ионного рассеяния позволяют получать информацию о составе, структуре, геометрии и степени совершенства поверхности, а также выявлять различные структурные нарушения в поверхностных слоях кристаллических материалов. Несмотря на значительное количество исследований, процессы взаимодействия ускоренных ионов с реальными, дефектными поверхностями твердых тел остаются изученными в значительно меньшей степени. Это связано прежде всего с тем, что наличие структурных дефектов существенно изменяет характер движения ионов в приповерхностной области. В идеальном кристалле движение налетающего иона определяется периодическим расположением атомов и системой коррелированных столкновений. При этом ион может двигаться вдоль определенных кристаллографических направлений, образуя каналированную траекторию. Однако присутствие дефектов нарушает периодичность потенциального поля поверхности и приводит к изменению траектории, энергии и угловых характеристик рассеянных частиц[1-2].

Изучение закономерностей взаимодействия ускоренных ионов с дефектными поверхностями основывается, в частности, на анализе траекторий бомбардирующих и рассеянных частиц. Форма траектории иона в поверхностных слоях несет важную информацию о характере его взаимодействия с атомами мишени. Для идеальных кристаллов траектории ионов также могут иметь достаточно сложную форму, поскольку движение частицы определяется не отдельным столкновением, а последовательностью взаимосвязанных и коррелированных взаимодействий с атомами нескольких поверхностных слоев. В условиях скользящего падения эта особенность проявляется особенно отчетливо, поскольку ион движется на относительно небольшой глубине и может последовательно взаимодействовать с большим количеством атомов, расположенных вдоль поверхностных атомных рядов. Дополнительное усложнение задачи связано с наличием в реальных кристаллических мишенях различных типов структурных дефектов. К ним относятся точечные дефекты, вакансии, примеси, межузельные атомы, комплексы дефектов, ступеньки, дислокации и другие нарушения периодической структуры. При этом влияние дефектов существенно зависит от их геометрии, размеров, пространственного расположения и ориентации относительно направления падения иона. В многокомпонентных кристаллах ситуация становится еще более сложной, поскольку атомы различных химических элементов обладают различными массами и зарядовыми характеристиками, вследствие чего вероятность и характер рассеяния могут существенно различаться. Следует также учитывать, что сама поверхность мишени может изменяться в процессе ионной бомбардировки. Воздействие ускоренных ионов приводит к выбиванию атомов из поверхностных слоев, образованию вакансий, межузельных атомов, локальных деформаций и других радиационных повреждений. Поэтому структура поверхности, с которой взаимодействует последующий поток ионов, уже может отличаться от исходной. В результате возникает динамическая связь между процессами бомбардировки, формированием дефектов и последующим рассеянием частиц[3-4].

В связи с этим задача теоретического описания движения ионов вблизи реальной дефектной поверхности является достаточно сложной. Учет большого количества последовательных столкновений, пространственного распределения атомов, межатомных взаимодействий и различных типов дефектов приводит к необходимости выполнения большого объема вычислений. Получение общего аналитического решения для такой системы, как правило, невозможно. Поэтому одним из наиболее эффективных методов исследования подобных процессов является компьютерное моделирование движения ионов в кристаллической мишени.

При исследовании повреждений кристаллической структуры методом рассеяния ионов обычно выделяют две основные группы дефектов: дефекты блокирующего типа и дефекты протяженного типа. К дефектам блокирующего типа относятся точечные дефекты, вакансии, примесные атомы и скопления точечных дефектов. Они изменяют локальное потенциальное поле поверхности и могут приводить к изменению направления движения иона. К дефектам протяженного типа относятся ступеньки, дислокации, поверхностные террасы и другие протяженные нарушения периодической структуры.

Особенно важную роль при взаимодействии ионов с дефектной поверхностью играет процесс деканалирования. Если траектория иона в идеальном кристалле располагается вблизи канала, образованного атомными рядами, частица может длительное время двигаться внутри этого канала. Однако столкновение с атомом, смещенным из своего регулярного положения, или с атомом, расположенным на ступеньке поверхности, может привести к резкому изменению направления движения частицы. В результате ион покидает канал, и происходит его деканалирование. Таким образом, анализ траекторий каналированных и деканалированных частиц позволяет получить дополнительную информацию о структуре поверхности. При этом характеристики деканалирования — длина траектории до выхода из канала, угол отклонения, энергия частицы после столкновения и

положение точки взаимодействия — могут использоваться для определения особенностей расположения дефектов.

В настоящей работе исследуются траектории рассеянных ионов от дефектной поверхности InP(001)<110> при малых углах скольжения. Фосфид индия (InP) является важным полупроводниковым материалом, широко используемым в оптоэлектронике, высокочастотной электронике и различных приборных структурах. Поэтому изучение его поверхностных свойств и влияния структурных дефектов на взаимодействие с ионными пучками представляет как фундаментальный, так и практический интерес. Для моделирования была рассмотрена поверхность InP(001), ориентированная вдоль кристаллографического направления <110>. Выбор направления скольжения позволяет исследовать движение ионов относительно поверхностных атомных рядов и определить особенности формирования каналированных траекторий. При малых углах падения ионы движутся практически параллельно поверхности, вследствие чего вероятность их взаимодействия с атомами верхних слоев существенно возрастает.

На исследуемой поверхности InP(001)<110> были рассмотрены различные варианты дефектов. В частности, анализировались линейные дефекты, соответствующие отсутствию определенной группы поверхностных атомов, а также ступенчатые дефекты, возникающие в результате формирования дополнительного атомного слоя на поверхности. Эти два типа дефектов существенно различаются по характеру воздействия на траекторию иона. В случае линейного дефекта периодичность поверхностного атомного ряда нарушается вследствие отсутствия атомов на определенном участке поверхности. При прохождении иона вблизи такого дефекта изменяется локальное распределение потенциального поля. В результате ион может изменить свою траекторию и продолжить движение уже в другом поверхностном слое. Следовательно, линейный дефект не всегда приводит к непосредственному отражению иона от атомов самого верхнего слоя.

Результаты моделирования показывают, что при наличии линейного дефекта значительная часть рассеянных частиц может взаимодействовать не только с атомами первого поверхностного слоя, но и с атомами второго и третьего слоев. Это связано с тем, что отсутствие поверхностных атомов создает область, через которую ион может проникнуть глубже в приповерхностную область кристалла. В результате изменяется эффективная глубина взаимодействия иона с мишенью. Данное явление непосредственно проявляется в энергетических спектрах рассеянных ионов. Помимо основного пика, соответствующего рассеянию от атомов верхнего слоя, могут появляться дополнительные пики меньшей интенсивности. Эти пики связаны с ионами, которые после прохождения области линейного дефекта взаимодействуют с атомами второго и третьего поверхностных слоев. Таким образом, энергетический спектр содержит информацию не только о составе поверхности, но и о глубине, на которой произошло рассеяние.

Интенсивность указанных дополнительных пиков, как правило, значительно меньше интенсивности основного пика. Это связано с меньшей вероятностью проникновения иона в более глубокие слои и последующего его выхода из кристалла в направлении, удовлетворяющем условиям регистрации. Тем не менее наличие таких пиков имеет важное значение для анализа структуры дефектной поверхности, поскольку позволяет установить факт взаимодействия налетающих ионов с атомами нижележащих слоев.Иная картина наблюдается при наличии ступенчатого дефекта. Ступенька представляет собой локальное изменение высоты поверхности, обусловленное появлением дополнительного атомного слоя. В этом случае ион, движущийся вдоль поверхностного канала, сталкивается с атомами ступеньки. Такое столкновение может привести к значительному изменению поперечной компоненты импульса частицы. В результате ион теряет состояние каналированного движения и выходит из канала. Следовательно, при наличии ступенчатого дефекта наряду с обычным процессом рассеяния наблюдается выраженный процесс деканалирования. Ион,

который в идеальном участке поверхности мог бы продолжать движение между атомными рядами, при достижении ступеньки взаимодействует с дополнительным атомным рядом. В зависимости от параметров столкновения частица может либо изменить направление движения и остаться в другом канале, либо полностью покинуть канал. Одной из важных характеристик данного процесса является длина траектории деканалированных частиц. Проведенный анализ показывает, что эта величина связана с амплитудой траектории и особенностями поперечного движения иона относительно атомных рядов. По мере увеличения длины траектории характер движения частицы изменяется. В определенном диапазоне расстояний наблюдается уменьшение длины свободного или относительно слабого движения, что свидетельствует об усилении взаимодействия иона с атомами поверхностных рядов.

Анализ траекторий показывает, что деканалирование является одним из основных механизмов, определяющих поведение ионов при взаимодействии с протяженными дефектами поверхности. В идеальной поверхности ион может длительное время сохранять каналированное движение благодаря периодическому характеру потенциального поля. Наличие ступеньки нарушает это условие и создает дополнительный центр рассеяния. Поэтому даже один локальный дефект способен существенно изменить конечное направление движения частицы.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой чувствительности рассеяния ионов при малых углах скольжения к структурным особенностям поверхности InP(001)<110>. Анализ формы траекторий, длины пробега до деканалирования, характера столкновений и энергетических спектров позволяет получить информацию о расположении поверхностных и приповерхностных атомов, наличии линейных и ступенчатых дефектов, а также о механизмах взаимодействия ионов с различными участками поверхности.

Следовательно, исследование рассеяния Ar+ и других ионов от дефектной поверхности InP(001)<110> при малых углах скольжения представляет собой перспективное направление для получения информации о приповерхностной структуре кристалла. Установленные особенности взаимодействия ионов с линейными и ступенчатыми дефектами позволяют более подробно понять механизмы каналирования, рассеяния и деканалирования частиц. Особое значение имеет выявленная возможность рассеяния ионов от второго и третьего поверхностных слоев в области линейных дефектов, а также деканалирования при столкновении иона с атомами ступенчатого дефекта. Эти результаты могут служить основой для дальнейшего исследования дефектных поверхностей полупроводников методами ионного рассеяния и компьютерного моделирования.

Литература

1.T.J.Wood,C.Eames,C.Bonet,M.B.Reakes,T.C.Q.Noakes,P.Bailey and S.P. Tear. Medium-Energy Ion Scattering study of strained holmium silicide nanoislands grown on silicon (100)// arXiv:0807v1[cond-mat.mtrl-sci] 29 july 2008.

2. Rasulov A.M., Dzhurakhalov A.A., Umarov F.F., Sultonov Sh.D., Khaidarov A. Proc. of SPIE, Vol.5974, 597401-2 (2004).

3. Rasulov A.M.,Dzhurakhalov A.A.Computational Material Science,33,148. (2005).

4.Umarov F.F., Rasulov A.M., Khaidarov A.Kh. Rad. Eff. & Defects in Solids, 158, 481 (2003).

YORUG‘LIK VA MAGNIT MAYDON TA’SIRIDA P-AL$_{0.3}$GA$_{0.7}$AS/P-GAAS/N-GAAS GETEROSTRUKTURALI DIODNING VOLT-AMPER XARAKTERISTIKASINI NAZARIY TADQIQ ETISH

Prof. G.Gulyamov, PhD. G.N.Majidova, doktorant S.Q.Madumarova
Namangan Davlat Texnika Universiteti
Email: sqmadumarova@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu ishda p-Al$_{0.3}$Ga$_{0.7}$As/p-GaAs/n-GaAs geterostrukturali diodning volt-amper xarakteristikasiga harorat, magnit maydon va optik nurlanishning birgalikdagi ta’siri nazariy jihatdan o‘rganildi. Modelda yarimo‘tkazgichning taqiqlangan zona kengligining haroratga bog‘liqligi, elektron va kovaklarning diffuziya jarayonlari, magnit maydon ta’sirida tashuvchilarning effektiv diffuziya uzunligining o‘zgarishi hamda optik generatsiya natijasida yuzaga keluvchi fototok hisobga olindi. Hisoblashlar T=330T=330 K va B=0.5B=0.5 T sharoitida bajarildi. Natijalar yoritish natijasida diodning umumiy tok zichligida fototok tashkil etuvchisi paydo bo‘lishini va volt-amper xarakteristikasining siljishini ko‘rsatadi. Magnit maydon hamda haroratga bog‘liq tashuvchilar transportini hisobga olish yoritilgan holatdagi tok zichligiga qo‘shimcha tuzatish kiritadi.

Kalit so‘zlar: p-Al$_{0.3}$Ga$_{0.7}$As/p-GaAs/n-GaAs geterostruktura, p–n o‘tish, volt-amper xarakteristika, magnit maydon, fototok, diffuziya uzunligi, harorat.

Kirish.

Turli geterostruktura asosida olingan yarimo’tkazgichli diodlarning zaryad tashuvchilarning harakati harorat, tashqi magnit maydon va yorug’lik ta’sirida sezilarli o’zgaradi. Xususan, p-Al$_{0.3}$Ga$_{0.7}$As/p-GaAs/n-GaAs geterostrukturasida haroratning o’zgarishi taqiqlangan zona kengligiga, zaryad tashuvchilar harakatchanligi va Diffuziya koeffitsiyentiga ta’sir etsa, magnit maydon zaryad tashuvchilarning ko’ndalang harakatini cheklab, ularning diffuziya uzunligini o’zgartiradi. Yorug’lik ta’sirida esa elektron-kovak juftlarining generatsiyasi natijasida qo’shimcha fototok yuzaga keladi. Shu sababli mazkur omillarning birgalikdagi ta’sirini hisobga olish geterostrukturali diodlarning Volt-Amper xususiyatlarini tavsiflashda muhim ahamiyatga ega.

Nazariy qism.

Geterostrukturali p–n diodning tok zichligi elektron va kovaklarning diffuzion toklaridan tashkil topadi. Magnit maydon mavjud bo‘lganda Lorens kuchi zaryad tashuvchilarning harakat trayektoriyasini o‘zgartiradi. Bir o‘lchamli yaqinlashishda bu ta’sir effektiv diffuziya koeffitsientining kamayishi orqali ifodalanadi:

$$D_n(B) = \frac{D_{no}}{1+(\mu_{no}B)^2}, \qquad D_p(B) = \frac{D_{po}}{1+(\mu_{po}B)^2} \tag{1}$$

Shunga mos ravishda diffuziya uzunliklari

$$L_n(B) = \sqrt{\frac{D_{no}\tau_n}{1+(\mu_{no}B)^2}} \tag{2}$$

$$L_p(B) = \sqrt{\frac{D_{po}\tau_p}{1+(\mu_{po}B)^2}} \tag{3}$$

ko‘rinishga ega bo‘ladi. Natijada qorong‘i sharoitdagi tok zichligi

$$J_{dark}(U,B,T) = Js(B,T)\left[exp\left(\frac{qU}{n_{id}k_BT}\right) - 1\right] \tag{4}$$

orqali ifodalanadi. Bu yerda $Js(B,T)$— harorat va magnit maydonga bog‘liq to‘yinish tok zichligi.

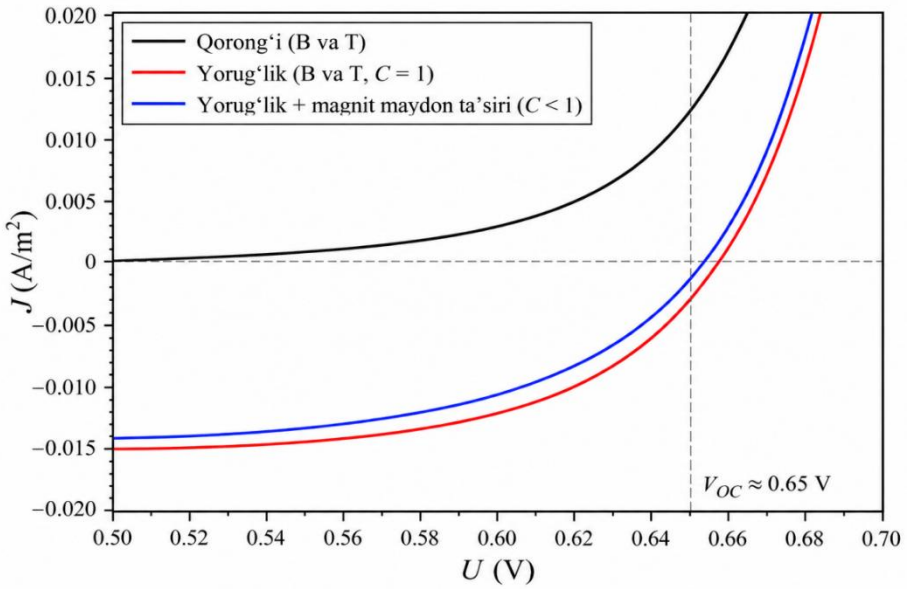
Harorat o‘zgarishi GaAs taqiqlangan zona kengligiga ham ta’sir qiladi. Hisoblashda Varshni munosabatidan foydalanildi:

$$E_g(T) = E_g(0) - \frac{\alpha_V T^2}{T+\beta V} \quad (5)$$

Yoritish natijasida optik generatsiya tufayli fototok hosil bo‘ladi. Soddalashtirilgan bir o‘lchamli modelda:

$$J_{ph}(\lambda, \Phi) = q\,\eta_c\,\Phi\,[1 - Rs(\lambda)]\left[1 - e^{-\alpha(\lambda)d}\right] C(B,T) \quad (6)$$

Yuqoridagi ifodalarni Js to’yinish to’ki ifodasiga qo’yganimizda , hosil bo’lgan ifoda orqali qorong’u va yorug’ holatdagi tok zichligi ifodasini olishimiz mumkin. Ifodaga fototok qo’shganimizda $C(B,T)$ — magnit maydon va harorat ta’sirida fotogeneratsiyalangan zaryad tashuvchilarning yig‘ilish samaradorligi o‘zgarishini hisobga oluvchi koeffitsientini o’zgarishi orqali Volt amper xarakteristika grafigini olishimiz mumkin bo’ladi.



1-rasm. Harorat, yorug’lik va magnit maydon ta’sirida Volt-Amper xarekteristikasini o’zgarishi.

1-rasmda $T = 330K$ harorat va $B = 0.5T$ magnit maydon sharoitida p-$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/p-GaAs/n-GaAs geterostrukturali diodning hisoblangan volt-amper xarakteristikalari keltirilgan. Qora egri chiziq qorong‘i sharoitdagi diod tokini, qizil chiziq yorug‘lik ta’siridagi tokni, ko‘k chiziq esa yorug‘lik bilan birgalikda magnit maydon va haroratning fotogeneratsiyalangan zaryad tashuvchilarni yig‘ish jarayoniga ta’siri $C(B,T)$ orqali hisobga olingan holatni ifodalaydi.

Xulosa

p-$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/p-GaAs/n-GaAs geterostrukturali diodning volt-amper xarakteristikasiga harorat, magnit maydon va yorug‘likning birgalikdagi ta’siri nazariy jihatdan tahlil qilindi. Modelda $Eg(T)$, $N_C(T)$, $N_V(T)$, zaryad tashuvchilarning diffuziya parametrlari hamda magnit maydon va haroratga bog‘liq yig‘ilish koeffitsienti $C(B,T)$ hisobga olindi. Hisoblash natijalari yorug‘lik ta’sirida hosil bo‘lgan fototok Volt–Amper xarakteristikasini sezilarli siljitishini va $V_{OC} \approx 0.65V$ atrofida ochiq zanjir kuchlanishi shakllanishini ko‘rsatdi. Magnit maydon zaryad tashuvchilarning effektiv diffuziya uzunligini o‘zgartirishi natijasida fotogeneratsiyalangan tashuvchilarning yig‘ilish samaradorligiga ta’sir ko‘rsatishi aniqlandi. Natijada $C(B,T)$ hisobga olinganda yoritilgan holatdagi Volt–Amper xarakteristikasida qo‘shimcha siljish yuzaga keladi. Olingan natijalar geterostrukturali diodlarning elektr va fotoelektrik xususiyatlarini tavsiflashda harorat, yorug‘lik va magnit maydon ta’sirlarini o‘zaro bog‘liq holda hisobga olish muhimligini ko‘rsatadi.

Foydalanilgan Adabiyotlar

1. Gulyamov, G., Mukhitdinova, F., & Majidova, G. Changing the Voltage of the pn Junction in a Magnetic Field. *e-Journal of Surface Science and Nanotechnology*, (2023). *21*(4), 273-277.
2. Gulyamov, G., Majidova, G., Muxitdinova, F., & Madumarova, S. Changes in diodes with a pn-transition under the influence of microwave radiation. In *AIP Conference Proceedings.* (2023, March) (Vol. 2700, No. 1, p. 050008). AIP Publishing LLC.
3. Gulyamov, G., & Majidova, G. N. Influence of electron and phonon heating on the characteristics of solar photocells. *Romanian journal of physics*, (2023). *68*(3-4), 607.
4. Gulyamov, G., Majidova, G. N., Mukhitdinova, F. R., & Suvanov, A. X. Effect Of Magnetic Field On Photoelectric Characteristics of p-n junction Diode. *Journal of Optoelectronics laser*, (2022) *41*(9), 451-459.
5. Gulyamov, G., Majidova, G., & Muhitdinova, F. Influence of a magnetic field on the characteristics of a pn junction diode. *淡江理工學刊*, (2024).*27*(1), 1911-1917.
6. Gulyamov, G., Majidova, G., Madumarova, S., & Mukhitdinova, F. Influence of Temperature on Characteristics of a Diode with a pn Junction in a Magnetic Field. *e-Journal of Surface Science and Nanotechnology*, (2024). *22*(3), 256-260.
7. Gulyamov, G., Umarov, K. B., & Soliyev, A. Z. (2023). Influence of the heating of charge carriers and phonons on the CVC and the coefficient of non-ideality of a rectified contact. *Romanian Journal of Physics*,(2023) *68*, 613.
8. Gulyamov, G., Umarov, K. B., & Soliyev, A. Z. Effect of Heating of Charge Carriers and Phonons on The Contact Resistance of Rectifying Metal-Semiconductor Structures. *East European Journal of Physics*, (2024). (3), 359-363.

MIKROTO'LQIN TA'SIRIDA BIPOLYAR TRANZISTORDA ZARYAD TASHUVCHILAR O'TKAZUVCHANLIGI VA EMITTER TOKINING O'ZGARISHI.

PhD G.N. Majidova, doktarant N. M. Davlataliyeva
Namangan davlat texnika Unversiteti, Islom Karimov ko'cha 12 uy,
gmail: m.gulnoza.1985@gmail.com.
navbahor3098@mail.ru

Zamonaviy mikroelektronika va yuqori chastotali qurilmalarda yarimo'tkazgichli asboblarning elektromagnit maydon ta'siridagi xususiyatlarini o'rganish muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega. Mikroto'lqin nurlanishi yarimo'tkazgichlarda zaryad tashuvchilarning energiyasi, harakatchanligi va diffuziya jarayonlariga ta'sir ko'rsatib, elektr o'tkazuvchanlikning o'zgarishiga olib kelishi mumkin. Bipolyar tranzistorning asosiy parametrlaridan biri bo'lgan emitter toki zaryad tashuvchilarning emitterdan baza orqali harakatlanishi va ularning transport xususiyatlariga bog'liq. Shu sababli mikroto'lqin ta'sirida zaryad tashuvchilar o'tkazuvchanligi hamda emitter tokining o'zgarishini tadqiq etish tranzistorlarning yuqori chastotali ish rejimlarini tushunishda muhimdir.
Ushbu ishda mikroto'lqin elektromagnit maydoni ta'sirida bipolyar tranzistorda zaryad tashuvchilar o'tkazuvchanligi va emitter tokining o'zgarishi nazariy jihatdan o'rganiladi. Tadqiqot natijalari tranzistorlarning elektr xarakteristikalarini tahlil qilish va ularning ish samaradorligini oshirishga xizmat qilishi mumkin.

O'tkazuvchanlikning o'zgarishi tranzistorning kollektor, emitter va baza sohalaridagi toklarning taqsimlanishiga, ishchi nuqtasining siljishiga hamda kuchaytirish xususiyatlarining o'zgarishiga olib kelishi

mumkin. Shu sababli tranzistor parametrlarini tahlil qilishda o‘tkazuvchanlik bilan bog‘liq jarayonlarni hisobga olish muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Ushbu maqolada o‘tkazuvchanlikning tranzistorning asosiy elektr parametrlariga ta’siri, zaryad tashuvchilarning harakati bilan bog‘liq fizik jarayonlar hamda ushbu omillarning tranzistorning ishlash barqarorligiga ta’siri nazariy jihatdan ko‘rib chiqiladi. Mazkur maqolada bir jinsli bo‘lmagan tranzistorning emmiterdagi elektron va kollektor tokida o’tkazuvchanlik **δ** ni qizish hisobiga o’zgarishini tok zichligi J_{ne} ga ta’sirini ko’rildi. Nazariy va amaliy ta’siri tahlil qilinadi, asosiy fizik mexanizmlar ko‘rib chiqiladi, hamda parametrlarning o‘zgarish qonuniyatlari ilmiy asosda yoritiladi.

Tranzistorning emmiter tokidagi elektron toki ifodasi quyidagicha yoziladi:

$$J_{ne} = \frac{en_p D_n}{L_n}\left(\exp\left(\frac{qU_e}{kT} - 1\right)\right) \qquad (1)$$

Yarimo’tkazgichlarda asosan elektr o’tkazuvchanlikka xarakatchan elektronlar va teshiklar ishtirok etadi. Elektronlar uchun o’tkazuvchanlik ifodasi

$$\delta_n = eu_n n_p + eu_p p_n \qquad (2)$$

ga teng. (2) formuladan n_p ni topamiz.

$$n_p = \frac{\delta_n - eu_p p_n}{eu_n} \qquad (3)$$

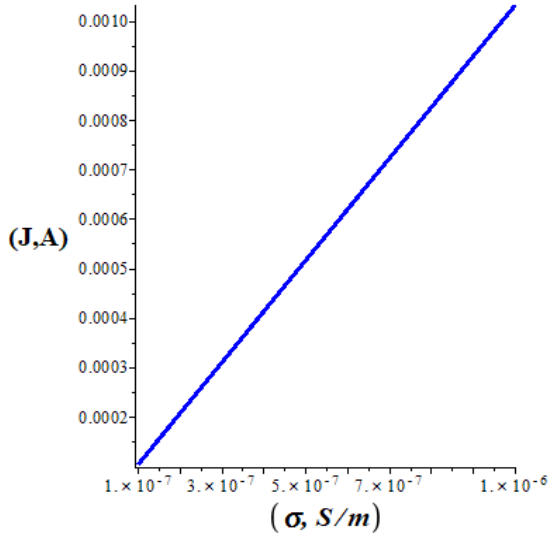
Diffuza koeffitsiyenti ifodasi esa quyidagiga teng.

$$D_n = \frac{u_n kT}{e} \qquad (4)$$

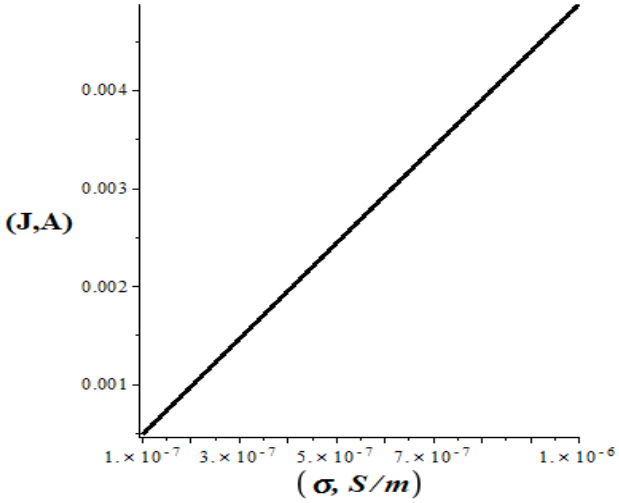
(3) va (4) ifodalarni (1) ifodaga qo’yganimizda quyidagi elektron uchun umumiy tok zichligi ifodasi kelib chiqadi.

$$J_{ne} = \frac{(\delta_n - eu_p p_n)kT}{e}\left(\exp\left(\frac{qU_e}{kT} - 1\right)\right) \qquad (5)$$

(5) ifodaga adabiyotlarda keltirilgan qiymatlarni qo’yish orqali J_{ne} tok zichligini δ_n o’tkazuvchanlikka bog’liqlik grafigini olishimiz mumkin.

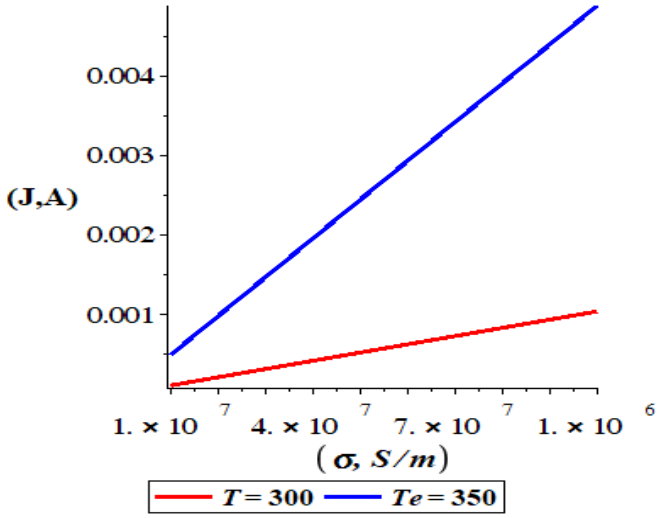


1-rasm. Zaryad tashuvchi elektronning o’tkazuvchanlikga bog’liq holda o‘zgarishi.



2-rasm. Zaryad tashuvchi elektronning qizishi natijasida o‘zgarishi.

Bir vaqtda J ni o’tkazuvchanlik va zaryad tashuvchilar qizishi hisobiga ta’sirini ko’rsak, quyidagicha grafik hosil bo’lganini ko’ramiz.



3-rasm. Zaryad tashuvchi elektronning qizishi natijasida va o’tkazuvchanlikka bog’liq holda VAX o‘zgarishi.

O‘tkazilgan tahlillar asosida shuni xulosa qilish mumkinki, yarimo‘tkazgich materiallarining elektr o‘tkazuvchanligi tranzistorlarning asosiy elektr parametrlarini belgilovchi muhim omillardan biridir. O‘tkazuvchanlikning o‘zgarishi tranzistorning kollektor toki, kuchaytirish koeffitsiyenti, kirish va chiqish xarakteristikalari hamda ish rejimining barqarorligiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Yarimo‘tkazgichdagi zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi va ularning harakatchanligi oshishi natijasida elektr o‘tkazuvchanlik ortadi. Bu esa tranzistor orqali tokning samaraliroq oqishini ta’minlaydi.

Adabiyotlar:

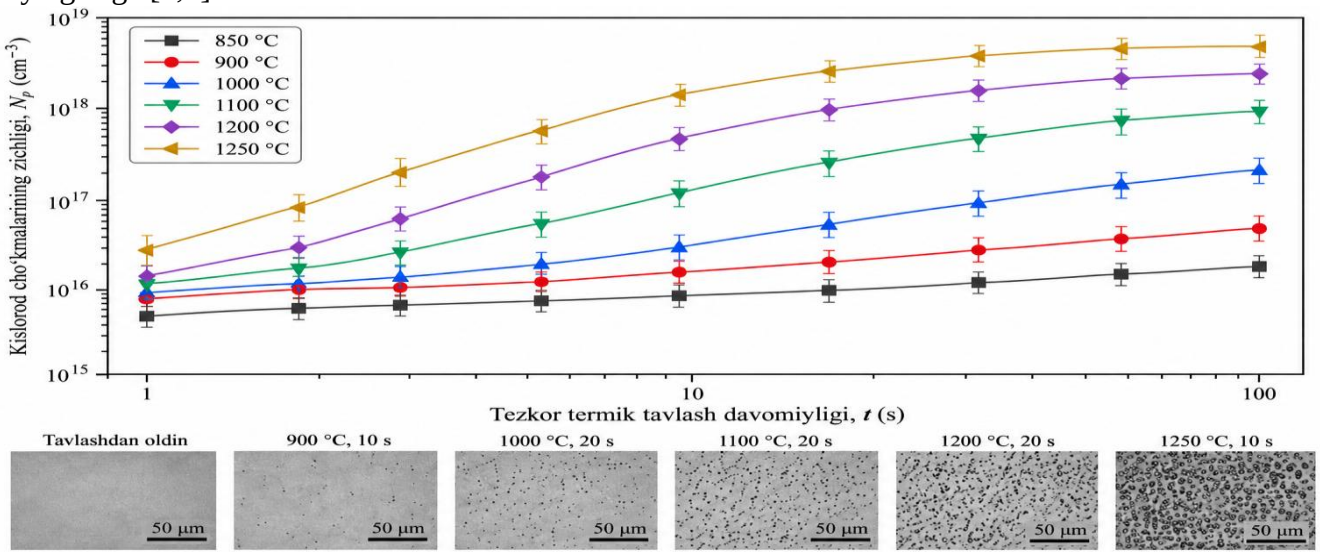
1. G.Gulyamov, G.N. Majidova, F.R. Mukhitdinova, Changing the Voltage of the p-n Junction in Magnetic Field //*e-Journal of Surface Science and Nanotechnology*. 2023. Vol 21, pp. 273−277.
2. S.I.Vlasov, U.Q.Valiyev, K.A.Tursunmetov, Yarimo’tkazgichlar asboblar fizikasi.
3. M. A. Azizov. Yarimo’tkazgichlar fizikasi.
4. Asada, S., Suda, J., & Kimoto, T. (2020). Temperature Dependence of Conductivity Modulation in SiC Bipolar Junction Transistors. IEEE Transactions on Electron Devices, 67(4), 1699–1704. https://doi.org/10.1109/ted.2020.2974988.

KREMNIYDA KISLOROD CHO‘KMALARINING ELEKTR XUSUSIYATLARIGA TA’SIRI

Burxonov Rasul Ramilovich
O‘zbekiston Respublikasi Milliy universiteti huzuridagi nanotexnologiyalarni rivojlantirish markazi 2-bosqich doktoranti.

Kremniy zamonaviy nanoelektronika qurilmalarini ishlab chiqarishda keng qo‘llaniladigan asosiy yarimo‘tkazgich materiallardan biridir. Uning elektr xususiyatlari kristall panjarasidagi nuqsonlar, kirishmalar va kislorodning mavjudligi bilan chambarchas bog‘liq. Ayniqsa, Czoxralski usulida o‘stirilgan kremniy kristallarida interstitsial kislorodning nisbatan yuqori konsentratsiyada mavjud bo‘lishi materialning elektr va strukturaviy xususiyatlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Termik ishlov berish jarayonida interstitsial kislorod atomlarining diffuziyasi va birikishi natijasida kislorod cho‘kmalarining shakllanishi kuzatiladi [1,5].

Kislorod cho‘kmalarining hosil bo‘lishi bir tomondan kremniy kristallidagi nuqsonlarni boshqarish imkonini bersa, ikkinchi tomondan zaryad tashuvchilarning harakatiga ta’sir qiluvchi markazlarning paydo bo‘lishiga olib kelishi mumkin. Shu sababli kislorod cho‘kmalarining shakllanish mexanizmlarini va ularning kremniyning elektr xususiyatlariga ta’sirini o‘rganish mikroelektronika uchun muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega [3,4].



1-rasm. Tezkor termik tavlash vaqti va haroratining kremniyda kislorod cho‘kmalarining zichligiga ta’siri.

Tadqiqotlarda solishtirma qarshiligi 10–20 Ω·cm bo‘lgan, interstitsial kislorod konsentratsiyasi taxminan $7{,}7\cdot10^{17}$ at·cm^{-3} bo‘lgan sayqallangan kremniy plastinalaridan foydalanilgan. Namunalar argon atmosferasida 850–1250 °C harorat oralig‘ida 1–45 s davomida tezkor termik tavlashdan o‘tkazilgan. Termik tavlashdan keyingi sovish tezligi taxminan 55 °C/s ni tashkil etgan.

Kremniy namunalaridagi dastlabki interstitsial kislorod konsentratsiyasi Fourier-transform infraqizil spektroskopiya (FTIR) usuli orqali aniqlangan. Kislorod cho‘kmalarining zichligi esa namunalarning ko‘ndalang kesim yuzalarini kimyoviy yemirishdan so‘ng optik mikroskop yordamida, 800 marta kattalashtirishda, morfologik tahlil qilish asosida baholangan. Mazkur metodik yondashuv kislorod cho‘kmalarining zichligi va fazoviy taqsimotini namuna qalinligi bo‘ylab aniqlash, shuningdek, ularning sirtga yaqin va hajmiy sohalardagi taqsimlanish xususiyatlarini tahlil qilish imkonini bergan.

O’tkazilgan tajriba natijalari kislorod cho‘kmalarining shakllanishi termik ishlov berish harorati va davomiyligiga kuchli bog‘liqligini ko‘rsatadi. Harorat va ishlov berish davomiyligi ortishi bilan kremniy kristallida kislorod cho‘kmalarining zichligi oshadi. Bunda cho‘kmalar kristall hajmi bo‘yicha bir tekis taqsimlanmaydi. Ularning zichligida namuna sirtlariga yaqin sohalarda yuqoriroq qiymatlar kuzatilishi termik ishlov jarayonida nuqsonlarning taqsimlanishi va kislorod diffuziyasi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin [1].

Kislorod cho‘kmalarining shakllanishida harorat muhim omil hisoblanadi. Tadqiqotlar cho‘kmalar o‘sishi uchun taxminan 870–1100 °C oralig‘i muhim ekanligini ko‘rsatadi. 1050 °C dan yuqori haroratlarda qisqa muddatli termik ishlov keyingi bosqichlarda kislorod cho‘kmalarining shakllanishini kuchaytirishi mumkin. Bunday jarayon kremniy kristallida keyinchalik yuz beradigan kislorod cho‘kmalarining o‘sishi uchun dastlabki markazlarning shakllanishi bilan izohlanadi [1,5].

Kremniyda kislorod cho‘kmalarining shakllanishi elektr xususiyatlarning o‘zgarishiga bir necha mexanizm orqali ta’sir qilishi mumkin. Kislorod atomlarining birikishi natijasida hosil bo‘lgan cho‘kmalar kristall panjarasining lokal buzilishiga sabab bo‘ladi. Buning natijasida zaryad tashuvchilar uchun

qo‘shimcha sochilish va rekombinatsiya markazlari yuzaga kelishi mumkin. Shuningdek, kislorod bilan bog‘liq nuqson komplekslari kremniyning elektr o‘tkazuvchanligi va zaryad tashuvchilar konsentratsiyasiga ta’sir qilishi ehtimoli mavjud [3,4].

Kremniy kristallida interstitsial kislorodning termik ishlov berish jarayonidagi diffuzion harakati va o‘zaro ta’sirlashuvi termik donor markazlarining shakllanishi bilan bevosita bog‘liq bo‘lib, mazkur jarayon materialning elektr-faol nuqsonlar tarkibi va elektr xususiyatlarining o‘zgarishiga sabab bo‘lishi mumkin. Past va o‘rta haroratlarda kislorod atomlarining o‘zaro ta’siri natijasida elektr faol markazlar shakllanishi, yuqori haroratli ishlov berish esa ushbu markazlarning qayta tashkil topishi va kislorod cho‘kmalarining o‘sishiga olib keladi. Shu sababli termik ishlov berish rejimini boshqarish orqali kremniy materialining elektr xususiyatlarini ma’lum darajada nazorat qilish imkoniyati mavjud.

Uzoq muddatli ikki bosqichli termik ishlov berishda kremniydagi kislorod cho‘kmalarining hosil bo‘lishi va o‘sishi harorat hamda ishlov berish davomiyligiga bog‘liq. Adabiyotlarda CZ-Si namunalarini 900 °C da 4 soat oldindan tavlab, keyinchalik 1100 °C da 4–16 soat davomida ishlov berish natijasida poliedrik kislorod cho‘kmalarining o‘sishi kuzatilgani qayd etilgan. Cho‘kmalar o‘sishi diffuziya bilan chegaralangan bo‘lib, vaqtga nisbatan $t^{\frac{1}{2}}$ qonuniyatiga mos kelishi aniqlangan.

Nanoelektronika nuqtayi nazaridan bunday jarayonlarni o‘rganish muhimdir. Chunki kremniy plastinasidagi kislorod cho‘kmalarining konsentratsiyasi, o‘lchami va fazoviy taqsimoti tayyor yarimo‘tkazgich materialining elektr parametrlariga ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Shu bilan birga, kislorod cho‘kmalarini nazorat qilish gettering jarayonlaridan foydalanish, kristalldagi metallik kirishmalarni boshqarish va elektron qurilmalar uchun zarur bo‘lgan material xususiyatlarini shakllantirish imkoniyatlarini kengaytiradi.

Kremniy kristallida kislorod cho‘kmalarining shakllanishi termik ishlov berish harorati va davomiyligiga bevosita bog‘liq murakkab jarayon hisoblanadi. Tadqiqot natijalari kislorod cho‘kmalarining zichligi harorat va ishlov berish davomiyligi ortishi bilan oshishini, shuningdek, ularning kremniy plastinasi qalinligi bo‘yicha bir tekis taqsimlanmasligini ko‘rsatadi. Kislorod cho‘kmalarining shakllanishi kristall panjarasidagi nuqsonlar va elektr faol markazlarning paydo bo‘lishi bilan bog‘liq bo‘lib, bu jarayonlar kremniyning elektr xususiyatlarini boshqarishda muhim ahamiyatga ega. Olingan natijalar kremniy asosidagi mikro- va nanoelektronika materiallarining xususiyatlarini optimallashtirishda termik ishlov berish rejimlarini tanlash uchun ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Pagani M., Falster R.J., Fisher G.R., Ferrero G.C., Olmo M. Spatial variations in oxygen precipitation in silicon after high temperature rapid thermal annealing. Applied Physics Letters, 1997, Vol. 70, No. 12, pp. 1572–1574.

2. Sueoka K., Ikeda N., Yamamoto T., Kobayashi S. Growth Process of Polyhedral Oxide Precipitates in Czochralski Silicon Crystals Annealed at 1100°C. Japanese Journal of Applied Physics, 1994, Vol. 33, No. 11A, pp. L1507–L1510.

3. Michel J., Kimerling L.C. Electrical Properties of Oxygen in Silicon. Semiconductors and Semimetals, 1994, Vol. 42, pp. 251–287.

4. Pivac B., Ilić S., Borghesi A., Sassella A., Porrini M. Gap states produced by oxygen precipitation in Czochralski silicon. Vacuum, 2003, Vol. 71, Issues 1–2, pp. 141–145.

5. Newman R.C. Oxygen diffusion and precipitation in Czochralski silicon. Journal of Physics: Condensed Matter, 2000, Vol. 12, No. 25, pp. R335–R365.

MIKRO VA NANOTEXNOLOGIYALAR ASOSIDAGI DATCHIKLARNI O‘RGANISH

A.A. Muxamedov, F.F. Isayev, Sh.N. Ernazarov, M.A. Askarov
Toshkent kimyo-texnologiya institute

Datchiklar va fizik kattaliklarni o‘zgartgichlari o‘lchov axborot tizimlari va boshqaruvni avtomatlashtirilgan tizimlarida keng qo‘llanishga erishdilar.

Ilmiy-texnikaviy rivojlanish natijasida o‘lchov texnikasining “ko‘rinishi” anchaga o‘zgardi. Agar bundan ancha avval asosiy o‘lchov vositalari bo‘lib, qoidaga ko‘ra, bitta fizik kattalikni o‘lchash uchun asboblar va qurilmalar qo‘llanilgan bo‘lsa, unda fizik kattaliklarni elektr bo‘lmagan signalga o‘zgartirgichlar ko‘pchilikni tashkil etardi (masalan, haroratni o‘lchash – simob ustunini chiziqli siljishi, kuchni o‘lchash – qattiq element strelkasining mexanik ko‘chishi, bosimni o‘lchash – suyuqlik ustuni uzunligining chiziqli o‘zgarishi), hozirgi o‘lchov vositalarida esa odatda ular elektron qurilmalardan iborat bo‘lib, asboblar yoki ko‘p kanalli tizimlar turli fizik kattaliklarni o‘lchaydi, ular datchiklar yordamida elektr signallarga aylantiriladi.

Fizik kattalikni elektr signaliga aylanishi o‘lchov axborotiga ishlov berish va uni undan uyog’iga uzatilishi soddalashtiriladi, bunda elektron qurilmalardan foydalaniladi. Bu o‘lchashning aniqligi va tez amalga oshirish imkonini oshiradi, ma’lumotlarni EHM da ishlov berish real vaqt masshtabi imkonini beradi va o‘lchov natijalarini zamonaviy aks ettirish va yozish vositalariga chiqarish imkonini beradi (displeylar, raqam qayd qilish qurilmalari, o‘z-o‘zidan yozuvchilar, grafik tuzuvchilar va yozishning magnitli tashuvchilari).

Kirish va chiqish kattaliklarining elektron o‘zgartgichlari axborot parametrlarining turiga ko‘ra uch sinfga bo‘linadi:

1) Elektr kattaliklarini elektr signallariga o‘zgartiruvchilar (masalan, elektrodlar, kuchaytirgichlar, analog-raqamli o‘zgartgichlar (ARO‘));

2) Elektr kattaliklarni elektr bo‘lmagan kattaliklarga o‘zgartiruvchilar (masalan, yorug’lik diodlari, elektr isitgichlar yoki sovutgichlar, elektr dvigatellar, kimyoviy moddalarning elektr generatorlari – teskariga o‘zgartiruvchilar ular aktyuatorlar deb ataladi);

3) Elektr bo‘lmagan kattaliklarnii elektr signallariga o‘zgartiruvchilar (masalan, termojuftliklar, tenzorezistorlar, fototranzistorlar va datchiklarning boshqa sezgir elementlari).

O‘lchov tizimlarida odatda o‘zgartirish ketma – ket ulangan o‘zgartgichlar yordamida amalga oshiriladi, ular o‘lchov kanalini (O‘K)ni tashkil qiladi. O‘Kdagi birinchi o‘zgartgich qaysiki o‘lchanayotgan obyekt bilan bevosita ta’sirlashadi va u dastlabki o‘lchov o‘zgartgichi (DO‘O‘) deyiladi, undan keyingilari esa ikkilamchi o‘lcho‘v o‘zgartgichlari **(**IO‘O‘)lari bo‘ladi.

Bu tushunchalar qurilmaning struktur funksional xususiyatini aks ettiradi, ya’ni ularning o‘rni va rolini o‘lchov kanali bildiradi.

Elektron datchik **–** konstruktiv tuzilish bo‘yicha egallangan o‘lchov vositasi, bir yoki bir necha fizik kattalikni elektr signaliga o‘zgartira oladigan va undan keyingi o‘zgarishlarga, uzatishga, ishlov berishga va o‘lchov axborotini aks ettirishga, ammo foydalanuvchiga bevosita o‘lchanayotgan kattalik to‘g’risida miqdoriy ma’lumotlarni olish imkonini bera olmaydigan qurilma.

Ishlash tamoyiliga ko‘ra DO‘O‘ va datchiklar parametrik yoki generatorli turda bo‘linishi mumkin (qo‘shimcha elektr energiyasini olib kelish va olib kelmaydigan). Parametrik DO‘O‘larda kirish kattaliklarining o‘zgarishi o‘zgartgichning elektr qarshiligini, sig’imini yoki induktivligini o‘zgarishiga olib keladi.

Bundaylarga termorezistorlar, tenzokondensatorlar kiradi. Generator turdagi o‘zgartgichlarda chiqish kattaliklari kuchlanish yoki tok hisoblanadi, ularning qiymati bevosita (elektr energiyasi olib kelinmaydigan), kirish kattaligi ta’sirida o‘zgaradi (masalan, termojuftlik, fotodiod).

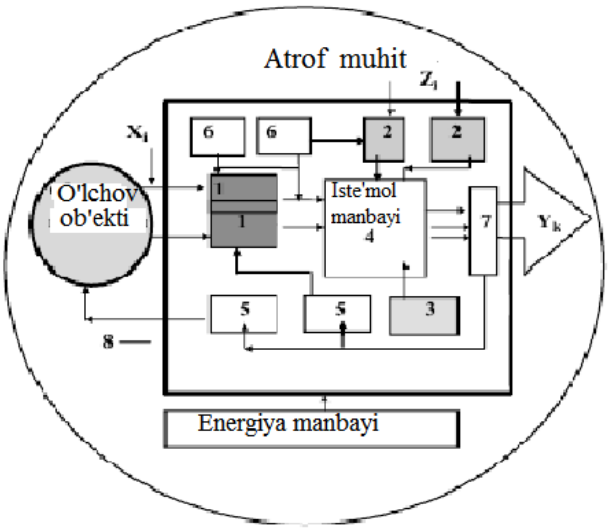
Hosilaviy terminlar paydo bo‘ldi: sensoelektronika, sensorika, mikrosensorlar, mikrosensorika, biosensorlar, kimyoviy sensorlar va biochiplar.

Mikroelektron o‘zgartgichlar yoki datchiklar bitta yoki bir necha elementlardan iborat bo‘lishi mumkin.

Integral datchiklar konstruktiv texnologik belgilariga ko‘ra quyidagilarga bo‘linishi mumkin: yarimo‘tkazgichli, plyonkali, gibrid plyonkali va mikroyig’imli .

Struktur funksional murakkabligi bo‘yicha integral datchiklarni shartli ravishda oddiy va murakkablarga bo‘lish mumkin.

Oddiy integral datchiklar (ID) tarkibiga qoidaga ko‘ra bitta sezgir element DO‘O‘ va ikkilamchi o‘zgartirgichning oddiy elementlari (ko‘prik sxemalar, qarshilik o‘zgartgichlari, dastlabki kuchaytirgichlar) kiradi.



1-rasm. Murakkab integral datchikni umumlashtirilgan struktur funksional sxemasi.

Oddiy ID larning integral mikrosxemalarni past va o‘rta integratsiya darajasiga kiruvchi razryadlarga kiritish mumkin.

Murakkab ID lar bir necha sezgir elementlarga, ikkilamchi o‘zgartgichlarning turli elementlariga (kuchaytirgichlar, kommutatorlar, kuchlanish – chastota o‘zgartgichlariga, ARO‘ va boshqalar), ma’lumotlarga ishlov berish va saqlash qurilmalariga (komparatorlar, hisoblagichlar, jamlagichlar, ko‘paytirgichlar hotira sxemalari, protsessorlar) va aktyuator elementlarga ega bo‘lishi mumkin. Murakkab ID lar ko‘p sonli bir jins sezgir elementlarga (mikropolosali koordinata sezgir datchiklar, fotoqabul qilguvchi matritsalar) ga ega bo‘lsa, bunday datchiklar matritsa turidagi datchiklar deyiladi. Murakkab ID larni umumlashtirilgan struktur funksional sxemasi 1- rasmda keltirilgan.

Bu yerda: X_i va Z_i datchikni asosiy va qo‘shimcha kirish kattaliklari; Y_k chiqish kattaliklari 1, 2 va 3 tegichli ravishda asosiy, qo‘shimcha va yordam beruvchi komponentalar yoki dastlabki o‘zgartirish elementlari – sezgir elementlar; 4 – komponentlar yoki ikkilamchi o‘zgartirgich elementlari; 5 va 6 – asosiy va qo‘shimcha aktyuatorli komponentalar yoki elementlar; 7 – ma’lumotlarga ishlov berish va saqlash qurilmasi; 8 – korpus.

IMS lar uchun standart terminologiyadan foydalanib, datchiklarning tarkibiy qismi fizik yo‘l bilan bo‘linsa, ularni datchik komponentlari deb ataymiz (kristal, keramik asos, korpus asosi, korpus qopqog’i, chiqishlar), yarim o‘tkazgichli krsitallardan tezlik jihatdan ajralmaydigan qismi datchik kristallarining

elementlari qismi deb atash qabul qilingan (masalan diffusion resistor, unipolyar yoki MDYa tranzistorlar, kremniyli membranalar va balkalar).

Komponentlar va elementlar birlamchi, ikkilamchi va akyuator o‘zgartgichlar ro‘lini o‘ynashi mumkin, shuningdek ma’lumotlarni saqlash va ishlov berish qurilmasi vazifasini yoki o‘sha qurilmalar va o‘zgartgichlarni tarkibiy qismi bo‘lishi mumkin.

Bundan tashqari O‘D ni o‘zida turli o‘zgartgichlar yordamida ma’lumotlarga real vaqt mobaynida qisman ishlov berishni amalga oshirish mumkin.

Ishlab chiquvchilar tomonidan terminologiyalarda chalkashliklar bo‘lmasligi uchun med iste’molchilari uchun, integral datchiklar uchun quyidagi tushunchalarni kiritish taklif qilinadi, ular ID komponenta va elementlarini struktur funksional hususiyatlarini aks ettirsin.

Eng ko‘p tarqalgan deb yarimo‘tkazgichli integral datchiklar hisoblanadi, ularda sezgir element SE bitta chipda VIP bilan birgalikda va boshqa elementlar o‘lchov kanalidagi (O‘K) da yagona texnologik sikl sifatida yaratiladi.

Gibrid datchiklar qoidaga ko‘ra ushbu holatlarda datchik elementlarini tayyorlash texnologiyasi bir- biri bilan mos kelmagan holda standart yarimo‘tkazgichli IMS larni oladigan texnologiya jarayonida tayyorlanadi.

Hozirgi kunga kelib, bosim, harorat, magnit maydon induksiyasi, ionlarni eritmalardagi va gazlardagi molekulalarni konsentratsiyasini, fotoelektron radiatsion o‘zgartgichlar integral datchiklari yaratilgan.

Mukammallashtirishdan tashqari yuqorida sanab o‘tilgan o‘zgartgichlar ko‘p funksiyali integral datchiklar yaratish an’anasiga ega, ularda bitta asosda bir necha elementlar joylashgan, ularning turli fizik kattaliklarga sezgirligi turlicha (multisensorlar).

Bunday datchiklar yordamida bir vaqtning o‘zida bir necha parametrlarni o‘lchashdan tashqari ularni tizimli xatoliklarini avtomatik korreksiyasini amalga oshirish mumkin, ular zararli faktorlar hisobiga paydo bo‘lgan bo‘lishi mumkin, bu esa o‘lchov tizimlarining metriologik harakteristikalarini yaxshilash imkonini beradi.

Ulardan tashqari multisensorlar murakkab mikrotizimlar yaratishni asosi hisoblanadi, maza va hid bilish funksiyalarini bajaradigan (elektron burun, elektron til).

Xulosa qilib aytganda, mikro va nanotehnologiya asosidagi “datchiklar” ustida haroratni o‘zgartiruvchi datchiklar (yupqa plyonkali termofaralar, termorezistorlar, termokondensatorlar, termodiodlar, integral datchiklar), mexanoelektrik o‘zgartgichlar (tenzorezistorlar, tenzokondensatorlar va ID), magnitga sezgir (SKVID lar, magnit rezistorlar, Xoll datchiklari, MDP o‘zgartgichlari, magnitodiodlar, magnitorezistorlar va ID lar), ionga sezgir tranzistorlar gaz konsentratsiyasini diskret va integral datchiklar, nurlanish parametrlari datchigi, maxsus elektrodlar, axborotga ishlov berish va aks ettirish qurilmalari bilan dastlabki o‘zgartgichlarni bog‘lash yo‘llari ko‘rib chiqilishi mumkin.

Adabiyotlar:

1. Дж. Фрайден. Современные датчики. Справочник. М.: Техносфера, 2006.
2. Подлепецкий Б.И., Никифорова М.Ю. Химические сенсоры. М.: МИФИ, 2003.
3. Джексон Р.Г. Новейшие датчики. М.: Техносфера, 2007.

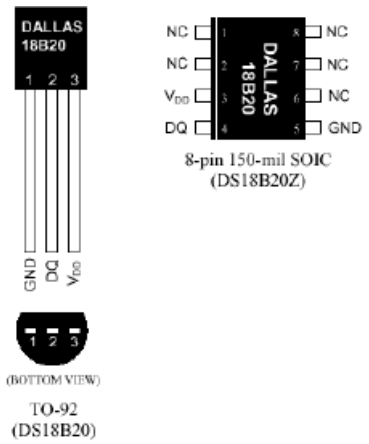
INTEGRAL RAQAMLI DS18B20 DATCHIKNI NANOTEXNOLOGIYADA QO‘LLASHNING XUSUSIYATLARI

A.A. Muxamedov[1], F.F. Isayev[1], Sh.N. Ernazarov[1], M.A. Askarov[1], O‘.H. Qurbonova[2]
[1] *Toshkent kimyo-texnologiya instituti*
[2] *Toshkent davlat texnika universiteti*

Integral yarimo‘tkazgichli harorat datchiklari o‘lchash texnikasida 25 yildan ortiq vaqtdan beri qo‘llanilmoqda. Bunday datchiklarni ishlab chiquvchilarni ilg‘orlaridan biri bo‘lib, “Analog Devices” firmasi hisoblanadi, ular bunday datchiklarni tokli chiqishga egalarini (AD590 seriyasi), kuchlanishli chiqishga egalarini (TMP35-37 seriyalar) va raqamli chiqishli (DS18B20 seriyasi) seriyalab ishlab chiqaradi.

Yuqorida qayt etilgan datchiklarni ishlashi asosida PTAT deb ataladigan sxema yotadi, ularda ikki chiqish tranzistorlarini emitter o‘tishlaridagi kuchlanishlar farqi absolyut haroratga proporsional bo‘ladi. Ushbu laboratoriya praktikumini 1 chi ishida p–n o‘tishni kichik to‘g‘ri toklardagi o‘zgartirish funksiyasi tadqiq qilingan va ular kuchlanish bilan haroratni chiziqli bog‘lanishini namoyon qilgan edi.

DS18B20 integral termodatchigi dasturiy yechimga ega bo‘lgan raqamli termometrik o‘zgartgichni bir simliligini tashkil qiladi. Bunday termodatchiklar termometr yoki raqamli kirish va chiqishga ega bo‘lgan ma’lumot signalizatorlari sifatida o‘lchash aniqligi ±0,5°C ni ifodalaydigan termometrlar sifatida ishlatiladi. Bunday datchikni korpus tipidagi TO-92 va 8 kantaktli SOIC ni tashqi ko‘rinishi 1-rasmda ko‘rsatilgan. Termodatchikdan keladigan ma’lumotlar hisoblanadi va bir simli ketma-ket shina (DQ) qo‘shimcha 9….12 bitli korpus yordamida (dasturlanadigan foydalanuvchi) kichik razryadlarni bahosi 0,5dan 0,0625^{o}C hisoblanadi.



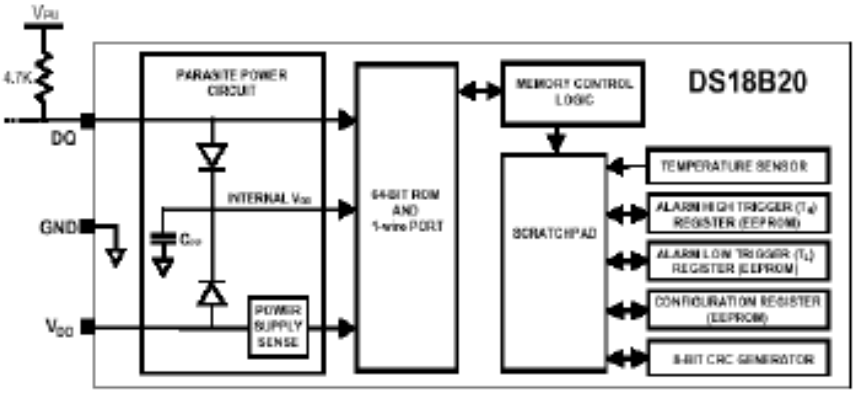
1-rasm. Termodatchikning tashiq ko‘rinishi.

Har bir DS18B20 mikrosxema ajoyib o‘zgarmaydigan 64 bitli seriyali tartib raqamiga ega va ular datchikni manzillash va identifikatsiyalashda ishlatiladi. Bu ularni bitta simli shinaga 80 tagacha muhitda taqsimlangan mikrosxemaga DS18B20 ulanish imkonini beradi. DS18B20 mikrosxema uchun 3,0 dan 5,5 V gacha tashqi manbadan foydalanib ishlash yoki ma’lumotlar liniyasidan parazit ta’minlanish ko‘zda tutilgan. Termodatchikni strukturasi 2-rasmda keltirilgan.

DS18B20 termodatchiklarini asosiy texnik xarakteristikalari:

- O‘lchashni ishchi diapazoni -55…+125 °C;
- O‘lchash xatoligi ±0,5 °C, harorat diapazoni -10… +85 °C;
- Foydalanuvchi tomonidan termometrga ruxsat beriladigan bitlar 9 dan 12 gacha;
- Ma’lumotlarni uzatish uchun bir simli ketma-ket interfeysdan foydalaniladi;
- Ishchi ta’minot kuchlanishi 3,0…5,5 V;

- Ma’lumotlar liniyasi manbaidan parazit foydalanish imkoniyati.



2-rasm. DS18B20 termodatchik strukturasi.

DS18B20 termodatchigi termostatdagi haroratni boshqarish uchun foydalanishi mumkin. Buning uchun ichki energiyaga bog’liq bo‘lmagan hotira (EEPROM) tarkibida T_L va T_H registorlari ko‘zda tutilgan, ularda foydalanuvchi tomonidan berilgan haroratni pastki va yuqori chegarasi qiymatlari saqlanadi. O‘lchanayotgan haroratni qiymati chegaraviy haroratlar chegarasidan chiqqanda boshqaruvchi signal “trevoga” beriladi.

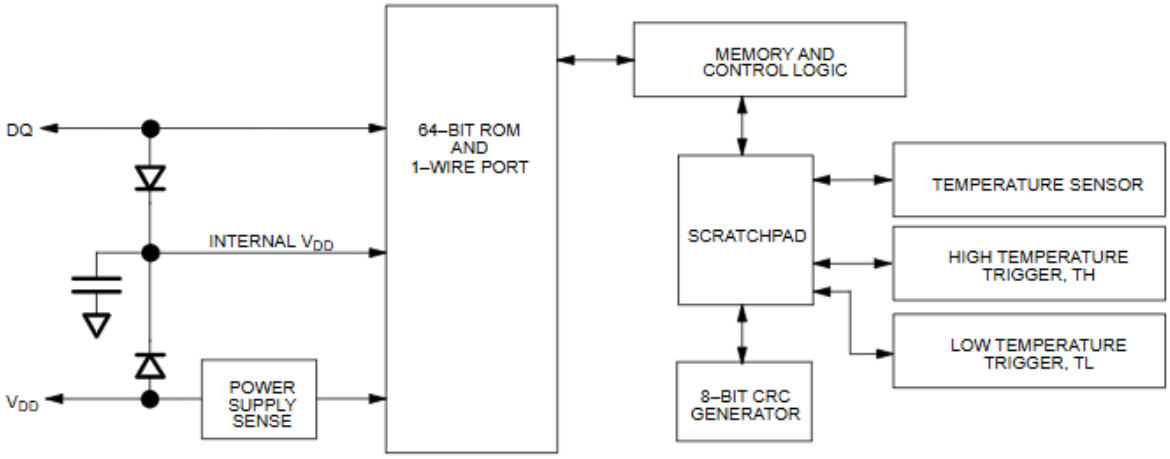
O‘ta operativ hotirada (scratchpad) ikki baytli registr mavjud, ularda sezgir termoelementni harorat qiymati saqlanadi (temperature sensor). Ulardan tashqari o‘ta operativ hotira bir baytli registrlarga T_L va T_H kirish imkonini beradi hamda konfiguratsiya registriga ham, unda foydalanish tomonidan berilgan o‘lchash aniqligi ham mavjud bo‘ladi (9…12 bit diapazonida harorat o‘zgarishiga ruxsat). T_L va T_H registorlari va konfiguratsiya energiyaga bog‘liq bo‘lmagan hotira (EEPROM) tarkibiga kiradi, shuning uchun ularda bor bo‘lgan ma’lumot termodatchiklar manbadan uzilganida ham saqlanadi.

O‘lchanayotgan harorat qatoriga tarkibiga statik va dinamik tashkil etuvchilar ham kiradi. Statik xatolik o‘lchov vositalari xatoligida aniqlanadi, chiqish signali o‘rnatilgandan harorat pog‘onali o‘zgarganida (ushbu holatda ±0,5 °C doirasida -10… +85 °C harorat diapazonida yotadi).

DS18B20 integratsiyalashgan harorat sensorining komponentlari va ishlash tamoyillari nanotexnologiya bilan nanostruktura termometriyasi, mikroelektromexanik tizimlar (MEMT) va mahalliy harorat monitoringi sohalarida kesishadi.

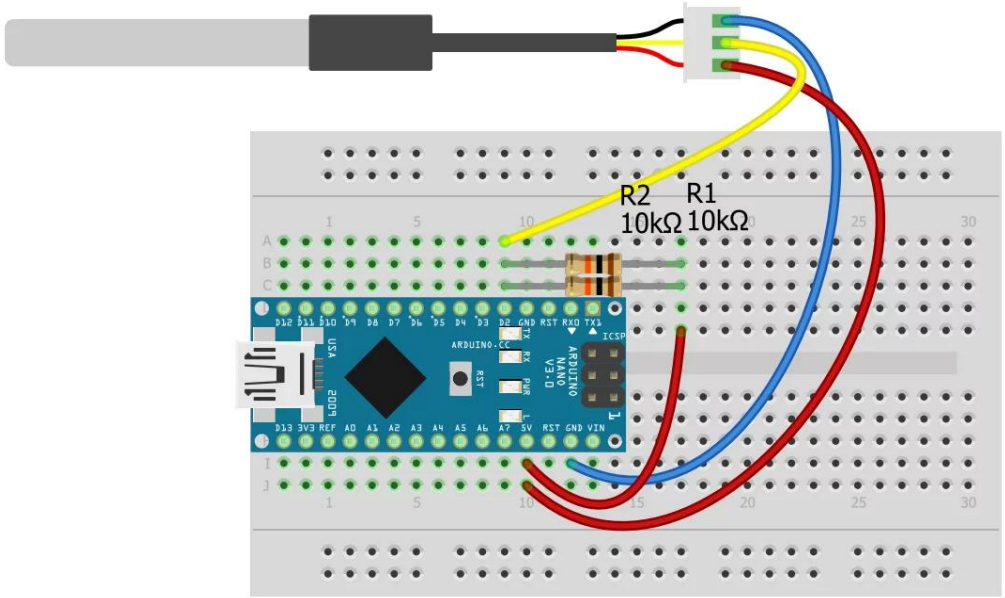
Nanostrukturalar bilan o‘zaro ta’sir jihatlari quyidagicha bo‘ladi, sensorlar elektr toki o‘tganda issiqlik hosil qiluvchi nanomateriallar (uglerod nanotubalari, grafen yoki nanokompozitlar) o‘rganiladigan eksperimental qurilmalarda issiqlik sharoitlarini kuzatish uchun ishlatiladi.

Mikroyig‘imlarga integratsiya kapsulalangan versiyalarning kichik o‘lchamlari ularni qizib ketishdan himoya qilish uchun nanoelektronikadagi miniatyura issiqlik hosil qiluvchi elementlarga yaqin joylashtirish imkonini beradi. 3-rasmda datchikning blok-diagrammasi keltirilgan.



3-rasm. Datchikning blok-diagrammasi.

4-rasmda DS18B20 integratsiyalashgan harorat sensorini Arduino platformasiga ulash sxemasi keltirilgan.



4-rasm. Datchikni Arduino platformasiga ulash sxemasi.

Xulosa qilib aytganda, DS18B20 integratsiyalashgan harorat sensorini mahalliy harorat monitoringi sohalarida, nanoelektronikadagi miniatyura issiqlik hosil qiluvchi elementlarga yaqin joylashtirishda qo‘llash mumkin.

Adabiyotlar:

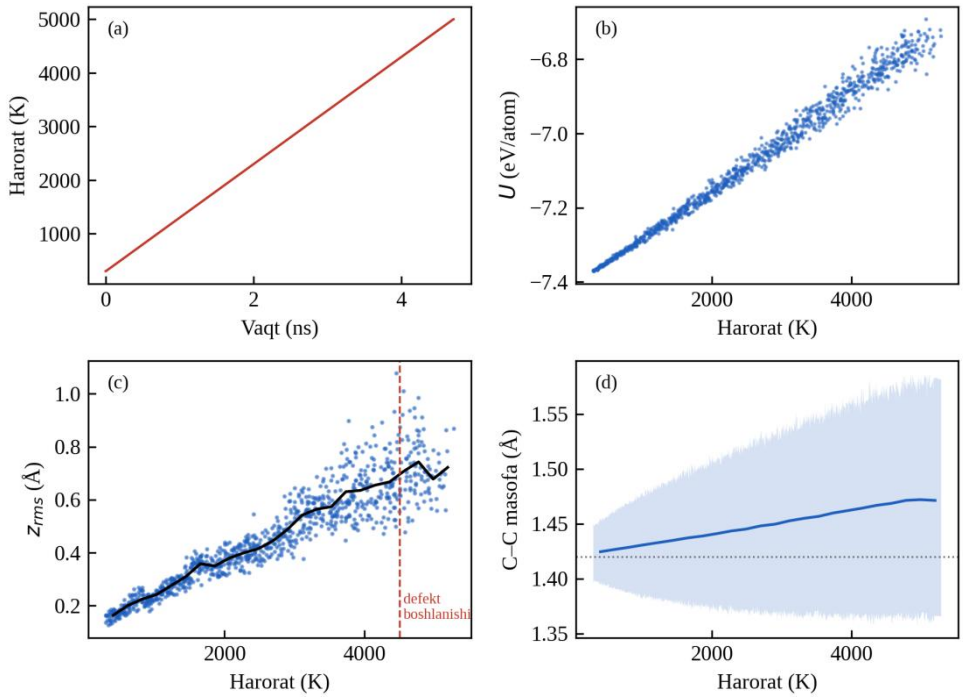
1. https://alexgyver.ru/lessons/ds18b20/
2. https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/58548/DALLAS/DS1820.html

GRAFENNING TERMIK BARQARORLIGI: SEKIN QIZDIRISHNING AIREBO MOLEKULYAR-DINAMIK TAHLILI

Alovaddinov Diyorbek Ismatilla o‘g‘li[1]
Abdullayev Lazizbek Abdulazizovich[2]
[1]Namnagan davlat universiteti, 2-bosqich magistranti
[2]Namangan davlat universiteti o‘qituvchisi, Phd
E-mail: alovaddinovdiyorbek@gmail.com

Grafenning tekis sp^2 tarmog’ini yo’qotish harorati uni lazerli va boshqa yuqori haroratli uglerod jarayonlarida qo’llash uchun muhim parametr hisoblanadi. Ushbu ishda 600 atomli grafen qatlamining 300 K dan 5000 K gacha sekin, nazorat qilingan qizdirishga javobi energetika, tekislikdan tashqari termik to’lqinlanish, bog’ uzunligi taqsimoti va koordinatsion defektlar darajasida modellashtirildi.

15×10 to’rtburchak grafen katagi (600 atom, uch yo’nalishda davriy chegara) LAMMPS dasturida AIREBO potensiali [1] bilan tavsiflandi. Energiya minimallashtirilgach va 300 K da 2.5 ps muvozanatlashtirilgach 1 K/ps tezlik bilan 5000 K gacha qizdirildi (9.4×10^6 qadam, 0.5 fs vaqt qadami) va 5000 K da 5 ps ushlab turildi. Har bir 10 000 qadamda (5 ps) atomlar holati va termodinamik kattaliklar yozib borildi; tahlil uchun tekislikdan tashqari o’rtacha kvadratik balandlik (z_{rms}), yaqin qo’shni C–C masofasi (kesim 1.85 Å) va har bir atomning koordinatsiya soni har bir kadrda hisoblandi.

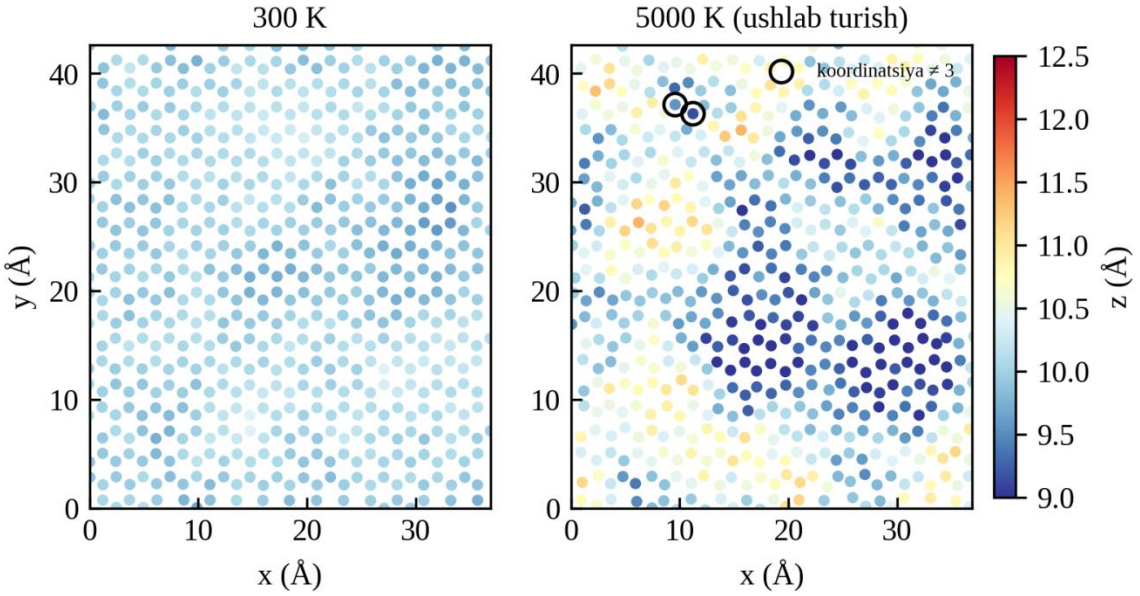


1-rasm. (a) Haroratning bosqichma-bosqich o‘zgarishi. (b) Atomga to’g’ri keluvchi potensial energiya U. (c) Tekislikdan tashqari o’rtacha kvadratik balandlik z_{rms} (nuqtalar — onlik qiymat, chiziq — o’rtacha; uzuq chiziq — birinchi vaqtinchalik defekt kuzatilgan harorat). (d) O’rtacha C–C masofa (chiziq) va uning standart og’ishi (soyalangan zona); nuqtali chiziq — muvozanatdagi 1.42 Å qiymati.

Haroratning bosqichma-bosqich o‘zgarishi berilgan 1 K/ps tezlikka aniq mos keldi (1(a)-rasm); 5000 K bosqichida o’rtacha harorat 5043 ± 216 K ni tashkil etdi. Atomga to’g’ri keluvchi potensial energiya 300 K dagi −7.370 eV/atomdan 5000 K yaqinidagi −6.72 eV/atomgacha butunlay silliq, monoton o’sdi (1(b)-rasm)

— erish yoki amorflanishga xos keskin sakrash yoki egilish nuqtasi kuzatilmadi, bu berilgan harorat oralig’ida faza o’tishi yo’qligini ko’rsatadi.

Qizdirishning asosiy strukturaviy natijasi tekislikdan tashqari termik to’lqinlanishning muttasil o’sishi bo’ldi: z_{rms} 300 K dagi ≈0.14 Å dan 5000 K dagi ≈0.72 Å gacha oshdi (1(c)-rasm), bu grafen uchun adabiyotda yaxshi tanilgan ichki (intrinsik) to’lqinlanish hodisasiga mos keladi [2]. Shu bilan birga o’rtacha C–C masofasi 1.423 ± 0.026 Å dan 1.476 ± 0.108 Å gacha (≈+3.7%) o’sdi va uning tarqalishi ≈4 barobar kengaydi (1(d)-rasm), ya’ni yuqori haroratda bog’ uzunligining termik tebranish amplitudasi sezilarli darajada ortadi.



2-rasm. Namunaning tepadan ko’rinishi, rang atom balandligini (z) ko’rsatadi: 300 K da deyarli tekis, 5000 K da esa aniq domenli g’adir-budurlik (rippling) kuzatiladi. Qora doiralar — koordinatsiya soni 3 dan farqli atomlar.

Koordinatsion tahlil shuni ko’rsatdiki, qizdirish davomidagi 940 kadrdan atigi 16 tasida (~1.7%) 600 atomdan 2–4 tasi vaqtinchalik 3 dan past koordinatsiyaga ega bo’ldi; bunday holatlar birinchi marta ≈4510 K da paydo bo’ldi va keyingi kadrlarda har safar qayta 3-koordinatsiyaga tiklandi (2-rasm, doira bilan belgilangan atomlar). Demak, ≈4500 K gacha grafen javobi to’liq elastik (bog’ uzilishisiz) termik g’adir-budurlik bilan izohlanadi; undan yuqorida esa kuzatilgan vaqtinchalik, o’zi tiklanadigan koordinatsiya pasayishlari doimiy defekt yoki yemirilishning emas, balki bog’ uzunligining kesim qiymatidan vaqtincha oshib ketishining natijasidir.

Xulosa qilib aytganda, 1 K/ps tezlikda 5000 K gacha qizdirishda grafen panjarasi topologik jihatdan deyarli to’liq yaxlit qoladi (600 atomdan 598–600 tasi doimiy 3-koordinatsiyada); qizdirishga asosiy javob bog’ uzilishi emas, balki termik to’lqinlanish va bog’ uzunligi tarqalishining kengayishi orqali namoyon bo’ladi, doimiy defekt nuklatsiyasi esa ≈4500 K dan yuqori haroratlarda boshlanishi mumkin.

ADABIYOTLAR

1. Stuart, S. J., Tutein, A. B., Harrison, J. A. *J. Chem. Phys.* 112 (2000): 6472–6486.
2. Fasolino, A., Los, J. H., Katsnelson, M. I. *Nature Materials* 6 (2007): 858–861.
3. Thompson, A. P., et al. *Comput. Phys. Commun.* 271 (2022): 108171.

VERTIKAL MoS_2/WSe_2 VAN DER VAALS GETEROSTRUKTURASIDA REZONANS TUNNELLANISH VA MANFIY DIFFERENSIAL QARSHILIKNING ANALITIK MODELI

M.G. Dadamirzayev, M.O. Kosimova*, A.K. Ganiyeva
Namangan davlat texnika universiteti, Namangan 160103, O'zbekiston

Annotatsiya. Ushbu tezisda n-turdagi MoS_2 va p-turdagi WSe_2 qatlamlaridan tashkil topgan vertikal van der Vaals geterostrukturasining tok-kuchlanish xarakteristikasini tavsiflovchi yagona analitik transport modeli ko'rib chiqiladi. Modelda umumiy tok termion emissiya, rezonans tunnellanish, trap holatlari orqali tunnellanish va Shockley-Read-Hall rekombinatsiyasi komponentlarining yig'indisi sifatida ifodalanadi. Rezonans transport Landauer-Büttiker formalizmi va Breit-Wigner tipidagi uzatish funksiyasi orqali, termion emissiya ikki o'lchamli Richardson modeli asosida, trap kanali esa WKB yaqinlashuvi bilan tavsiflanadi. Tashqi kuchlanish MoS_2 o'tkazuvchanlik zonasi va WSe_2 valent zonasidagi transport holatlarini moslashtirganda rezonans cho'qqisi hosil bo'ladi. Kuchlanish rezonans qiymatidan oshgach, energetik moslik buziladi va rezonans toki kamayadi; shu sababli tok-kuchlanish xarakteristikasida manfiy differensial qarshilik sohasi paydo bo'ladi. Rezonansdan keyingi minimal tok trap va rekombinatsion kanallar, yuqori kuchlanishdagi tokning qayta ortishi esa termion emissiya bilan izohlanadi. Model vertikal 2D qurilmalarda rezonans va norezonans transportning o'zaro raqobatini ajratib tahlil qilish imkonini beradi.

Kalit so'zlar: MoS_2/WSe_2, van der Vaals geterostruktura, rezonans tunnellanish, manfiy differensial qarshilik, Landauer-Büttiker formalizmi, trap holati, termion emissiya, SRH rekombinatsiyasi.

Ikki o'lchamli o'tish metallari dixalkogenidlari asosidagi van der Vaals geterostrukturalar atomar qalinlikdagi qatlamlarda zaryad tashuvchilar transportini boshqarish imkonini beradi. Qatlamlarning kuchsiz van der Vaals kuchlari bilan birikishi panjara mosligi talabini kamaytiradi va energetik xossalari turlicha bo'lgan materiallarni vertikal ravishda birlashtirishga imkon yaratadi [1]. MoS_2/WSe_2 juftligida II-turdagi zona moslashuvi elektron va kovaklarning turli qatlamlarda fazoviy ajralishini, qatlamlararo zaryad ko'chishini hamda tashqi kuchlanish yordamida energiya sathlarini boshqarishni ta'minlaydi [2].

Vertikal p-n geterostrukturalarda tok faqat bitta mexanizm bilan belgilanmaydi. Past va o'rta kuchlanishlarda qatlamlararo tunnellanish, yuqori kuchlanishlarda termion emissiya, geterochegaradagi nuqsonlarda esa trap-assisted tunnellanish hamda rekombinatsiya jarayonlari bir vaqtda mavjud bo'ladi [3]. Shu sababli rezonans cho'qqisi, undan keyingi NDR sohasi va yuqori kuchlanishdagi tokning qayta o'sishini yagona tenglama bilan tavsiflash qurilmaning haqiqiy transport tabiatini ochib berish uchun muhimdir.

Ko'rib chiqilayotgan qurilma metall/MoS_2/van der Vaals oraliq qatlam/WSe_2/metall ketma-ketligidan iborat deb olinadi. Muvozanatda qatlamlarning ish funksiyalari farqi geterochegarada ichki potensial to'siq hosil qiladi. Tashqi musbat kuchlanish qo'llanganda kvazi-Fermi sathlari ajraladi va ma'lum kuchlanishda MoS_2 o'tkazuvchanlik zonasidagi band holatlar WSe_2 valent zonasidagi bo'sh holatlar bilan moslashadi. Modelning umumiy toki quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$I_{total}(U,T,P) = I_{TE}(U,T) + I_{RT}(U,T,P) + I_{TAT}(U,T) + I_{SRH}(U,T) \quad (1)$$

Bu yerda I_{TE} termion emissiyani, I_{RT} rezonans tunnellanishni, I_{TAT} trap holatlari orqali tunnellanishni, I_{SRH} esa geterochegara holatlari vositasidagi Shockley-Read-Hall rekombinatsiyasini bildiradi. Rezonans tunnellanish uchun energiya va geterochegara tekisligiga parallel impulsning saqlanish shartlari bajarilishi talab etiladi. Energetik sathlar moslashganda uzatish ehtimoli keskin ortadi; moslashuv buzilganda esa ruxsat etilgan transport holatlari soni kamayadi [4].

$$\mathcal{T}_{RT}(E,T) = \frac{\gamma^2(T)}{[E-E_r(T)]^2+\gamma^2(T)} \quad (2)$$

Ushbu Lorentz tipidagi funksiya rezonans holatning chekli yashash vaqti sababli hosil bo‘ladigan spektral kenglikni ifodalaydi. Kompakt hisoblashda rezonans toki samarali cho‘qqi amplitudasi, kuchlanish bilan ochilish funksiyasi, NDR ko‘paytiruvchisi va yuqoridagi transmissiya funksiyasining ko‘paytmasi sifatida qaraladi. Trap kanali elektr maydoni kuchayishi bilan to‘siqning torayishini hisobga oluvchi WKB faktori bilan tavsiflanadi. Rekombinatsion komponent uchun esa ikki o‘lchamli SRH yaqinlashuvi qo‘llanadi. VAXning differensial xossasi $G = \frac{dI_{total}}{dU}$ orqali aniqlanadi; $G < 0$ bo‘lgan oraliq NDR sohasi hisoblanadi.

Modelda rezonans kanali cho‘qqi atrofida ustun bo‘lishi, trap va SRH kanallari rezonansdan keyingi fon tokni ta’minlashi, termion emissiya esa yuqori kuchlanishda tez ortishi shart qilib qo‘yiladi. Bunday ajratish fizik mexanizmlarni bir-biriga qo‘shib yubormasdan, har bir kuchlanish oralig‘idagi ustun kanalni aniqlash imkonini beradi.

Kogerent rezonans transportning umumiy ko‘rinishi Landauer-Büttiker tenglamasi bilan beriladi. Bu tenglama tokni ruxsat etilgan transport kanallari soni, uzatish ehtimoli va qatlamlardagi Fermi-Dirak taqsimotlari farqi orqali aniqlaydi:

$$I_{RT}(U,T) = \frac{q}{h}\int M(E,U)\mathcal{T}_{RT}(E,U,T)[f_n(E,T) - f_p(E,T)]dE \quad (3)$$

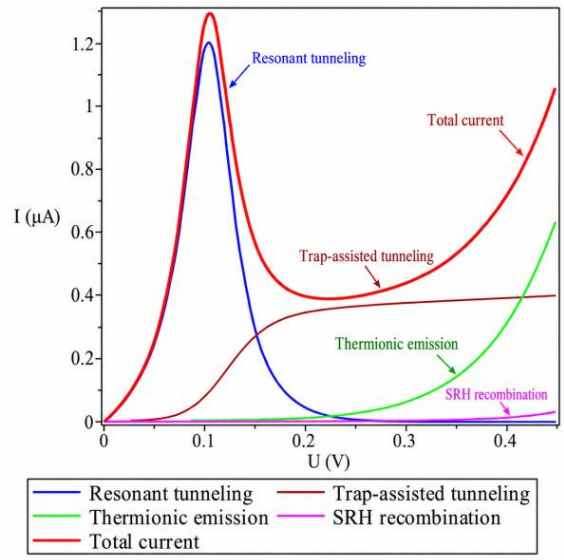
Ikki o‘lchamli qatlamlarda holatlar zichligi energiyaga nisbatan deyarli doimiy bo‘lgani sababli transport kanallari soni M(E,U) samarali parametr sifatida modelga singdiriladi. Termik faollashgan tashuvchilar uchun 2D Richardson qonuniga asoslangan komponent esa

$$I_{TE}(U,T) = A_{2D}T^{3/2}exp(-\frac{\phi_B}{k_BT})[exp(\frac{qU}{n_{TE}k_BT}) - 1] \quad (4)$$

ko‘rinishda yoziladi. Geterochegaradagi traplar uchun elektr maydoni ortishi WKB eksponentasini kamaytiradi va TAT kanalini kuchaytiradi; soddalashtirilgan holda $I_{tat} = I_{tat,0}\, M_{ph}(T)\, A_0(U)\, S_{tat}(U)\, \exp[-\frac{B_{TAT}}{F_{TAT}(U)}]$deb olinadi. SRH rekombinatsiya toki esa oldinga kuchlanishda ortuvchi fon komponent bo‘lib, rezonans vodiysidagi minimal tokni nolga tushirmaslikka yordam beradi. Shu tarzda model nafaqat cho‘qqini, balki VAXning butun kuchlanish oralig‘ini qamrab oladi.

Natijada, $T = 300\ K$ sharoitida tok komponentlariga ajratilgan hisoblashlar rezonans cho‘qqisi yaqinida I_{RT} umumiy tokning asosiy qismini tashkil qilishini ko‘rsatadi. Energetik moslik kuchlanish ortishi bilan yaxshilanib, $U \approx 0.10 - 0.11\ V$ atrofida rezonans tunnellanish toki maksimumga yetadi. Bu oraliqda termion emissiya, trap va SRH komponentlari kichik bo‘lib, umumiy VAXning cho‘qqisi bevosita rezonans kanal bilan belgilanadi.

Rezonans kuchlanishidan keyin MoS_2 va WSe_2 qatlamlaridagi transport holatlarining energetik ustma-ust tushishi kamayadi. Natijada I_{RT} keskin susayadi va kuchlanish ortishiga qaramay umumiy tok kamayadi. Aynan shu jarayon NDRning fizik manbai hisoblanadi. Rezonans tunnellanishning kamayishi fonida I_{TAT} noldan farqli bo‘lib qoladi va minimal tokni shakllantiradi; I_{SRH} esa kichikroq, ammo barqaror rekombinatsion hissa beradi. Tok komponentlarining kuchlanish bo‘yicha taqsimoti 1-rasmda ko‘rsatilgan.



1-rasm. T=300 K da rezonans tunnellanish, termion emissiya, trap orqali tunnellanish va SRH rekombinatsiya toklarining kuchlanishga bog‘liqligi.

Yuqori kuchlanishlarda termik faollashgan tashuvchilarning potensial to‘siqdan o‘tish ehtimoli ortadi. Shuning uchun I_{TE} tez ko‘payib, taxminan , $U \approx 0.25 - 0.30\ V$ dan keyin umumiy tokning qayta o‘sishiga sezilarli hissa qo‘shadi. Demak, VAXning shakli ketma-ket uch bosqich bilan izohlanadi: rezonansgacha tokning ortishi, rezonansdan keyin NDR orqali kamayish va yuqori kuchlanishda norezonans kanallar hisobiga qayta ko‘tarilish. Taklif etilgan yondashuvning ilmiy ahamiyati shundaki, NDR faqat bitta ideal rezonans funksiyasi sifatida emas, balki rezonans va norezonans kanallar o‘rtasidagi kuchlanishga bog‘liq raqobat natijasi sifatida qaraladi.

Shu sababli model real qurilmalarda minimal tokning nolga tushmasligi, nuqsonlar ta’siri va yuqori kuchlanishdagi tokning cheklanishini ham tushuntira oladi.

Bu xususiyatlar 2D tunnel diodlarining ish rejimlarini tanlash va NDR parametrlarini optimallashtirish uchun muhimdir.

Xulosa

Vertikal MoS_2/WSe_2 van der Vaals geterostrukturasi uchun termion emissiya, rezonans tunnellanish, trap holatlari orqali tunnellanish va SRH rekombinatsiyasini birlashtiruvchi analitik model ko‘rib chiqildi. Rezonans cho‘qqisi energetik sathlarning moslashuvi bilan, NDR sohasi esa ushbu moslikning buzilishi bilan bog‘lanadi. Minimal tokka asosan TAT va SRH kanallari, yuqori kuchlanishdagi tokning qayta ortishiga esa termion emissiya sabab bo‘ladi. Natijalar vertikal 2D qurilmalarda transport mexanizmlarini alohida ajratish NDRning fizik mohiyatini aniqroq ochishini ko‘rsatadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

[1] Xiao Y., Qu J., Luo Z. et al. Van der Waals epitaxial growth and optoelectronics of a vertical MoS_2/WSe_2 p-n junction. Frontiers of Optoelectronics, 15 (2022) 41.

[2] Jeon H.B., Shin G.H., Lee K.J., Choi S.-Y. Vertical-tunneling field-effect transistor based on WSe_2-MoS_2 heterostructure with ion gel dielectric. Advanced Electronic Materials, 6 (2020) 2000091.

[3] Dhara S., Jawa H., Ghosh S. et al. All-electrical high-sensitivity, low-power dual-mode gas sensing and recovery with a WSe_2/MoS_2 p-n heterodiode. ACS Applied Materials & Interfaces, 13 (2021) 30785-30796.

[4] Takeyama K., Moriya R., Okazaki S. et al. Resonant tunneling due to van der Waals quantum-well states of few-layer WSe_2 in WSe_2/h-BN/p^+-MoS_2 junction. Nano Letters, 21 (2021) 3929-3934.

[5] Kim J.H., Sarkar S., Wang Y. et al. Room temperature negative differential resistance with high peak current in MoS_2/WSe_2 heterostructures. Nano Letters, 24 (2024) 2561-2566.

[6] Hashemi R., Shojaei S. Low bias negative differential resistance in WSe_2/MoS_2 planar superlattice diodes. Scientific Reports, 15 (2025) 43764.

[7] Hurkx G.A.M., Klaassen D.B.M., Knuvers M.P.G. A new recombination model for device simulation including tunneling. IEEE Transactions on Electron Devices, 39 (1992) 331-338.

[8] Shockley W., Read W.T. Statistics of the recombinations of holes and electrons. Physical Review, 87 (1952) 835-842.

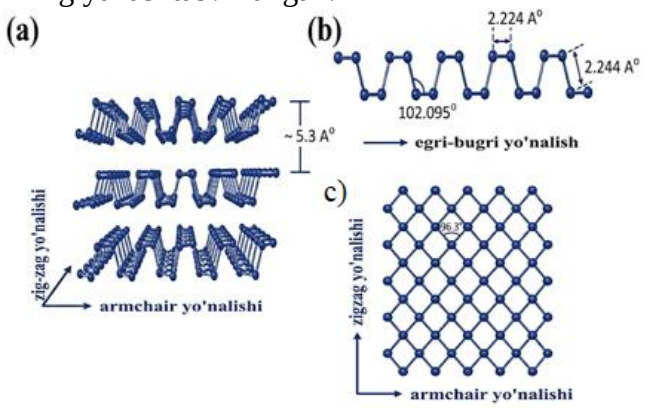
QORA FOSFORIN SIRTIDA Ar^+ IONLARINING KICHIK BURCHAKLI SOCHILISHI: MIKRO VA NANOELEKTRONIKA UCHUN SIRTNI BOSHQARISH IMKONIYATLARI

O.A.Sattarova[1] , U.O. Kutliyev[2]
[1]Urganch davlat tibbiyot instituti, Urganch shahri ,O‘zbekiston.
[2]Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat unversiteti, Urganch shahri, O‘zbekiston
e-mail: sattarovaanaxon@gmail.com

Jahonda ikki o‘lchamli (2D) nanomateriallar, nanoelektronika, optoelektronika hamda yuqori sezgir sensor qurilmalarini yaratishda qo‘llaniladigan yangi avlod yarimo‘tkazgich materiallarining fizik va texnologik xossalarini tadqiq etishga katta e’tibor qaratilmoqda. Ayniqsa, fosforinning allotrop shakllari hisoblangan qora va ko‘k fosforin o‘zining noyob elektron tuzilishi, yuqori zaryad tashuvchanligi hamda boshqariluvchi energetik zonalari tufayli istiqbolli nanomateriallar qatoridan o‘rin olgan. Hozirgi kunda nanoelektronika va fotonika qurilmalarining funksional imkoniyatlarini kengaytirish maqsadida qora va ko‘k fosforinning kristall tuzilishi, elektron xossalari, tashqi muhit ta’siriga barqarorligi hamda atom-molekulyar darajadagi o‘zaro ta’sir mexanizmlarini chuqur o‘rganish muhim ilmiy vazifalardan biri hisoblanadi. Xususan, ushbu materiallarning elektr maydonlari, harorat, bosim va elektromagnit nurlanishlar ta’sirida yuz beradigan strukturaviy hamda elektron o‘zgarishlarini tadqiq qilish ularning amaliy qo‘llanilish samaradorligini oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi. Shu sababli qora va ko‘k fosforinning fizik xossalari, elektron energetik spektrlari, kristall tuzilishining o‘ziga xos jihatlari hamda nanoqurilmalardagi qo‘llanish imkoniyatlarini o‘rganish dunyoning yetakchi ilmiy markazlari va nufuzli oliy ta’lim muassasalarida dolzarb ilmiy yo‘nalishlardan biri sifatida e’tirof etilmoqda.

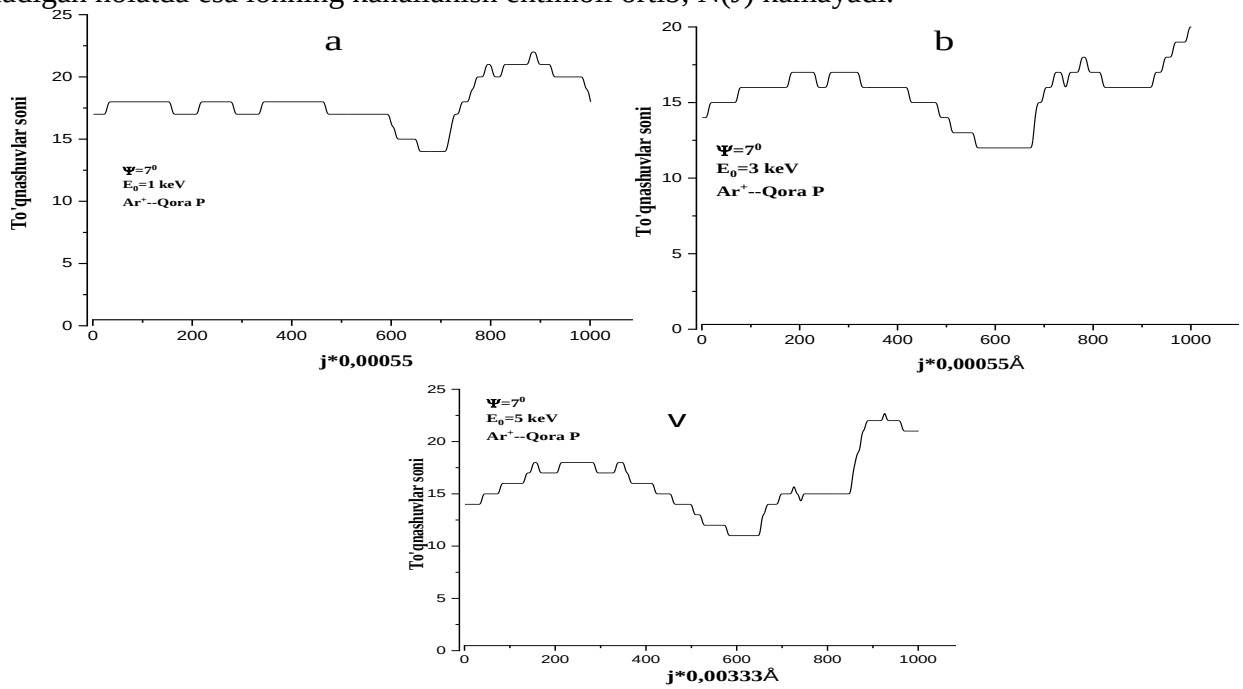
So‘nggi ko‘plab mualliflar qora fosforinning kristall strukturasini chuqur o‘rganib chiqqanlar. Ularning ilmiy ishlariga ko‘ra, qora fosforin qatlamli tuzilishga ega bo‘lib, har bir qatlam zigzag ko‘rishdagi zanjirlardan tashkil topgan. Bu qatlamlarda fosforin atomlari darajasi bog'lanish o‘rtacha 2,18 Å ni, bog'lanish joyi esa 99° ni tashkil etadi. Qatlamlarning bir-biriga bog'lanishi asosan kuchsiz van der Vaals kuchlari orqali amalga oshadi va ular shakllari orasidagi masofa taxminan 5,3 Å ni tashkil etadi [1]. Grafit va grafen kabining qatlamlari tekis tekis bo‘lsa, qora fosforin qatlamlari ma'lum darajada to‘lqinsimon shaklga ega. Aynan shu noyob geometrik tuzilish qora fosforinning xossalarini belgilovchi muhim fizikdan biridir. Qora fosforinning bunday struktura ishlab chiqarish u boshqa o‘lchamli materiallardan xossa elektron va mexanikalarga ega bo‘ladi. [2;3]. 1 a-rasmda qora fosforin kristall tuzilishlarining sxematik tasviri taqqoslash uchun keltirilgan. Bu natija materialning yuqori darajada tartibli ortorombik panjaraga ega ekanligini tasdiqlaydi.(rasm.1 b) Qora fosforinning qatlamli kristall tuzilishi ko‘rsatilgan bo‘lib, unda yonma-yon joylashgan bukilgan varaqsimon qatlamlar bir-biriga kovalent bog’langan fosforin atomlaridan tashkil topgan. Qatlamlar orasidagi masofa taxminan 5,3 Å ga teng bo‘lib, ular kuchsiz van der Vaals

kuchlari yordamida o‘zaro birikkan.(rasm.1 c) Chap tomonda atom-kuch mikroskopiyasi (AFM) yordamida olingan qora fosforin kristallarining yuzasi tasvirlangan.



Rasm. **1** . Qora fosforin kristall tuzilishining sxematik tasviri.

Biz olib borayotgan tadqiqot ishimizda qora fosforin sirtini kichik burchaklarda bombardimon qilayotgan Ar^+ ionlarining qora fosforin sirtidagi yarim kanal atomlari bilan to‘qnashuvlar sonini ionlarning mo‘ljal nuqtasiga bog’likligini N(J) o’rganib chiqdik. Tadqiqotda Ar^+ ionlarining qora fosforin sirtiga kichik burchak ostida bombardimon qilinishi ketma-ket to‘qnashuvlar usuli asosida qaraladi. Hisoblashlarda boshlang‘ich ion energiyasi E_0=1,3,5 keV, tushish burchagi esa $\psi \approx 7°$ deb olingan. Ion harakatining har bir bosqichida uning fosfor atomlari bilan o‘zaro ta’siri va ketma-ket to‘qnashuvlari hisobga olinadi. Asosiy kuzatiladigan kattalik — N(J), ya’ni boshlang‘ich nishon koordinatasi J ga mos keluvchi ion trayektoriyasidagi to‘qnashuvlar sonidir. Kichik ψ burchakda ionning sirt bo‘ylab harakatlanish masofasi ortadi. Shu sababli ion birgina atom bilan emas, balki sirtning bir nechta atom qatorlari bilan ketma-ket o‘zaro ta’sirlashishi mumkin. Agar boshlang‘ich J koordinatasi atom qatoriga yaqin bo‘lsa, yadroviy itarilish tufayli to‘qnashuvlar soni ortishi mumkin; atom qatorlari oralig‘iga mos keladigan holatda esa ionning kanallanish ehtimoli ortib, N(J) kamayadi.



Rasm 2. Boshlang’ich energiyasi E_0=1,3,5 keV bo‘lgan Ar^+ ionlari bilan qora fosforinni sirtini ψ= 7° burchak ostida bombardimon qilinganda ionlarning to‘qnashuvlar sonini mo‘ljal nuqtasi ga bog’liqligi keltirilgan.

(Rasm1a) boshlang’ich energiyasi E_0=1 keV bo’lganda sirtdagi ikkita atom qatori bilan ionlarning to‘qnashuvlar soni o‘zgarishsiz qolishiga sabab, ular keng sirt atom qatoridek joyni egallagandek o‘zini tutadi. Yarim kanalda esa to’qnashuvlar soni kamaygan, yarim kanal tubida ionni atomlar bilan to’qnashuvi o’zgarmaganni kuzatdik. Natijada N(J) qiymatlari taxminan 14–21 oralig‘ida o‘zgaradi. Egri chiziqning tekis va keskin o‘zgaruvchi qismlari ionning qora fosforin sirtidagi turli atomar yo‘llardan o‘tishini bildiradi. J o‘zgarganda ionning boshlang‘ich holati sirt atom qatorlariga nisbatan siljiydi. Shuning uchun ayrim J qiymatlarida ion atomlarga yaqinlashib, ketma-ket to‘qnashuvlar sonini oshiradi, boshqa qiymatlarda esa atom qatorlari orasidagi ochiqroq yo‘nalishdan o‘tib, kamroq to‘qnashadi.

E_0=3 keV bo‘lganda(rasm 2b) eng katta to‘qnashuvlar yuqorida keltirilganlariga qo‘shimcha ravishda yarim kanal tubiga yaqin sohada ham kuzatilgan va u ionlarning qo‘shni kanallarga o‘tgani uchun hosil bo‘lgan va davriy bo‘lmagan, ammo aniq lokal maksimum va minimumlarga ega o‘zgarishi kuzatiladi. Taxminan J=550–700 oralig‘idagi pasayish ionning kanallanishga yaqin trayektoriya bo‘ylab harakatlanganini ko‘rsatishi mumkin. Keyingi J oralig‘ida to‘qnashuvlar sonining ortishi ionning kanal devori yoki navbatdagi sirt atom qatoriga yaqinlashishi bilan bog‘lanadi. Demak, boshlang‘ich energiyaning oshirilishi to‘qnashuvlar sonini oddiy ravishda uch baravar oshirmaydi; natija ion energiyasi bilan birga uning sirt geometriyasiga nisbatan trayektoriyasi va kanallanish sharoitlariga ham bog‘liq.

E_0=5 keV bo‘lganda esa(rasm 2v) ajralib tutgan uchta cho‘qqini tushuntiradigan bo‘lsak, birinchi cho‘qqi sirtdagi ikkita atom qatorlari bilan va ular orasida kichik masofaga kirgan holat uchun to‘qnashgan ionlarga tegishli. Olingan natijalar “Mikro va nanoelektronikada yangi texnologiyalar va materiallar” yo‘nalishi bilan bevosita bog‘liq, chunki qora fosforin atomar yupqa yarimo‘tkazgich sifatida sirt va interfeys xossalariga sezgir materialdir. Adabiyotlarda qora fosforning elektron va optoelektron qurilmalardagi imkoniyatlari, shuningdek sirtni modifikatsiyalash va passivatsiya qilish orqali uning funksional xossalarini boshqarish masalalari keng o‘rganilgan.

Ion nuridan foydalanish esa sirtni lokal ravishda modifikatsiyalash, nuqsonlar hosil qilish yoki sirtning atomar holatini diagnostika qilish uchun boshqariladigan vosita bo‘lishi mumkin. Bunda ion energiyasi, tushish burchagi va boshlang‘ich koordinatasini tanlash orqali sirt bilan o‘zaro ta’sirning xarakterini o‘zgartirish mumkin. Shu nuqtai nazardan N(J) kabi parametrlarning o‘rganilishi nanoo‘lchamdagi sirt jarayonlarini tushunish va kelajakdagi ion-nurli texnologik jarayonlarni optimallashtirish uchun fizik asos yaratadi.

Ayniqsa, qora fosforinning anizotrop va puckered atom tuzilishi ionlarning kichik burchakli harakatida yo‘nalishga bog‘liq sochilish va kanallanish effektlarini yuzaga chiqaradi. Bu xususiyatdan sirtning strukturaviy holatini aniqlashda, mikro/nanoelektron elementlar uchun sirtni nazorat qilishda hamda ion nurlari yordamida funksional qatlamlar hosil qilish jarayonlarini modellashtirishda foydalanish mumkin. Mazkur natijalar qora fosforin kabi 2D materiallarning sirt jarayonlarini atomar darajada tushunish va mikro hamda nanoelektronika uchun ion-nurli diagnostika va modifikatsiya texnologiyalarini ilmiy asoslashga xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Hu Z., Niu T., Guo R., Zhang J., Lai M., He J., Wang L., Chen W. Two-dimensional black phosphorus: its fabrication, functionalization and applications. Nanoscale, 2018, 10, 21575–21603.

2. Yi Y. et al. Two-dimensional black phosphorus: Synthesis, modification, properties, and applications. Materials Science and Engineering: R, 2017, 120, 1–33.

3. Sultana N., Degg A., Upadhyaya S., Nilges T., Sen Sarma N. Synthesis, modification, and application of black phosphorus, few-layer black phosphorus, and phosphorene. Materials Advances, 2022, 3, 5557–5574.

4. Mu H., Yu W., Yuan J., Lin S., Zhang G. Interface and surface engineering of black phosphorus: a review for optoelectronic and photonic applications. Materials Futures, 2022, 1, 012301.

5. Ziegler J.F., Biersack J.P., Littmark U. The Stopping and Range of Ions in Solids. Pergamon Press, New York, 1985.

MAHALLIY GOMOPOLIPROPILEN ASOSIDA NANOMODIFIKATSIYALANGAN ISSIQLIKBARDOSH POLIMER KOMPOZIT MATERIALLAR YARATISH

Odilov Ulug‘bek Alisher o‘g‘li
Andijon davlat texnika instituti “Materialshunoslik va kimyo muhandisligi” kafedrasi mustaqil tadqiqotchisi, O‘zbekiston
primeking1994@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur tezisda mahalliy gomopolipropilen (GPP) asosida nanoo‘lchamli to‘ldiruvchilar bilan modifikatsiyalangan, issiqlikbardosh va yuqori ekspluatatsion xossalarga ega polimer kompozit materiallar olish texnologiyasining ilmiy asoslari ko‘rib chiqilgan. Gomopolipropilenning fizik-mexanik va termik xususiyatlarini yaxshilashda nanomodifikatsiyaning imkoniyatlari tahlil qilingan. Polimer matritsasiga nanoo‘lchamli to‘ldiruvchilarni kiritish natijasida polimer–to‘ldiruvchi chegarasidagi o‘zaro ta’sir, kristallanish jarayoni, issiqlik ta’sirida deformatsiyalanish va mexanik mustahkamlikning o‘zgarish mexanizmlari yoritilgan.

Kalit so‘zlar: gomopolipropilen, nanokompozit, nanomodifikatsiya, issiqlikbardoshlik, nanoo‘lchamli to‘ldiruvchi, termik barqarorlik, kristallanish.

Bugungi kunda polimer kompozit materiallardan mashinasozlik, avtomobilsozlik, elektrotexnika, elektronika, qurilish va boshqa texnika sohalarida keng foydalanilmoqda. Bunday materiallarning asosiy afzalliklari ularning kichik zichligi, korroziyaga chidamliligi, texnologik jihatdan qayta ishlash qulayligi hamda ayrim hollarda an’anaviy metall materiallarni almashtirish imkoniyatiga egaligidir. Ayniqsa, poliolefinlar guruhiga mansub polipropilen o‘zining yuqori kimyoviy barqarorligi, nisbatan yuqori solishtirma mustahkamligi va iqtisodiy samaradorligi bilan sanoatda muhim o‘rin egallaydi [1]. Gomopolipropilen (GPP) propilen monomerining polimerlanishi natijasida olinadigan termoplastik polimer bo‘lib, uning tuzilishi va kristallanish darajasi mexanik hamda termik xususiyatlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Shu bilan birga, sof polipropilenning yuqori harorat sharoitida qattiqligi va o‘lchamlarining barqarorligi kamayishi mumkin. Bu holat undan yuqori harorat ta’sirida ishlaydigan konstruktiv detallar tayyorlashda foydalanishni ma’lum darajada cheklaydi. Shu sababli polipropilenning termik, mexanik va ekspluatatsion xususiyatlarini yaxshilash zamonaviy materialshunoslikning dolzarb yo‘nalishlaridan biridir [2].

Polimer xossalarini yaxshilashning samarali usullaridan biri nanoo‘lchamli to‘ldiruvchilar yordamida nanomodifikatsiyalash hisoblanadi. Nanozarrachalarning juda katta solishtirma sirt maydoni polimer matritsasi bilan sezilarli darajada interfaol ta’sir hosil qilish imkonini beradi. Natijada kompozitning mexanik mustahkamligi, qattiqligi, termik barqarorligi va deformatsiyaga chidamliligi oshishi mumkin [3]. Tadqiqotning asosiy maqsadi mahalliy gomopolipropilen asosida nanoo‘lchamli to‘ldiruvchilar bilan modifikatsiyalangan issiqlikbardosh polimer kompozit materiallar olish texnologiyasini ilmiy asoslashdan iborat.

Mazkur maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar belgilandi:

- mahalliy gomopolipropilenning asosiy fizik-mexanik va termik xususiyatlarini tahlil qilish;
- GPP matritsasi uchun mos nanoo‘lchamli to‘ldiruvchilarni tanlash;
- nanoqo‘shimchaning miqdori va disperslanish darajasining kompozit xossalariga ta’sirini aniqlash;
- polimer va nanoo‘lchamli to‘ldiruvchini samarali aralashtirish sharoitlarini asoslash;
- ekstruziya jarayonining asosiy texnologik parametrlarini tanlash;
- olingan kompozitning termik va mexanik xususiyatlarini baholash;
- kompozit material olishning texnologik sxemasini ishlab chiqish.

Tadqiqotning asosiy materiali sifatida mahalliy gomopolipropilen tanlanadi. Modifikator sifatida nanoo‘lchamli mineral yoki uglerod asosidagi to‘ldiruvchilardan foydalanish mumkin. To‘ldiruvchini tanlashda uning zarracha o‘lchami, termik barqarorligi, sirt xususiyatlari, GPP bilan o‘zaro ta’siri va polimer matritsasida bir tekis disperslanish qobiliyati asosiy mezon sifatida qaraladi. Kompozit olish jarayoni bir necha asosiy bosqichlardan tashkil topadi. Dastlab GPP va nanoo‘lchamli to‘ldiruvchi namlik va mexanik aralashmalardan tozalanadi hamda zarur hollarda quritiladi. Keyingi bosqichda komponentlar belgilangan nisbatlarda dozalab olinadi va dastlabki quruq aralashtirish amalga oshiriladi. Shundan so‘ng aralashma ekstruderga uzatiladi.

Ikki vintli ekstruder yordamida polimer eritmasi va nanozarrachalarning intensiv aralashtirilishi natijasida kompozitning bir jinsli strukturasi shakllantiriladi. Ekstruziya jarayonida harorat, vintlarning aylanish tezligi, materialning qurilmada bo‘lish vaqti va aralashtirish intensivligi kabi parametrlarni nazorat qilish muhim hisoblanadi. Juda yuqori harorat yoki materialning ekstruderda uzoq vaqt qolishi polimerning termik-oksidlanish degradatsiyasiga olib kelishi mumkin. Aksincha, yetarli bo‘lmagan aralashtirish nanozarrachalarning aglomeratsiyasini kuchaytirib, kompozit xossalarining bir xilda shakllanishiga to‘sqinlik qiladi.

Ekstruziyadan so‘ng hosil bo‘lgan kompozit sovitiladi va granulyatsiya qilinadi. Olingan granulalar presslash yoki inyeksion shakllantirish orqali sinov namunalari ko‘rinishiga keltiriladi.

Kompozitning strukturaviy va ekspluatatsion xususiyatlarini baholash uchun zamonaviy instrumental usullardan foydalanish maqsadga muvofiq. Jumladan, skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM) nanozarrachalarning polimer matritsasida taqsimlanishini o‘rganish imkonini beradi. Rentgen difraksiyasi (XRD) orqali kristallik strukturadagi o‘zgarishlar aniqlanadi. Differensial skanerlovchi kalorimetriya (DSC) polimerning erish va kristallanish jarayonlarini baholashda, termogravimetrik tahlil (TGA) esa termik parchalanish va barqarorlikni aniqlashda qo‘llaniladi. Mexanik xususiyatlarni baholash uchun cho‘zilishdagi mustahkamlik, nisbiy uzayish, elastiklik moduli va zarbiy mustahkamlik kabi ko‘rsatkichlarni aniqlash mumkin.

Polimer nanokompozitlarining xususiyatlari ko‘p jihatdan “polimer–nanozarrachalar” chegarasidagi o‘zaro ta’sirga bog‘liq. Nanozarrachalarning o‘lchami kamayishi bilan ularning solishtirma sirt maydoni ortadi. Bu esa polimer zanjirlari bilan o‘zaro ta’sir qiluvchi sirt maydonining oshishiga olib keladi [3, 4].

Nanoo‘lchamli to‘ldiruvchilar GPP matritsasida yaxshi disperslanganda ular polimer zanjirlarining harakatchanligini qisman cheklashi mumkin. Natijada materialning deformatsiyaga chidamliligi va yuqori harorat sharoitidagi o‘lcham barqarorligi yaxshilanishi ehtimoli ortadi. Ayrim nanozarrachalar polipropilenning kristallanish jarayonida nukleatsiya markazlari sifatida ham ishtirok etishi mumkin. Bu holat kristallanish kinetikasining o‘zgarishiga va kompozitning mexanik xususiyatlari yaxshilanishiga olib kelishi mumkin [4, 5].

Shu bilan birga, nanoqo‘shimchaning miqdori ortishi har doim ham kompozit xossalarining yaxshilanishiga olib kelmaydi. Nanozarrachalar o‘zaro birikib, aglomeratlar hosil qilsa, kompozit strukturasi bir jinsli bo‘lmay qoladi. Bunday aglomeratlar mexanik kuchlanishlarning konsentratsiyalanish markaziga aylanishi va materialning mustahkamligini pasaytirishi mumkin. Shu sababli optimal nanoqo‘shimcha konsentratsiyasini tajriba asosida aniqlash muhim ilmiy vazifa hisoblanadi.

Texnologiyaning muhim bosqichi nanozarrachalarni GPP matritsasida bir tekis taqsimlashdir. Bunda ikki vintli ekstruderning aralashtirish zonalari va vint konfiguratsiyasi muhim ahamiyatga ega. Ekstruziya harorati GPP ning qayta ishlash harorati va nanoqo‘shimchaning termik barqarorligini hisobga olgan holda belgilanadi. Kompozitning issiqlikbardoshligini oshirish uchun faqat nanoqo‘shimcha miqdorini oshirish emas, balki polimer–to‘ldiruvchi chegarasida samarali bog‘lanish va optimal dispersiyani ta’minlash talab etiladi. Shu nuqtayi nazardan, texnologik parametrlarni optimallashtirish kompozitning yakuniy xususiyatlarini belgilovchi asosiy omillardan biri hisoblanadi.

Ilmiy adabiyotlar tahlili asosida GPP ni nanoo‘lchamli to‘ldiruvchilar bilan modifikatsiyalash natijasida uning termik va mexanik xususiyatlarini yaxshilash imkoniyati mavjudligi ko‘rsatiladi. Optimal tarkib va texnologik rejim tanlanganda kompozitning qattiqligi, deformatsiyaga chidamliligi va yuqori haroratdagi o‘lcham barqarorligi oshishi kutiladi. Nanozarrachalarning kristallanish jarayoniga ta’siri natijasida GPP ning strukturaviy xususiyatlari ham o‘zgarishi mumkin. Bunday o‘zgarishlar DSC va XRD tahlillari orqali aniqlanishi mumkin. TGA yordamida esa nanomodifikatsiyaning kompozitning termik parchalanish jarayoniga ta’siri baholanadi. Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati mahalliy xomashyo asosida yuqori ekspluatatsion xususiyatlarga ega polimer kompozit materiallarni olish imkoniyati bilan belgilanadi. Mazkur materiallardan avtomobilsozlikda issiqlik ta’siriga uchraydigan konstruktiv detallar, elektrotexnika va elektronika elementlari, maishiy texnika qismlari hamda boshqa texnik buyumlar ishlab chiqarishda foydalanish istiqbollari mavjud.

Mahalliy gomopolipropilen asosida nanomodifikatsiyalangan issiqlikbardosh polimer kompozit materiallar yaratish texnologiyasi polimer materiallarning ekspluatatsion xususiyatlarini yaxshilashning istiqbolli yo‘nalishlaridan biridir. Nanoo‘lchamli to‘ldiruvchilarning GPP matritsasida samarali disperslanishi polimer–to‘ldiruvchi chegarasidagi o‘zaro ta’sirni kuchaytirib, materialning termik va mexanik xususiyatlarini yaxshilashi mumkin. Kompozit olishda nanoqo‘shimchaning turi va konsentratsiyasi, zarrachalarning disperslanish darajasi hamda ekstruziya parametrlarini optimal tanlash muhim ahamiyatga ega. Kompozitning “tarkib–tuzilish–xossa” bog‘liqligini SEM, XRD, DSC, TGA va mexanik sinovlar yordamida kompleks o‘rganish optimal tarkib va texnologik rejimni aniqlash imkonini beradi.

Shunday qilib, mahalliy gomopolipropilen asosida nanomodifikatsiyalangan issiqlikbardosh kompozitlar olish nafaqat materiallarning funksional xususiyatlarini yaxshilash, balki mahalliy xomashyodan samarali foydalanish, import o‘rnini bosuvchi materiallar ishlab chiqarish va polimer kompozitlar texnologiyasini rivojlantirish nuqtayi nazaridan ham muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Karger-Kocsis J., Bárány T. *Polypropylene Handbook: Morphology, Blends and Composites*. Springer, 2019.
2. Paul D.R., Robeson L.M. Polymer nanotechnology: Nanocomposites. *Polymer*, 2008, Vol. 49, No. 15, pp. 3187–3204.
3. Ray S.S., Okamoto M. Polymer/layered silicate nanocomposites: a review from preparation to processing. *Progress in Polymer Science*, 2003, Vol. 28, pp. 1539–1641.
4. Alexandre M., Dubois P. Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 2000, Vol. 28, pp. 1–63.
5. Jordan J., Jacob K.I., Tannenbaum R., Sharaf M.A., Jasiuk I. Experimental trends in polymer nanocomposites—a review. *Materials Science and Engineering: A*, 2005, Vol. 393, pp. 1–11.

KREMNIY DIOKSIDI NANOZARRALARI ASOSIDAGI NANOSUYUQLIKLARNING SEDIMENTATSIYASI

Payzillayev A’zam, Allayev Baxtiyor, Mirzayev Sirojiddin.

Nanosuyuqliklarni tayyorlash nanosuyuqliklar bilan bog‘liq eksperimental tadqiqotlarning birinchi asosiy bosqichidir. Suyuqlikdagi nanozarralardan iborat agregatlarni teng hajmlarda suyuqlik hajmida dispersiyalab barqaror nanosuyuqlik hosil qilish uchun, nanozarrachalarning aglomeratsiyasi, suyuqlikning kimyoviy o‘zgarishi va boshqa jarayonlarni hisobga olishimiz kerak. Bizgacha bo‘lgan tadqiqot usullarida asos suyuqlikdagi nanozarralardan iborat agregatlarni ultratovushli parchalash va unga sirt faol moddalarni qo‘shish orqali turli nanosuyuqliklarning barqarorligini oshirish uchun ko‘plab yondashuvlarni qo‘llagan [1].

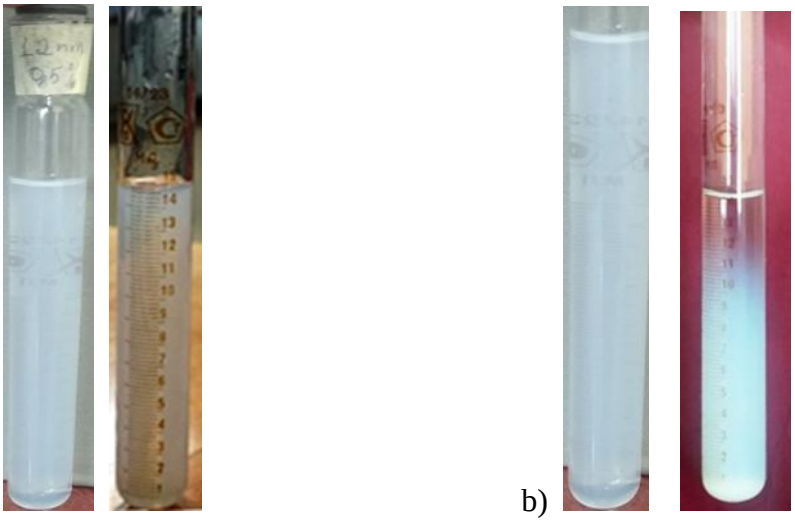
Ikki bosqichli ultratovushli dispergatsiya usuli nanosuyuqliklarning barqarorlik vaqtini oshirishi isbotlangan bo‘lsada, adabiyotlarda standart dispergatsiya vaqti mavjud emas. Dispergatsiya vaqti har xil turdagi nanosuyuqliklarga har xil ta’sir ko‘rsatishi mumkin. A. Afzal va boshqalarga ko‘ra [2], dispergatsiya vaqti har bir nanosuyuqlik uchun farq qiladi. Optimal dispergatsiya vaqtini aniqlash uchun bir nechta omillarni hisobga olish kerak, jumladan, dispergatsiya moslamasining turi, quvvati, chastotasi, nanosuyuqliklardagi nanozarrachalar konsentratsiyalari va asosiy suyuqliklar [3].

Texnologiyaning rivojlanishi tadqiqotchilarga nanosuyuqliklarning barqarorligini turli usullar orqali baholash imkonini berdi. Barqarorlik, issiqlik-fizikaviy xossalariga ta’sir o‘tkazishi mumkinligi sababli, turli metodlarni qo‘llagan holda baholanishi lozim [4, 5]. Adabiyotlarda tadqiqotchilar tomonidan foydalaniladigan keng tarqalgan usullarga vizual kuzatish (sedimentatsiya), o‘tuvchi elektron mikroskopiyasi (TEM), skanlovchi elektron mikroskopiyasi (SEM) va maydonli-emissiya skanlovchi elektron mikroskopi (FESEM), zeta potentsial tahlili va boshqa usullar yordamida barqarorligi baholangan. Ushbu ishda nanosuyuqliklarning sedmentatsiya usuli yordamida barqarorligini baholashning eksperimental tadqiqot natijalari keltirilgan va olingan ma’lumotlar tahlil qilingan

Asos suyuqlik sifatida deionlangan suv va amorf gidrofil kremniy dioksidi nanozarrachalari tanlangan. Kremniy dioksidi nanozarrachalarining o‘rtacha chiziqli o‘lchami 16 nm, 40 nm tanlangan. Nanozarrachalar “Evonik” kompaniyasi tomonidan sintez qilingan.

Tadqiqotda nanosuyuqliklarni tayyorlash jarayonida o‘rganilayotgan namunaning harorati xona haroratida (300 K) saqlandi. Ushbu jarayonda, o‘rtacha chiziqli o‘lchami 16 nm va 40 nm bo‘lgan amorf kremniy dioksidi nanozarrachalari olindi va ular deionlangan suvga 0,5% massaviy ulushda qo‘shildi.

Hosil bo‘lgan suspenziya ultratovushli dispergatorda 20 daqiqa davomida dispersiyalandi. Tayyorlangan nanosuyuqliklar sedimentatsiya jarayonini o‘rganish uchun shisha idishlarga solinib, 40 kun davomida kuzatildi (1-rasm).



a) b)

1-rasm. a)-nanosuyuqlik tayyorlangandan keyingi holati (16, 40 nm, 0,5% massaviy ulushda tayyorlangan). b)-nanosuyuqlik tayyorlangandan 40 kun o‘tgandan keyingi holati.

Vizual kuzatishlar natijasiga ko‘ra, nanozarrachalarning chiziqli o‘lchami 40 nm bo‘lgan nanosuyuqliklarda cho‘kma hosil bo‘lishi ko‘proq kuzatildi. Masalan, 40 nm diametriga ega bo‘lgan kremniy dioksidi nanozarrachalaridan tashkil topgan 0,5 % massaviy ulushdagi nanosuyuqlikning 15 ml hajmini egalovchi shisha idishida 40 sutkadan so‘ng agregatsiya va gravitatsiya ta’siri natijasida 1 ml cho‘kindi hosil bo‘ldi. Bu 40 sutkalik vaqt davomida o‘rtacha chiziqli o‘lchami 12 nm kremniy dioksidi nanozarrachalarining suvdagi massaviy konsentratsiyasi 0,5 % bo‘lgan nanosuyuqlikda esa deyarli cho‘kindi hosil bo‘lmadi.

Ushbu natijalarga ko‘ra, quyidagi xulosalarni keltirish mumkin:

Nanosuyuqlik tayyorlashda dispergator bilan ishlash jarayonida namunaga ta’sir qilishning optimal vaqtini aniqlash muhim ahamiyatga ega.

Olingan tadqiqot natijalari tahlilidan ma’lum bo‘ldiki, nanozarrachalarning chiziqli o‘lchami kamaygan sari, sedimentatsiya jarayoni sekin kechishi kuzatiladi.

1. G. Colangelo, E. Favale, P. Miglietta, M. Milanese, de A. Risi. Thermal conductivity, viscosity and stability of Al_2O_3 -diathermic oil nanofluids for solar energy systems // Energy. 2016. Vol. 95. pp.124–136.
2. A. Afzal, I. Nawfal, I.M. Mahbubul, S.S. Kumbar. An overview on the effect of ultrasonication duration on different properties of nanofluids // J. Therm. Anal. Calorim. 2018. Vol. 135. pp. 393–418.
3. A.N. Payzullaev, B.A. Allaev, S.Z. Mirzaev, J.M. Abdiev, J. Urinov, A. Parkash. The Impact of Silicon Dioxide Nanoparticle Size on the Viscosity and Stability of Nanofluids: A Comprehensive Study” // ECS Advances, Vol. 2, № 3, pages 6 031001 (2023).
4. A.N. Payzullaev, M.V. Gafurova, B.A. Allayev, S.K. Tellyayev, S.Z. Mirzayev. Nanosuyuqlikning qovushqoqligi va barqarorligining kremniy dioksidi nanozarrachalari chiziqli o‘lchamiga bog‘liqligi // SamDU ilmiy axborotnomasi aniq fanlar seriyasi, Vol. 3, № 7-8, B.170-175 (2022).
5. A.N. Payzullayev, M.V. Gafurova, B.A. Allayev, S.S. Telyaev, S.Z. Mirzaev. Наноэмулсия барқарорлигини унинг реологик хоссаси орқали тадқиқ қилиш // O‘zbekiston Milliy universiteti xabarlari, (3.2.2 soni) B. 478-483, (2022).

COOLING KINETICS OF HOT CARRIERS IN TRANSITION METAL SILICIDE THIN FILMS: A RESEARCH DIRECTION BASED ON JOHNSON NOISE THERMOMETRY

K.T. Dovranov[1], I. Konovalov[2]
[1]*Qarshi State University, Qarshi, Uzbekistan*
[2]*Ernst-Abbe-Hochschule Jena, Jena, Germany*

The hot carrier solar cell (HCSC) concept is one of the most promising ways to raise photovoltaic conversion efficiency above the Shockley–Queisser thermodynamic limit (~33%) [1]. Realizing this concept depends on slowing down the electron–phonon interaction in the absorber material, so that "hot" carriers can be extracted through energy-selective contacts before they dissipate their energy as heat into the lattice. The key requirement for selecting a suitable absorber is the ability to measure carrier temperature directly under natural operating conditions. In this respect, the Johnson Noise Thermometry (JNT) method, developed by the group of Professor Igor Konovalov at Ernst-Abbe-Hochschule Jena (Germany), is of particular importance: by measuring the Johnson–Nyquist thermal noise of the carriers, this method allows the apparent carrier temperature (T_{app}) under concentrated natural sunlight to be determined directly. In the 2022 study by Konovalov et al. (Solar Energy), this method was used to successfully record carrier heating in graphite, bismuth, and PbTe thin films, but transition-metal silicide materials have so far remained almost unstudied [2, 3].

A review of the literature shows that, although significant progress has been achieved in hot-carrier physics and in silicide thin films, these directions have not yet been combined within a single experimental platform. On this basis, the following scientific hypothesis is proposed: spin-phonon interaction in transition-metal silicides may weaken the electron-phonon energy exchange, thereby lengthening the hot-carrier cooling time. To test this hypothesis, it is planned to synthesize $CrSi_2$, β-$FeSi_2$, $CoSi_2$, Mn_4Si_7 and ZrN thin films at Qarshi State University by DC and RF magnetron sputtering, and to characterize their microstructural and electrical properties (XRD, SEM, AFM, Hall effect). Among the selected materials, Mn_4Si_7 (magnetically ordered below ~43 K) and β-$FeSi_2$ (exhibiting surface ferromagnetism at room temperature) will be used to test the magnetic hypothesis, while ZrN will serve as a reference material for the phonon mass mismatch mechanism. The apparent carrier temperature and cooling kinetics of the synthesized samples will subsequently be measured at Ernst-Abbe-Hochschule Jena, in the laboratory of Prof. I. Konovalov, by Johnson Noise Thermometry under varying illumination, temperature, and magnetic field conditions. This research will contribute to developing new criteria for selecting absorber materials for high-efficiency hot carrier solar cells and constitutes a practical direction of scientific collaboration between Qarshi State University and Ernst-Abbe-Hochschule Jena.

REFERENCES

[1] Zharchenko, I., Gradauskas, J., Masalskyi, O., Rodin, P. (2024). Hot carrier photocurrent induced by 0.92 eV photon energy radiation in a Si solar cell. Opto-Electronics Review, 32, e150181.
[2] Konovalov, I., Emelianov, V. (2017). Hot carrier solar cell as thermoelectric device. Energy Science & Engineering, 5(3), 113–122.
[3] Konovalov, I. et al. (2022). Thermal noise of hot carriers under natural sunlight. Solar Energy.

SUBNANO-SECOND OPTOELECTRONICS BASED ON THYRISTOR FORMERS OF POWERFUL PULSES

Akhmadjon Majidovich Sultanov
Namangan State Technical University, Associate professor
Khurshid Narzullayevich Bozorov
Namangan State Technical University, Associate professor
Abdullayeva Guljamol Uljaboyevna
Namangan State Technical University, PhD student
Turayeva Munojat Obidjanovna
Namangan State Technical University, Master student
e-mail: xurshid_bozorov83@mail.ru

Interest in the problem of generating ultrashort optical pulses of high peak power is due to their wide application in various fields, such as optical communications, metrology, information processing systems, spectroscopy, etc. An important feature of semiconductor lasers is the possibility of fast direct modulation of radiation by current injection. The method of direct current gain modulation uses this feature and allows you to generate short optical pulses directly in the laser element [1,4,5,6] At the same time, in order for such laser devices not to lose their main advantages - compactness, simplicity and ease of control, certain requirements are imposed on electric pulse modulators. Structures are needed in which laser and control elements would be integrated into a single monolithic or hybrid circuit. The first, as a rule, is a complex technological problem, and, the second, requires broadband matching of a low-resistance laser diode with a microwave path.

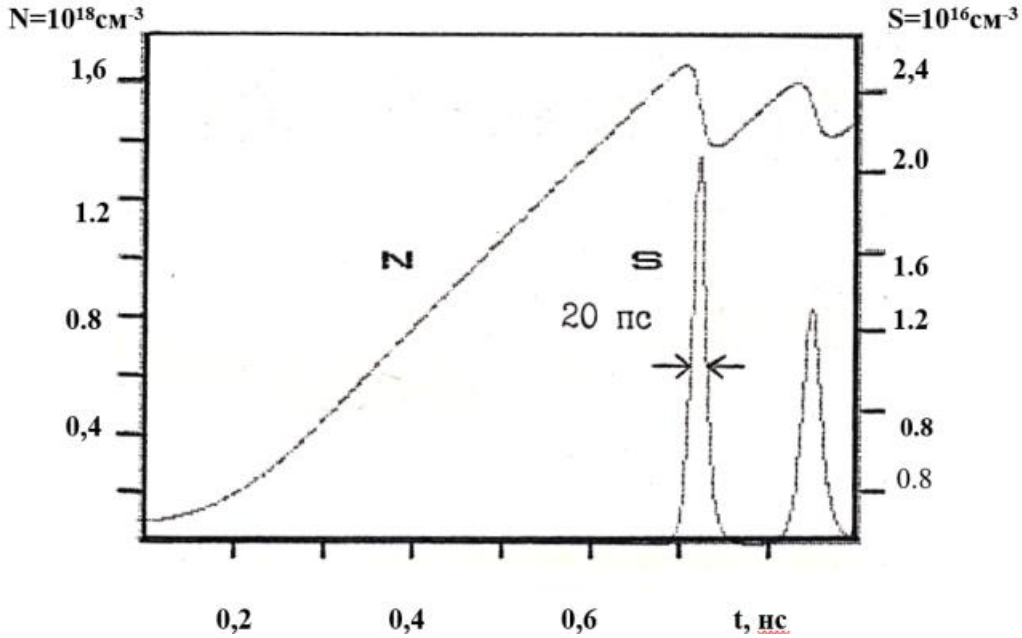


Figure. 1

This paper shows the prospects for using photon-injection pulsed thyristors (RPT) as a source of modulating pulses. The structure contains optically and electrically coupled conventional **n^+-p^0-n^0(GaAs)** and **P-p-N (AlGaAs)** – **n^0-p (GaAs)** optotransistor. In fact, there is a vertical scheme for integrating a laser and a pulse modulator. As shown in [3], when a thyristor is turned on, a current pulse of 10 A with a front of 200 ps, a duration of 0.5–5 ns, and a limiting frequency of up to 50 kHz flows through the double hetero structure built into it. Thus, conditions are created for effective modulation of the amplification of optical

radiation in the active region of the double hetero structure (DHS). The radiation dynamics of a semiconductor laser is described by rate equations [2]. The numerical solution of these equations for a laser based on a double hetero structure built into the FIIT gives the following dependences of the electron density **N** and photon density S in the active region of the GVD laser on time (see Fig.1).

The pump current density j=104 A/cm^2. The FWHM of the generated optical pulses was 20 ps, the peak power was 3 W, and the repetition rate was 8 GHz.

The influence of the parameters of the modulating pulse and the laser structure on the parameters of optical pulses is studied [7]. The mode of laser radiation in FIIT was experimentally implemented. Thus, a relatively simple way of integrating a source of picosecond optical pulses and a generator of modeling pulses has been found.

LITERATURE:

[1] Sarkat T. 2007. Epitaxial Desingn of Direct Optically Controlled GaAs/AlGaAs –based Heterostructure Lateral Superjunction Power Device for Fast Repetitive Switching/ Mazumder S.K. // IEEE Transactions on Electron Devise. Vol. 54. № 3. March.

[2] Vainshtein S. N., Yuferev V. S., Kostamovaara J. T., Kulagina M. M., Moilanen H. T. 2010. Significant Effect of Emitter Area on the Efficiency, Stability and Reliability of Picosecond Switching in a GaAs Bipolar Transistor Structure // IEEE Transactions on Electron Devices. Vol. 57, № 4

[3] Sultanov A.M., Abdukarimov A.A., Kufian M.Z. 2023. Development of technology for creating high-voltage p^0-n^0 junctions based jn GaAs. BULLITIN OF THE KARAGANDA UNIVERSITY. PHYSICS series № 4 (112). pp. 50-56.

[4] Shevchenko S.A., Ivadov B.V., Smirnov A.A., et.al. 2020. Experimental Study of a Low-Voltage 4H-SiC Drift Ster Recovery Diode. /Proc. IEEE 60 Conference of Russian Young Researchers In Eletrical and Electronic Engeneering (2020 ELConRus).

[5] Voitovich V., 2014. How to replace SiC Schottky diodes./Dumanevich A.//Power Electronics, No. 5

[6] Yaremenko N.G., Karacheatseva M.V., Strakhov V.A. 2008. //Photoluminescence of GaAs epitaxial layers doped with silicon//. News of Universities.- Electronics. № 1, pp. 10-19.

[7] Sultanov A.M. Monograph. 2022. Development of technology for the creation and research of photon injection switches based on GaAs-AlGaAs heterostructures. Namangan, Usmon Nosir Media, 116 pp.

$TiSi_2$ BIRIKMASINING FAZAVIY TARKIBI, KRISTALL TUZILISHI VA TEBRANISH XUSUSIYATLARINI TADQIQ ETISH

I.R. Bekpulatov[1], A.M. Normamatov[1], Alberto Riminucci[2], A.M. Normamatov[3].

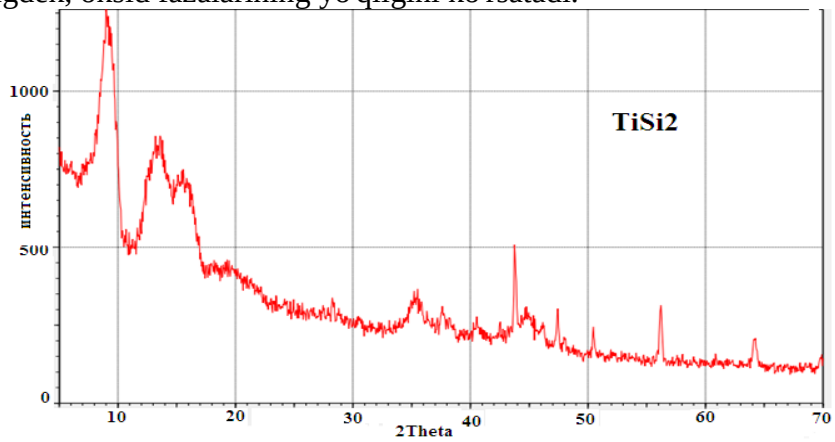
[1]*Qarshi Davlat Universiteti, Qarshi, O'zbekiston. Email: normamatovsattor522@gmal.com*

[2] *Nanostrukturali materiallar instituti, CNR-ISMN, Bologna, Italiya*

[3] *Termiz Davlat Universiteti magistranti., Termiz, O'zbekiston.*

Titan disilitsidi ($TiSi_2$) titan va kremniyning metalllararo birikmasi bo'lib, u past elektr qarshiligi, yuqori issiqlikka chidamliligi va kimyoviy barqarorligi tufayli metall silitsidlar orasida ilmiy, texnologik tadqiqotlarda keng qo'llaniladi [1,2]. Xususan, C54 $TiSi_2$ kristalli fazasi juda past qarshilik (~12–24 μΩ sm) bilan tavsiflanadi, bu esa uni mikroelektronikada kontaktlarni hosil qilish, o'zaro bog'lanish va MOY(metall–oksid–yarimo'tkazgich) tranzistorlarini metalllashtirish uchun asosiy materiallardan biriga aylantiradi [3,4]. Zamonaviy tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, past kontakt qarshiligi $Ti(Si_x)$ ning eng muhim xususiyatlaridan biri bo'lib, uni ilg'or tranzistor texnologiyalarida kontakt materiali sifatida keng qo'llanilishini belgilaydi [9–11].

Bundan tashqari, $TiSi_2$ ning yuqori elektr o'tkazuvchanligi, bitta elektron tunnellash xususiyati va ultrabinafsha, ko'rinadigan spektral mintaqalarni qamrab oluvchi keng optik yutilish diapazoni (≈3.4–1.5 eV) ushbu materialni fotokatalitik qo'llanmalar uchun istiqbolli qiladi [1,2]. $TiSi_2$ qotishmasi hosil qilish uchun yuqori tozalikdagi titan va kremniy kukunlari yordamida amalga oshiriladi. Boshlang'ich materiallar sifatida titan kukuni (Ti, tozaligi ≥99,9%) va kremniy kukuni (Si, tozaligi ≥99,99%) ishlatilgan. $TiSi_2$ birikmasining stexiometrik tarkibiga muvofiq, boshlang'ich kukunlar yuqori aniqlikdagi analitik tarozida 46,1% Ti va 53,9% Si massa nisbatida tortildi. Boshlang'ich kukunlarning bir xil va yuqori reaktiv aralashmasini hosil qilish uchun ular yuqori energiyali shar tegirmonida inert argon atmosferasi ostida mexanik ravishda faollashtirildi. Frezalash jarayoni shar-kukun og'irligi nisbati 10:1 bo'lgan holda 6 soat davom etdi. Oksidlanish va tashqi ifloslanishni minimallashtirish uchun qayta ishlash jarayonida atmosfera qat'iy nazorat qilindi. Tayyorlangan kukun aralashmasi ichki diametri 20 mm bo'lgan grafit qolipga solingan va Spark Plasma Sintering (uchqun plazmasi sinterlash) qurilmasida sinterlangan. Sinterlash jarayoni yuqori vakuum sharoitida (~10^{-2} Pa) o'tkazildi. Namunalarga 40 MPa bir o'qli mexanik bosim qo'llanildi, harorat esa 100 ^{o}C/min tezlikda 1250 ^{o}C gacha oshirildi. Maksimal haroratda izotermik ushlab turish vaqti 7 daqiqani tashkil etdi. Sinterlashdan so'ng, namunalar pech ichida tabiiy ravishda sovutildi. Grafit qolipi bilan aloqa qilish natijasida namuna yuzalarida hosil bo'lgan har qanday uglerod qoldiqlari mexanik silliqlash orqali olib tashlandi. $TiSi_2$ ning fazaviy tahlil Cu-Kα nurlanishiga ega SHIMADZU XRD-6100 rentgen difraktometri (λ = 1.5406 Å) yordamida amalga oshirildi. Raman spektroskopiyasi shuningdek, Ti-Si kimyoviy bog'lanishining tabiati va kristall panjaradagi tebranish rejimlarini yanada aniqroq aniqlash uchun ham qo'llanildi. $TiSi_2$ qotishmasining fazaviy tarkibi va kristall tuzilishini aniqlash uchun Cu-Kα nurlanish manbai yordamida rentgen difraksiya (XRD) tahlili o'tkazildi. Olingan difraksiya ma'lumotlari $TiSi_2$ ning bir fazali tetragonal tuzilishining (C54 fazasi) hosil bo'lganligini ko'rsatadi. Rentgen difraksiya spektrida asosiy difraksiya maksimalari (cho'qqilari) mos ravishda (101), (110), (111), (200) va (211) kristallografik tekisliklardan aks ettirish sifatida bir xil indekslangan 2θ ≈ 34.1^{o}, 37.8^{o}, 40.2^{o}, 53.1^{o} va 63.5^{o} da kuzatiladi. Bu cho'qqilar faqat $TiSi_2$ fazasiga xos bo'lib, bu Ti-Si tizimining boshqa intermetallik birikmalarining, shuningdek, oksid fazalarining yo'qligini ko'rsatadi.

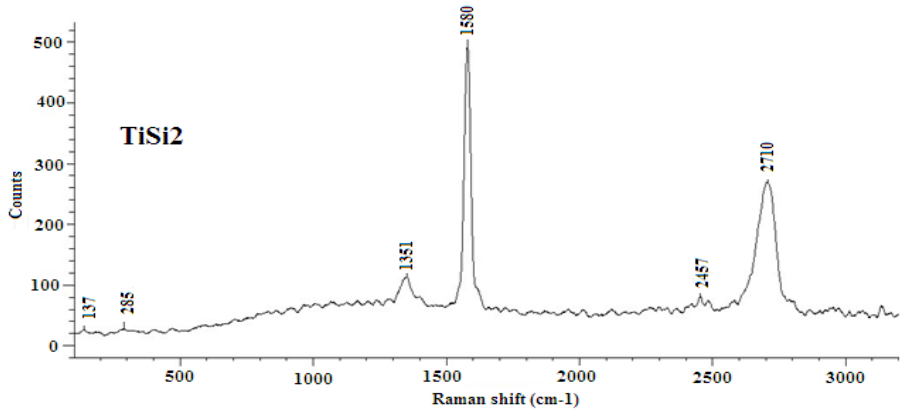


2-rasm. $TiSi_2$ qotishmasining rentgen difraksiyasi (XRD) ma'lumotlari bir fazali tetragonal strukturaning (C54 fazasi) hosil bo'lishini ko'rsatadi.

Bu SPS sinterlash paytida tez qattiq fazali reaksiyalar natijasida yuqori fazali soflikka erishilganligini tasdiqlaydi. Bundan tashqari, diffraktsiya cho'qqilarining intensivligi va shaklini tahlil qilish material tuzilishining izotropik xususiyatini ko'rsatadigan afzal kristallografik yo'nalish (tekstura) yoki dominant kristallit tartibini ko'rsatuvchi hech qanday dalilni aniqlamadi. Bu SPS jarayonida yuqori energiyali impulslarga qisqa muddatli ta'sir qilish zarrachalararo kontaktlar va diffuziya mexanizmlarini samarali ravishda faollashtirishini tasdiqlaydi. XRD tahlil natijalari va Raman spektroskopiya ma'lumotlari bilan

taqqoslash $TiSi_2$ qotishmasi yuqori fazali soflik, bir xil kristallit morfologiyasi va minimal ichki kuchlanish bilan tavsiflanganligini yana bir bor tasdiqlaydi. Umuman olganda, rentgen difraksiya tahlili natijalari $TiSi_2$ qotishmasining bir fazali, yuqori tozalikdagi, strukturaviy jihatdan bir xil va deyarli stresssiz tuzilishining shakllanishini, shuningdek, uchqun plazmasi sinterlash jarayonining yuqori samaradorligini aniq tasdiqlaydi, bu esa (2-rasm) da aniq ko'rsatilgan.

Sintezlangan $TiSi_2$ qotishmasining molekulyar va kristalli tuzilishini chuqurroq tahlil qilish uchun Raman spektroskopiyasi o'tkazildi. Raman tahlili $TiSi_2$ ning tetragonal kristalli tuzilishidagi (C54 fazasi) Ti-Si bog'lanishlariga xos bo'lgan fonon tebranish rejimlarini aniqlash imkonini berdi. Olingan Raman spektrlari materialning fazaviy holati, kristalli bir xillik darajasi va namunalarning ichki strukturaviy barqarorligi haqida muhim ma'lumotlarni taqdim etdi (3-rasm).



3-rasm. Uchqun plazmasi sinterlash (SPS) orqali sintezlangan $TiSi_2$ qotishmasining Raman spektrlari.

Raman spektrida taxminan ~137, ~285, ~1351, ~1580, ~2457 va ~2710 sm^{-1} diapazonlarida birlamchi tebranish cho'qqilari aniqlandi. ~137 va ~285 sm^{-1} mintaqasida joylashgan past chastotali cho'qqilar titan atomlarining panjara tebranishlariga, shuningdek, Ti-Si bog'lanishlarining egilish va translyatsion rejimlariga mos keladi. Spektrning yuqori chastotali mintaqasida kuzatilgan cho'qqilar Ti-Si bog'lanishlarining cho'zilish rejimlari va kristall panjara ichidagi kollektiv fonon jarayonlari bilan bog'liq bo'lib, bu strukturaviy jihatdan barqaror kristall konfiguratsiyaning shakllanishini ko'rsatadi.

Bundan tashqari, Raman spektrlarida cho'qqi intensivligidagi kichik o'zgarishlar va past fon signali minimal mahalliy kuchlanishlar, kritalitlararo interfeys nuqsonlari va potentsial strukturaviy bir xilliklarni ko'rsatadi. Bu SPS tomonidan olingan $TiSi_2$ qotishmasidagi ichki qoldiq kuchlanishlar samarali ravishda kamaytirilganligini va kristall tuzilishi energetik jihatdan barqaror holatga kelganligini ko'rsatadi.

Umuman olganda, Raman spektroskopiyasi natijalari Ti-Si bog'lanishlarining to'liq va samarali shakllanishini, bir fazali tetragonal C54 tuzilishining mavjudligini va SPS usuli bilan sintez qilingan $TiSi_2$ qotishmasida yuqori darajadagi kristalli bir xillik va faza yaxlitligiga erishilganligini aniq tasdiqlaydi. SEM, EDS va XRD tahlillari natijalari bilan birgalikda ushbu topilmalar $TiSi_2$ qotishmasining mikrostrukturaviy va kristalli xususiyatlariga SPS sinterlashining ijobiy ta'sirini ilmiy asoslaydi.

Raman spektroskopiyasi va rentgen difraksiyasi (XRD) natijalarining muvofiqlashtirilgan tahlili SPS orqali sintez qilingan $TiSi_2$ qotishmasining faza holati va kristall tuzilishi to'liq va ishonchli tarzda shakllanganligini ishonchli tarzda tasdiqlaydi. XRD spektrlarida faqat tetragonal C54–$TiSi_2$ fazasiga xos bo'lgan juda aniq va yuqori intensivlikdagi difraktsiya cho'qqilarini kuzatish ikkilamchi fazalarning yo'qligini ko'rsatadi, Raman spektrlarida esa ushbu fazaga mos keladigan Ti-Si bog'lanishlarining fonon tebranish rejimlarini aniqlash bu xulosani yanada mustahkamlaydi. XRD kristall panjarasining uzoq masofali tartibini tasdiqlasa, Raman spektroskopiyasi Ti-Si bog'lanishlarining mahalliy tebranish holatini

ochib beradi. Ushbu usullarning qo'shimcha natijalari shuni ko'rsatadiki, SPS jarayonida $TiSi_2$ kristall panjarasi ham makroskopik, ham mikroskopik darajada barqaror va bir fazali holatda hosil bo'ladi.

Ushbu tadqiqotning ilmiy yangiligi shundaki, XRD tomonidan aniqlangan $TiSi_2$ qotishmasining yuqori fazali sofligi Raman spektroskopiyasi yordamida mahalliy kimyoviy bog'lanishlar darajasida yanada tasdiqlandi. Raman cho'qqilarining tor va simmetrik shakli XRD diffraktsiya maksimasining past cho'qqi kengayishi bilan yaxshi mos keladi, bu esa kristallit o'lchamlarining bir xilligi va minimal ichki mikrodeformatsiyani ko'rsatadi. Bu shuni ko'rsatadiki, diffuziya va qayta kristallanish jarayonlari SPS jarayonida impulsli elektr toki va qo'llaniladigan mexanik bosim ta'sirida samarali boshqarilgan.

Xulosa. Raman va XRD ma'lumotlarining birgalikdagi tahliliga asoslangan integratsiyalashgan yondashuv SPS tomonidan ishlab chiqarilgan $TiSi_2$ qotishmasida kristall tuzilishi va kimyoviy bog'lanish hosil bo'lish mexanizmlarini ko'p miqyosli darajada aniqlash imkonini beradi. Olingan natijalar SPS jarayonining fazaviy barqarorlik, kristall gomogenligi va ichki kuchlanishlarni kamaytirish nuqtai nazaridan an'anaviy sinterlash usullaridan ustunligini ilmiy asoslaydi va yuqori samarali $TiSi_2$ asosidagi elektr va issiqlik materiallarini loyihalash uchun muhim ilmiy asos yaratadi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI.

1. Banerjee, S.; Mohapatra, S.K.; Misra, M. Water Photooxidation by $TiSi_2$–TiO_2 Nanotubes. *J. Phys. Chem. C* 2011, *115*, 12643–12649.

2. Pelleg, J.; Sade, G. TiB2/TiSi2 bilayer fabrication by various techniques: Structure and contact properties. *Phys. B Condens. Matter* 2006, *371*, 20–34.

3. Ritterskamp, P.; Kuklya, A.; Stkamp, M.-A.; Kerpen, K.; Weidenthaler, C.; Demuth, M. A Titanium Disilicide Derived Semiconducting Catalyst for Water Splitting under Solar Radiation—Reversible Storage of Oxygen and Hydrogen. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2007, *46*, 7770–7774.

4. Liu, J.; Bai, Y.; Chen, P.; Cui, N.; Yin, H. Reaction synthesis of TiSi2 and Ti5Si3 by ball-milling and shock loading and their photocatalytic activities. *J. Alloys Compd.* 2013, *555*, 375–380.

5. Shon, I.-J.; Park, H.-K.; Kim, H.-C.; Yoon, J.-K.; Hong, K.-T.; Ko, I.-Y. One-step synthesis and densification of nanostructured TiSi2–SiC composite from mechanically activated (TiC + 3Si) powders by high-frequency-induced heated combustion. *Scr. Mater.* 2007, *56*, 665–668.

2D GETEROSTRUKTURALARDA O'TA TEZKOR JARAYONLARNING KINETIK TENGLAMALARI VA GRAFIK YECHIMLARI IFODASI

Muhammadjon Dadamirzaev, Mamura Qosimova, Nodiraxon Xojiakbarova
[1] *Namangan State Technical University, Namangan, Uzbekistan*
[a)] *Corresponding author: omamuraqosimova@gmail.com*

Ikki o'lchovli o'tish metalli dixalkogenidlar ajoyib fizik xususiyatlarga ega va optoelektronikada istiqbolli qo'llanmalarga ega bo'lgan geterobirikmalarini yaratish uchun noyob platformani taklif etadi. Ularning odatiy ikki turdagi diapazonli hizalanishi tufayli fotoqo'zg'atilgan elektronlar va teshiklar interfeys zaryad uzatish orqali ajralishi mumkin.

Nasos-zond tajribasida tizimga ta'sir qiluvchi birinchi lazer impulsi vaqt bo'yicha Gauss taqsimotiga ega bo'ladi. Ushbu impuls o'tish metallari dixalkogenidlari qatlamida A-eksitonlarni yaratadi. Yaratilgan eksitonlar tezligi quyidagi Gauss funksiyasi bilan ifodalanadi:

$$G(t) = \frac{N_0}{\sigma\sqrt{2\pi}} exp(-\frac{(t-t_0)^2}{2\sigma^2}) \quad (1)$$

Bu yerda $G(t)$ –vaqt birligida yaratilgan eksitonlar birligi, N_0-qo'zg'atilgan zaryadlarning umumiy soni , σ-lazer impulsining asbobiy kengligi(qurilmaning javob funksiyasi), t_0-impulsining maksimal qiymatga yetish vaqti.

Geterostrukturadagi zaryad tashuvchilar dinamikasini ta'riflash uchun ikki darajali tezlik tenglamalar tizimi qo'llaniladi. Birlamchi qatlamdagi eksitonlar populyatsiyasi(n_A) va ikkinchi qatlamga ko'chib o'tgan zaryadlar populyatsiyasi(n_{CT}) o'zgarishi dinamikasini ta'riflash uchun ikki darajali tenglamalar tizimi tuziladi.

a) WSe_2 qatlamidagi eksitonlar populyatsiyasi (n_A):

$$\frac{dn_A(t)}{dt} = G(t) - \frac{n_A(t)}{\tau_{CT}} - \frac{n_A(t)}{\tau_d} \qquad (2)$$

Bu yerda τ_{CT}-elektronlarning MoS_2 ga ko'chib o'tish vaqti (subpikosekund), τ_d-eksitonlarning boshqa yo'llar bilan so'nish vaqti. Odatda $\tau_{CT} \ll \tau_d$ bo'lgani uchun, asosiy kamayish τ_{CT} ga bog'liq bo'ladi.

b) MoS_2 ga ko'chib o'tgan elektronlar populyatsiyasi (n_{CT}):

$$\frac{dn_{CT}(t)}{dt} = \frac{n_A(t)}{\tau_{CT}} - \frac{n_{CT}(t)}{\tau_{rec}} \qquad (3)$$

Bu yerda τ_{rec}-zaryadlarning qayta qo'shilish (rekombinatsiya) vaqti.

SHG intensivligi $(I_{SHG} \infty |x^{(2)}|^2)$. Zaryadlar qatlamlar o'rtasida ajralganda kuchli fazoviy elektr maydoni hosil bo'ladi. Pauli blokirovkasi-zonalarni to'ldirish effekti natijasida materialning qabul qiluvchanligi chiziqli ravishda kamayadi:

$$x^{(2)}(t) = x_0^{(2)} - \Delta x \cdot n_{CT}(t) \qquad (4)$$

Shu sababli, optik javobining normallashtirilgan intensivligi zaryadlar miqdoriga quyidagicha bog'lanadi:

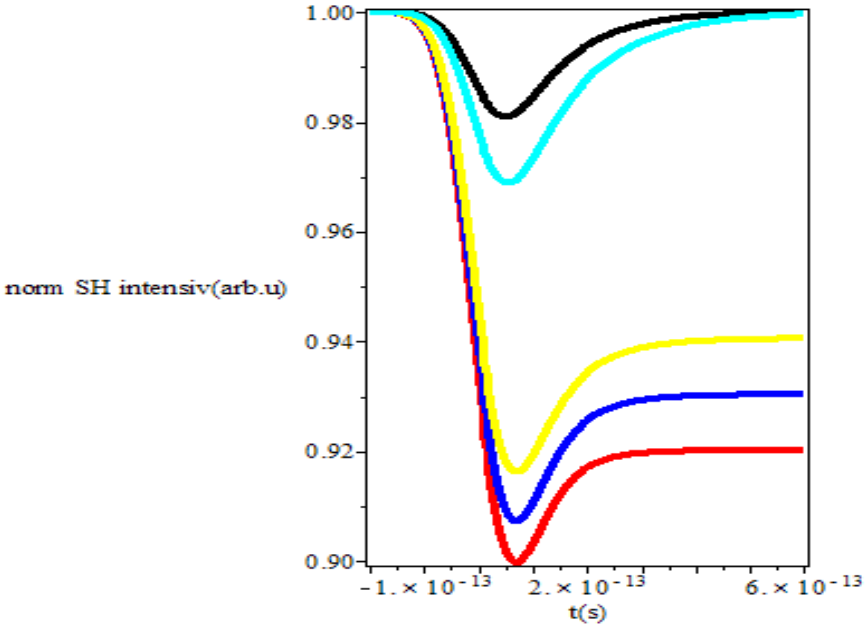
$$\frac{I_{SHG}(t)}{I_0} \approx (1 - A \cdot n_{CT}(t))^2 \approx 1 - 2A \cdot n_{CT}(t) \qquad (5)$$

Bu yerda A-zaryadlar miqdori va optik javob o'rtasidagi proporsionallik koeffitsienti.

Haqiqiy eksperimental sharoitda o'lchanadigan signal zaryad populyatsiyasi kinetikasi va asbobiy Gauss funksiyasining konvolyutsiyasi natijasidir. Tenglamalar tizimini analitik yechib, xatolar funksiyasi qatnashgan yakuniy ifodani keltirib chiqaramiz:

$$I_{norm}(t) = 1 - \sum_{i=1}^{2} C_i \exp\left(\frac{\sigma^2}{2\tau_i^2} - \frac{t-t_0}{\tau_i}\right)\left[1 + \mathrm{erf}\left(\frac{t-t_0}{\sqrt{2}\sigma} - \frac{\sigma}{\sqrt{2\tau_i}}\right)\right] \qquad (6)$$

(6) yakuniy formula asosida grafik olamiz:



1-rasm. Turli relaksatsiya vaqtlariga ega komponentlar uchun normallashtirilgan ikkinchi garmonik (SH) intensivligini vaqt bo’yicha o’zgarishi.

1-rasm femtosekund diapazonidagi tezkor va pikosekund diapazonidagi nisbatan sekin relaksatsiya jarayonlarni hisobga olingan. Grafikdan ko’rinadiki, SH intensivligining vaqt bo’yicha evolyutsiyasi relaksatsiya vaqtining qiymati va tegishli dinamik komponent amplitudasiga sezilarli darajada bog’liq.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. J.E. Zimmermann, M. Axt, F. Mooshammer, P. Nagler, C. Schüller, T. Korn, U. Höfer, G. Mette, Ultrafast charge-transfer dynamics in twisted MoS_2/WSe_2 heterostructures, *ACS Nano* 15 (2021) 14725–14731. https://doi.org/10.1021/acsnano.1c04549
2. S. Ovesen, S. Brem, C. Linderälv, M. Kuisma, T. Korn, P. Erhart, M. Selig, E. Malic, Qatlammararo exciton dynamics in van der Waals heterostructures, *Commun. Phys.* 2 (2019) 23. https://doi.org/10.1038/s42005-019-0122-z
3. L. Zhang, Z. Zhang, F. Wu, D. Wang, R. Gogna, S. Hou, K. Watanabe, T. Taniguchi, K. Kulkarni, T. Kuo, S.R. Forrest, H. Deng, Twist-angle dependence of moiré excitons in $WS_2/MoSe_2$ heterobilayers, *Nat. Commun.* 11 (2020) 5888. https://doi.org/10.1038/s41467-020-19466-6
4. H. Zhu, J. Wang, Z. Gong, Y.D. Kim, J. Hone, X.-Y. Zhu, Interfacial charge transfer circumventing momentum mismatch at two-dimensional van der Waals heterojunctions, *Nano Lett.* 17 (2017) 3591–3598. https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.7b00748

GAZ TASHISH USULI BILAN O'STIRILGAN $Zn_xCd_{1-x}S$ YUPQA QATLAMINING EDX TAHLILI

[1]S.A. Muzafarova, [2]N.A. Axmedova,
[1]O'z MU huzuridagi Yarimo'tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy-tadqiqot instituti, laboratoriya mudiri
[2]O'z MU huzuridagi Yarimo'tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy-tadqiqot instituti, 2-bosqich tayanch doktarant
e-mail: nilufaraxmedova564@gmail.com

A^2B^6 turkumiga kiruvchi yarimo'tkazgichli yupqa qatlamlar noyob elektr, optik, mexanik va termal xususiyatlarga ega tuzilmalar hisoblanadi. Ular yordamida tezkor, energiya tejamkor bo'lgan ilg'or texnologiyalar yaratish mumkin. $Zn_xCd_{1-x}S$ shunday yarimo'tkazgich tuzilmalardan biri bo'lib, ZnS va CdS ning turli xil nisbatda birikishidan hosil bo'ladigan II–VI guruhlariga mansub qattiq qorishmadir. Bu yerda x — ruxning mol ulushi bo'lib, $0 \le x \le 1$ oralig'ida o'zgaradi. x ning o'zgarishi materialning fizik, elektr va optik xususiyatlariga ta'sir qiladi, tuzilmaning taqiqlangan soha kengligi (E_g) o'zgaradi. Adabiyotlardan ma'lumki, $Zn_xCd_{1-x}S$ uchlik 2,4-3,6 eV oraliqda o'zgaruvchi taqiqlangan soha kengligiga ega [1,2].

$$CdS: E_g = 2.42\ eV;\ ZnS: E_g = 3.6–3.7\ eV$$

$$Zn_xCd_{1-x}S \text{ uchun: } E_g(x) = xE_{ZnS} + (1-x)E_{CdS} - b\cdot x(1-x)$$

bu yerda b — egilish parametri (odatda 0.3–0.6 eV) [3,4].

Taqiqlangan soha kengligining bunday o'zgarishi natijasida ushbu materialning optik yutilish chegarasi ultrabinafsha sohasidan ko'rinadigan yorug'lik diapazonigacha o'zgaradi. Bu xususiyat $Zn_xCd_{1-x}S$ ni spektral sezgir qurilmalar uchun istiqbolli materialga aylantiradi.

Shu nuqtai nazardan mazkur ishda $Zn_xCd_{1-x}S$ yupqa qatlami yaratildi va qatlamning tarkibiy tahlilini olish maqsadida EDX tekshiruvi o'tkazildi.

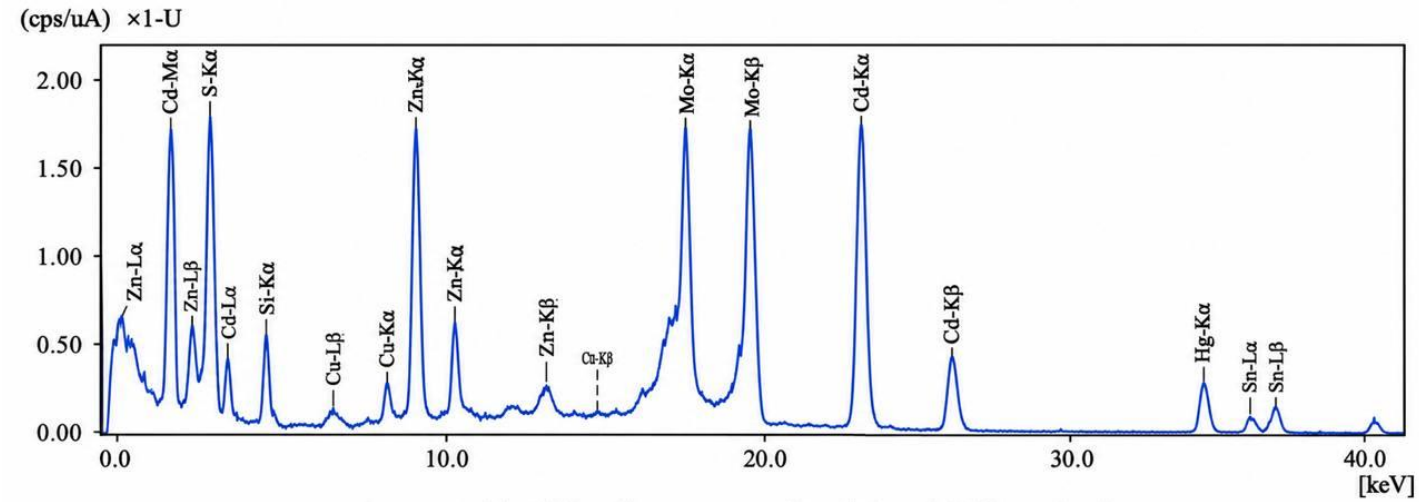
$Zn_xCd_{1-x}S$ yupqa qatlami gaz tashish usulida 100 mkm qalinlikdagi molibden taglik yuzasida o'stirildi. Tashuvchi gaz sifatida vodoroddan foydalanildi. Namunani yaratish uchun m_1=50 gr ZnS va m_1'=580 gr CdS qorishmalari olindi. Manbaa va taglik haroratlari mos ravishda 650 ^oC va 940 ^oC qilib tanlandi. Yaratilgan yupqa qatlamining qalinligi 10 mkm.

$Zn_xCd_{1-x}S$ ning EDX tahlili o'tkazildi. Bunda, yaratilgan yupqa qatlam tarkibi quyidagilardan iborat ekanligi aniqlandi (1-jadval):

1-jadval

$Zn_xCd_{1-x}S$ yupqa qatlamining EDX tahlili natijasida aniqlangan elementar tarkibi

Element	Miqdori (%)	Xatolik (3σ)	Usul	Chiziq	Intensivlik (cps/μA)
Mo	51.069	± 0.140	Quan-FP	MoKα	2187.5039
Cd	42.862	± 0.467	Quan-FP	CdKα	151.0816
S	4.583	± 0.061	Quan-FP	SKα	23.0061
Zn	1.292	± 0.026	Quan-FP	ZnKα	41.1877
Si	0.125	± 0.014	Quan-FP	SiKα	0.1430
Cu	0.069	± 0.011	Quan-FP	CuKα	1.8708



1-rasm. $Zn_xCd_{1-x}S$ yupqa qatlamining EDX spektri

$Zn_xCd_{1-x}S$ yupqa qatlamining element tarkibini aniqlash maqsadida o’tkazilgan EDX tahliliga ko’ra, olingan spektrda Zn, Cd va S elementlariga mos keluvchi xarakterli cho’qqilar kuzatildi (1-rasm). Shuningdek, Mo cho’qqilarining mavjudligi namuna molibden taglikda hosil qilinganligi bilan izohlanadi. Spektr natijalari yupqa qatlam tarkibida kadmiy va rux sulfid birikmasi hosil bo‘lganligini tasdiqlaydi.

ADABIYOTLAR

[1]. S. S. Srinivasan, J. Wade, and E. K. Stefanakos, Visible light photocatalysis via CdS/ TiO_2 nanocomposite materials, Journal of Nanomaterials, vol. 2006, Article ID 87326, 7 pages, 2006

[2]. A. Vazquez, D. B. Hern ´ andez-Uresti, and S. Obreg ´ on, Elec- ´ trophoretic deposition of CdS coatings and their photocatalytic activities in the degradation of tetracycline antibiotic, Applied Surface Science, vol. 386, pp. 412–417, 2016.

[3].Chang-Youn Moon, Su-Huai Wei, Y. Z. Zhu, G. D. Chen, “Band-gap bowing coefficients in large size-mismatched II-VI alloys: first-principles calculations”, Phys. Rev. B 74, 233202, 2006

[4].Daniel Mourad, Carsten Kruse, Sebastian Klembt, Detlef Hommel, Mariuca Gartner, Mihai Anastasescu, Band gap bowing of binary alloys: Experimental results compared to theoretical tight-binding supercell calculations for CdZnSe, Phys. Rev. B 82, 165204, 2010

Mg/Si YUPQA PLYONKASIGA LAZER NURINING TA’SIRI

Tashatov A.K., Shohimardonov J.M., Pardayeva E.Sh., Normurodov D.A
Qarshi davlat universiteti, Qarshi sh, Ko‘chabog‘ 17
shjmadu@gmail.com

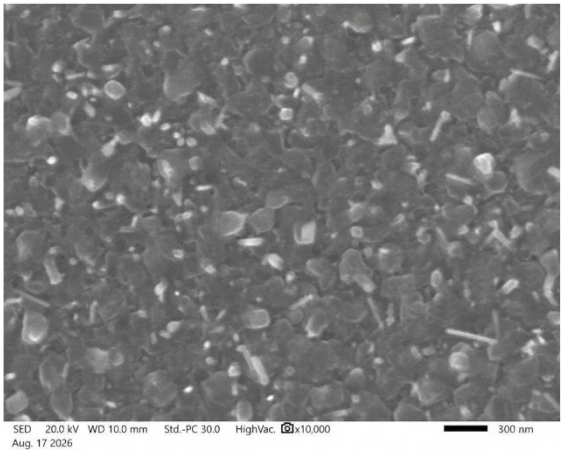
Mg yupqa plyonkalar kichik zichligi, yuqori solishtirma mustahkamligi, korroziyaga chidamli qoplamalar va optoelektron qurilmalar kabi sohalardagi istiqbolli qo‘llanilishi tufayli materialshunoslikda faol o‘rganilmoqda. Biroq Mg plyonkalarining amaliy qo‘llanilishi ularning sirt xossalari-g‘adir-budirlik, kristallchalar chegaralari zichligi va oksidlanish darajasi bilan chambarchas bog‘liq. Shu sababli plyonka sirtini maqsadli ravishda modifikatsiya qilish usullarini izlash dolzarb masaladir [1-3].

Lazer nurlanishi bilan ishlov berish-kontaktsiz, tez va lokal ta’sir ko‘rsatish imkonini beruvchi usul bo‘lib, u metall va metall plyonkalar sirtini erittirish, qayta kristallantirish, tozalash va tekislash uchun keng qo‘llaniladi. Lazer nurining energiya zichligi va ta’sir muddatini o‘zgartirish orqali sirt mikrostrukturasini nazorat qilingan holda boshqarish mumkin. Ushbu ishning maqsadi-Si sirtida magnetron changlatish usuli

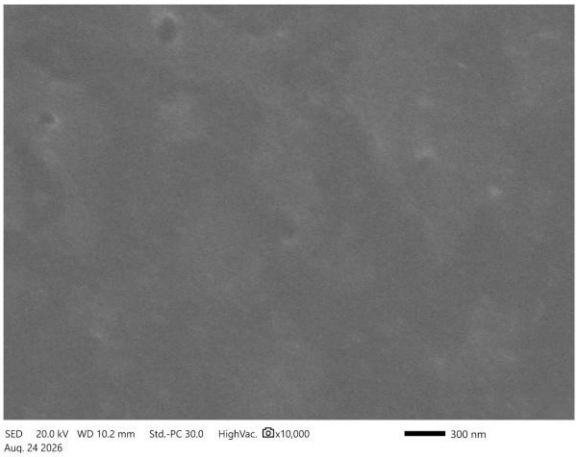
yordamida olingan Mg plyonkasining lazer nurlanishidan oldingi va keyingi sirt morfologiyasini SEM usulida qiyosiy tahlil qilishdan iborat.

Tadqiqot uchun Mg yupqa plyonkasi taglik ustiga magnetron changlatish qurilmasi yordamida olingan. Birinchi namuna dastlabki (lazer bilan ishlov berilmagan) holatda qoldirilgan, ikkinchisi esa 0,5 W quvvatli, 50 kGz chastotali, 1064 nm to‘lqin uzunlikli va 0,1 mm diametrli lazer dastasi bilan nurlantirilgan. Har ikkala namunaning sirt morfologiyasi SEM yordamida quyidagi rejimda tasvirga olindi: tezlashtiruvchi kuchlanish-20,0 kV; ishchi masofa (WD)-10,2 mm; kattalashtirish-x10 000; detektor turi-ikkilamchi elektronlar detektori (SED); rejim-yuqori vakuum. Olingan tasvirlar taqqoslash uchun bir xil kattalashtirish va qalinligi (300 nm) asosida tahlil qilindi.

1-rasmda keltirilgan, lazer bilan ishlov berilmagan Mg plyonkasining SEM tasvirida sirt zich joylashgan, notekis shaklga ega kristallchalardan tashkil topganligi ko‘rinadi. Kristallchalarning o‘lchamlari bir xil emas-nisbatan yirik (bir necha 100 nm gacha) va mayda zarrachalar birgalikda kuzatiladi, ayrim joylarda ignasimon yoki cho‘ziq shaklga ega mayda tuzilmalar ham uchraydi. Kristallchalar orasidagi chegaralar aniq ko‘rinib turadi, bu esa plyonkaning tipik amorf o‘sish mexanizmi bo‘yicha shakllanganligidan dalolat beradi [4]. Umuman olganda, dastlabki namuna sirti yuqori darajada g‘adir-budir va geterogen tuzilishga ega.



1-rasm. Lazer bilan ishlov berilmagan Mg plyonkasining SEM tasviri (x10 000, masshatb-300 nm)



2-rasm. Lazer nurlanishidan keyingi Mg plyonkasining SEM tasviri (x10 000, masshatb -300 nm)

2-rasmda esa lazer nurlanishidan so‘nggi Mg plyonkasining SEM tasviri keltirilgan. Ushbu tasvirda 1-rasmdagiga o‘xshash kristallchali struktura va kristallchalarning aniq chegaralari deyarli kuzatilmaydi-sirt ancha silliq, (kristallchalar o‘lchami 10-15 nm dan ortmaydi) bir jinsli va past kontrastli ko‘rinishga ega bo‘lib qolgan. Faqatgina bir nechta zaif, deyarli sezilmaydigan mahalliy notekisliklar (ehtimol, mikro cho‘qqilar yoki lazer ta’siri natijasida yuzaga kelgan yengil relyef izlari) uchraydi.

Ikkala tasvirni bevosita solishtirish shuni ko‘rsatadiki, lazer nurlanishi Mg plyonkasi sirt morfologiyasini tubdan o‘zgartirgan. Bunday o‘zgarishning asosiy sababi sifatida quyidagilarni ko‘rsatish mumkin:

-lazer nuri ta’sirida sirt qatlamining mahalliy qizishi va uning erish haroratiga yaqinlashishi yoki undan oshishi;

- lazer nuri ta’sirida erigan qatlamning tezkor qayta qotishi (rekristallanishi) natijasida kristallchalar orasidagi chegaralarning yo‘qolishi va yangi, ancha yirik hamda tekis mikrostrukturaning shakllanishi;

- sirt tarangligi kuchlari lazer bilan silliqlash ta’sirida erigan Mg yuzasining tekislanishi ro‘y beradi.

Natijada dastlabki kristallit tuzilishli, yuqori g‘adir-budirlikka ega tuzilma o‘rnini nisbatan silliq va bir jinsli qatlam egalladi.

Bunday sirt tekislanishi amaliy nuqtai nazardan muhim ahamiyatga ega, chunki past g‘adir-budirlikka ega sirtlar odatda korroziyaga chidamliligini oshiradi, optik xususiyatlarni (masalan, yorug‘likni sochish darajasini kamaytirish orqali) yaxshilaydi shuningdek, biomedikal implantlar uchun sirt sifatini yaxshilaydi [5].

O‘tkazilgan qiyosiy SEM tahlili natijasida quyidagi xulosalarga kelindi: lazer bilan ishlov berilmagan Mg plyonkasi zich joylashgan, notekis shaklga ega kristallitlardan tashkil topgan geterogen va g‘adir-budir sirtga ega bo‘lsa, lazer nurlanishidan so‘ng plyonka sirti sezilarli darajada silliqlashgan, kristallitlar chegaralari deyarli yo‘qolgan va struktura yuqori darajada bir jinsli holatga o‘tgan. Kristalchalarning o‘lchami 100 nm dan 10 nm gacha kichrayib, zichlashgan. Bu o‘zgarishlar lazer energiyasi ta’sirida yuzaga keladigan mahalliy erish va tezkor rekristallanish jarayonlari bilan bog‘liq. Olingan natijalar lazer nurlanishini Mg plyonkalar sirt morfologiyasini maqsadli boshqarish, g‘adir-budirlikni kamaytirish va sirt sifatini yaxshilash uchun samarali va istiqbolli usul sifatida qo‘llash mumkinligini ko‘rsatadi. Kelgusi tadqiqotlarda boshqa turli tashqi ta’sirlar yordamida Mg yupqa plyonkalarining sirt morfologiyasi, kristall tuzulishi, optik va elektrofizik xususiyatlarga ta’sirini chuqurroq o‘rganish tavsiya etiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Kondic, L., González, A. G., Diez, J. A., Fowlkes, J. D., Rack, P. (2020). “Liquid-State Dewetting of Pulsed-Laser-Heated Nanoscale Metal Films and Other Geometries.” Annual Review of Fluid Mechanics, 52, 235–262.

2. Cultrera L., Gatti G., Tazzioli F., Ristoscu C., Miglietta P., Perrone A. / UV performances of pulsed laser deposition grown Mg photocathodes, FEL 2007

3. Miglietta P., Cultrera L., Cojanu C., Papadopoulou E.L., Perrone A./Mg-based photocathodes prepared by ns, ps and fs PLD for the production of high brightness electron beams, Applied Surface Science, 255 (2009), 5228–5231.

4. John E.Maham., A.Vantomme., G.LAmgouche., J.P. Becker/ Semiconducting Mg2Si thin films prepared by molecular-beam epitaxy, 54(23) 2019, 1695-16971.

5. Xiao Q., Xie Q., Shen X., Zhang J., Yu Z., Zhao K. — “Effects of magnesium film thickness and annealing temperature on formation of Mg_2Si films on silicon (111) substrate deposited by magnetron sputtering”, Applied Surface Science, 257 (2011), 7800–7804.

6. Song S.-W., Striebel K.A., Song X., Cairns E.J. — “Amorphous and nanocrystalline Mg_2Si thin-film electrodes”, Journal of Power Sources, 119–121 (2003), 110–112.

АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОНКИХ ПЛЁНОК Mg/Si

Шохимардонов Ж.М., Ташатов А.К. Нормуродов Д.А
Каршинский государственный университет, г. Карши
shjmadu@gmail.com

В настоящее время в промышленной электронике существует большое количество устройств, функционирующих на основе оптических датчиков. Они используются, например, в оптронах, оптических сенсорах, а также в устройствах различного функционального назначения.

Растущая потребность в оптических датчиках широкого спектрального диапазона для современных микро- и оптоэлектронных устройств требует разработки новых эффективных материалов для их производства. В настоящее время наиболее широко используемыми материалами

для этих целей являются одноэлементные полупроводниковые материалы, такие как Si и Ge, соединения на основе GaAs, а также силициды в виде тонких плёнок [1]. Материалы на основе соединений кремния с металлами обладают уникальными свойствами в наноразмерном состоянии, что обусловлено проявлением квантово-размерных эффектов.

Согласно наблюдениям, полученным с использованием теоретических и экспериментальных методов, в системе Mg_2Si атомы Mg располагаются в междоузлиях кристаллической решётки Si. В координационном окружении каждого атома Mg находятся 4 атома Si, тогда как каждый атом Si окружён 8 атомами Mg [2]. Таким образом, координационные числа Si и Mg составляют 8 и 4 соответственно (рис. 1).

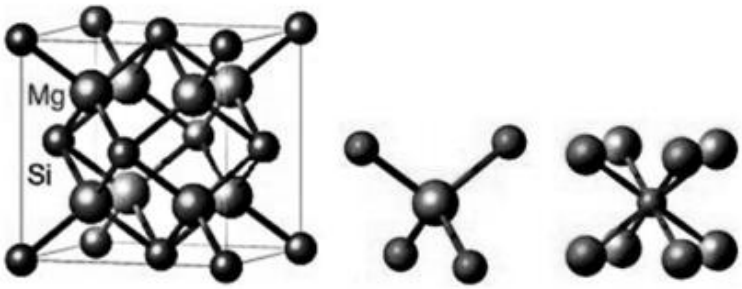


Рис.1. Модель кубической гранецентрированной кристаллической решётки Mg_2Si [3]

Согласно анализу литературных данных, тонкие плёнки Mg_2Si, сформированные на поверхности Si, а также полученные в результате термической обработки, по сравнению с GaAs, Si и Ge характеризуются высокой способностью поглощать падающее световое излучение в широком спектральном диапазоне от 200 до 1800 нм.

Экспериментально была исследована подвижность носителей заряда в Mg_2Si [4]. Согласно полученным данным, подвижность электронов составляет 400–550 см^2/(В·с), тогда как подвижность дырок находится в диапазоне 65–70 см^2/(В·с) [5]. Эти результаты свидетельствуют о том, что силицид магния обладает уникальными электронными свойствами и действительно является перспективным материалом для применения в оптических датчиках.

В таблице 1 представлены оптические и электронные свойства арсенида галлия, кремния, германия и силицида магния, приведённые на основе данных различных литературных источников.

Таблица 1.

Оптические и электронные свойства GaAs, Si, Ge и Mg_2Si.

Материал	Диапазон фоточувствительности, нм	Ширина запрещённой зоны, эВ
GaAs	100-1000	1,43
Si	190-1100	1,12
Ge	400-1700	0,67
Mg_2Si	200-2100	0,6-0,8

Согласно данным, представ-ленным в таблице, наиболее широкий диапазон фоточувствитель-ности наблюдается у Mg_2Si, при этом именно Mg_2Si характеризуется наименьшей шириной запрещённой зоны.

Методы получения тонких плёнок Mg_2Si представлены в таблице 2. В многочисленных исследованиях для формирования тонких плёнок Mg_2Si и гетеросистем на их основе применяются различные методы [5, 6].

Таблица 2.

Современные методы получения тонких плёнок Mg_2Si				
№	Метод	Диапазон температур отжига, °C	Скорость роста плёнки, нм/с	Толщина плёнки, нм
1	Магнетронное распыление	-	-	<1000
2	Молекулярно-лучевая эпитаксия	250-300	-	>1400
3	Импульсное осаждение	365-395, 387-477	100-1000	<10, >80
4	Твёрдофазная эпитаксия	180-250	0,04-0,16	60-150

Таким образом, на основании анализа научных публикаций, посвящённых исследованию оптических и электронных свойств силицида магния, а также методов формирования наноразмерного Mg_2Si, можно сделать следующие выводы.

Подвижность носителей заряда в тонкоплёночном Mg_2Si составляет 400–550 $см^2/(В·с)$ для электронов и 65–70 $см^2/(В·с)$ для дырок. По основным параметрам, таким как диапазон фоточувствительности и ширина запрещённой зоны, значения которых были приведены выше, Mg_2Si превосходит соответствующие характеристики GaAs, Si и Ge. На основании этого можно сделать вывод, что Mg^2Si в наноразмерном состоянии является одним из наиболее перспективных материалов для применения в оптических датчиках.

В результате анализа методов формирования наноразмерного Mg_2Si установлено, что в настоящее время для его получения применяются такие методы, как магнетронное распыление, молекулярно-лучевая эпитаксия и твёрдофазная эпитаксия (ТФЭ). Однако при проведении экспериментов по формированию тонких плёнок Mg_2Si возникает ряд трудностей, связанных с низким коэффициентом конденсации магния и высоким давлением его паров. Поэтому исследования, направленные на поиск экономичных и эффективных методов получения силицида магния в наноразмерном состоянии, продолжаются.

Использованная литература

1. А.В.Поляков., Д.В.Фомин., Н.С.Новгородцев/ Силицид магния–перспективный материал для оптических датчиков: Uspekhi Prikladnoi Fiziki (Advances in Applied Physics), 2023, vol. 11, №1.

2. Горошко Д.Л., Фомин Д.В., Гуральник А.С., Галкин Н. Г./ Химическая физика и мезоскопия. 2009. Т. 11. №3. С. 353–360.

3. Ramirez D. C., Macario L. R., Cheng X., Kleinke H., Cino M., Walsh D., Tseng Y.-C./ ACS Applied Energy Materials. 2020. Vol. 3. №3. P. 2130–2136.

4. Liao Y.-F., Xie Q., Xiao Q.-Q., Chen Q., Fan M.-H., Xie J., Huang J., Zhang J.-M., MaR., Wang S.-L., Wu H.-X., Fang D./ Applied Surface Science. 2017. Vol. 403. P. 302–307.

5. Yu H., Gao C., Zou J., Yang W., Xie Q./ Photonics. 2021. Vol. 8. №11. P. 509.

6. Shevlyagin A., Chernev I., Galkin N. G., Gerasimenko A. V., Terai Y., Hoshida H., Nishikawa N., Ohdaira K., Gutakovskii A./ Solar Energy. 2020. Vol. 211. P. 383–395.

MAGNETRON CHANGLATISH USULIDA SHISHA TAGLIKDA HOSIL QILINGAN NI–V YUPQA PLYONKASINING SIRT TOPOGRAFIYASI VA MORFOLOGIK XUSUSIYATLARINI ATOM-KUCH MIKROSKOPIYASI YORDAMIDA O’RGANISH

Kucharov S., Tashatov A.Q., Normurodov D.A., Rajabov S.N
Qarshi davlat universiteti, Qarshi, 180119, O’zbekiston

Metall asosidagi yupqa plyonkalar zamonaviy elektronika, mikroelektronika, mikroelektromexanik tizimlar va funksional qoplamalar texnologiyasida muhim o‘rin tutadi[1-3]. Ularning fizik xossalari nafaqat kimyoviy tarkibi va kristall tuzilishiga, balki plyonka sirtining morfologiyasi, topografiyasi va notekislik darajasiga ham bevosita bog‘liq[3]. Shu sababli yupqa plyonkalarni olish jarayonida hosil bo‘ladigan sirt tuzilishini aniqlash va uning asosiy topografik parametrlarini miqdoriy baholash materialshunoslikning muhim vazifalaridan biri hisoblanadi[4,5].

Magnetron changlatish orqali tayyorlangan Ni-V qotishma yupqa plyonkalari katalitik faolligi va strukturaviy barqarorligi tufayli katta e'tiborni tortdi. Resnik va boshqalar [6,7] tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda DC magnetron sputtering yordamida olingan Ti/NiV/Ag ko‘p qatlamli strukturalarning yaxshi adgeziya va diffuziya to‘siq xossalariga ega ekanligi ko‘rsatilgan

Shuningdek, Akkus va boshqalar [8] NiV yupqa plyonkalarining katalitik xossalarini o‘rganib, magnetron changlatish orqali tayyorlangan NiV plyonkalar natriy borogidrid gidrolizida sof Ni va NiCr plyonkalarga nisbatan yuqori vodorod hosil qilish samaradorligini namoyon etishini aniqlagan. Boshqa tadqiqotlarda Ni–V asosidagi plyonkalar optik elementlar va multilayer oynalar uchun ham istiqbolli material sifatida ko‘rib chiqilgan. NiV/Ti ko‘p qatlamli strukturalar yumshoq rentgen diapazonida ishlovchi optik qoplamalarda qo‘llanilishi mumkinligi ko‘rsatilgan. Biroq, AFM orqali sirt topografiyasining nozik o‘lchovlari. Shuning uchun NiV plyonkalarida qalinlikka bog‘liq mikrostrukturaviy o‘zgarishlar va ularning sirt hamda elektrofizik xossalarga ta’sirini eksperimental jihatdan aniqlash zarurati mavjud[9].

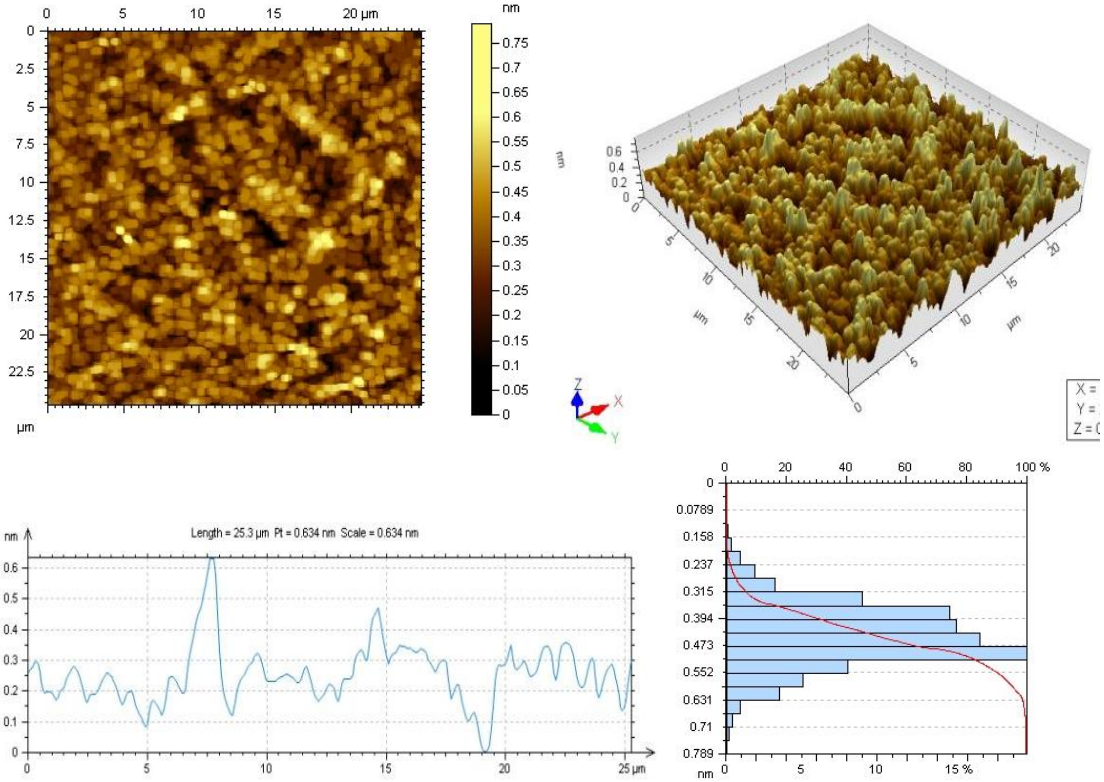
Atom-kuch mikroskopiyasi (AFM) yupqa plyonkalar sirtining uch o‘lchamli topografiyasini nanometr miqyosida o‘rganish imkonini beruvchi samarali tadqiqot usullaridan biridir. Mazkur usul yordamida sirtning topografik tasviri bilan bir qatorda o‘rtacha sirt notekisligi, kvadratik o‘rtacha notekislik (RMS) va boshqa morfologik parametrlarni aniqlash mumkin. Adabiyotlarda magnetron changlatish usulida olingan metall va metall birikmalari asosidagi yupqa plyonkalarning sirt morfologiyasi hamda notekislik parametrlarini AFM yordamida baholash keng qo‘llanilgan. Masalan, vanadiy asosidagi plyonkalarda AFM orqali sirt morfologiyasi va notekislikning plyonka hosil bo‘lish sharoitlariga bog‘liqligi o‘rganilgan.

NiV yupqa plyonkalar shisha (soda-lime glass) tagliklarda magnetron changlatish (PVD) usuli yordamida hosil qilindi. Tagliklar depozitsiyadan avval ko‘p bosqichli ultratovushli tozalash jarayonidan o‘tkazildi (organik erituvchilar va distillangan suvda), so‘ng quritildi. Changlatish kamerasi dastlab 2×10^{-6} Torr darajadagi boshlang‘ich vakuumgacha so‘rildi. Ishchi muhit sifatida yuqori tozalikdagi argon gazi qo‘llanilib, jarayon davomida bosim $1{,}5 \times 10^{-3}$ Torr darajada ushlab turildi. Nishon va taglik orasidagi masofa 12 sm ga teng. Depozitsiya jarayonida taglik harorati 200 °C da barqarorlashtirildi. Plyonkalar ikki xil rejimda hosil qilindi: DC magnetron rejimi (150 W quvvat), impulsli RF rejimi (100 kHz chastota, 180 W quvvat). Tajriba davomida depozitsiya tezligi DC rejimda 0,95 nm/s, impulsli RF rejimda esa 0,84 nm/s ni tashkil etdi. Ushbu qiymatlar asosida dastlabki to’liq qoplamali plyonka qalinligi 150–570 nm oralig‘ida shakllandi. Post-depozitsiya issiqlik ishlovi 600 K haroratda 1 soat davomida vakuum muhitida amalga oshirildi. Issiqlik ishlovining maqsadi strukturaviy barqarorlik, kristall o‘sishi va ichki kuchlanishning kamayishini o‘rganishdan iborat bo‘ldi.

Sirt topografiyasi atom-kuch mikroskopi (ASM) yordamida kontakt va tapping rejimida o‘lchandi. Skanlash maydoni 5 × 5 µm va 25 × 25 µm oralig‘ida tanlandi. Olingan 3D va 2D tasvirlar asosida sirt qo‘polligi parametrlari - o‘rtacha arifmetik qo‘pollik (Ra) va kvadratik o‘rtacha qo‘pollik (Rq) aniqlanib,

annealing va depozitsiya rejimiga bog‘liq ravishda taqqoslandi. Impulsli RF rejimida 10 minut davomida hosil qilingan as-depozitsiyalangan NiV yupqa plyonkaning sirt topografiyasi atom-kuch mikroskopiyasi (AFM) yordamida o‘rganildi. Olingan natijalar 3-rasm(a–d) da keltirilgan.

AFM natijalari plyonkaning sirtida yuqori darajada bir jinsli va kompakt tuzilma shakllanganini ko‘rsatadi. 2D tasvirdan ko‘rinishicha, sirt bo‘ylab kristallar mayda va bir tekis taqsimlangan bo‘lib, yirik agregatsiya yoki klasterlanish kuzatilmaydi. 3D rekonstruksiya esa balandlik o‘zgarishlarining juda kichik amplitudada ekanini tasdiqlaydi, bu esa sirtning yuqori darajada tekis va zich shakllanganini bildiradi. Balandlik taqsimoti gistogrammasi tor intervalda joylashgan bo‘lib, sirt qo‘polligining past ekanini ko‘rsatadi. Profil chizig‘i bo‘yicha tebranishlar kichik amplitudali bo‘lib, sirt bo‘ylab keskin piklar yoki chuqur defektlar aniqlanmadi. Bu holat impulsli RF rejimida atomlarning nisbatan barqaror energiyada kondensatsiyalanishi va sirt bo‘ylab qayta taqsimlanishi bilan izohlanadi. Impulsli RF rejimida plazma barqarorligi yuqori bo‘lgani sababli, sirtga kelib tushgan atomlarning sirt diffuziyasi muvozanatli tarzda kechadi. Natijada nukleatsiya markazlari bir tekis shakllanadi va plyonka zich, mayda kristalli morfologiyaga ega bo‘ldi. Bu o‘sish mexanizmi Volmer–Weber tipidagi orolchali nukleatsiya bosqichidan tezda uzluksiz qatlam hosil bo‘lishiga o‘tish bilan tavsiflanadi.



3-rasm. (a) – 2D sirt topografiyasi, b) – 3D sirt rekonstruksiyasi, c) – sirt balandliklari taqsimoti (histogramma), (d) – sirt bo‘ylab profil chizig‘i

AFM natijalari XRD orqali aniqlangan nanokristall tuzilma bilan mos keladi va plyonkaning strukturaviy yaxlitligini tasdiqlaydi. Sirt qo‘polligining pastligi keyingi elektr o‘lchovlar uchun muhim ahamiyatga ega bo‘lib, kristall chegaralari va sirt tarqalishining kamayishiga xizmat qiladi. Shunday qilib, impulsli RF rejimida 10 minut davomida olingan NiV yupqa plyonka yuqori tekislikka ega, zich va nanokristall tuzilishga ega ekanligi aniqlandi, bu esa depozitsiya jarayonining optimalligini ko‘rsatadi. AFM natijalari sirtning juda tekis ekanligini ko‘rsatdi. Balandlik o‘zgarishi 1 nm dan kichik bo‘lib, maksimal Z qiymati taxminan 0,8 nm ni tashkil etdi. Bu impulsli RF rejimda atomlarning nisbatan past

energiyada va barqaror tarzda kondensatsiyalanishi natijasida zich va bir xil plyonka hosil bo‘lganini ko‘rsatadi. Profil chizig‘i sirt bo‘ylab kichik amplitudali tebranishlarni ko‘rsatadi, bu esa nanokristall tuzilmaning mavjudligini tasdiqlaydi.

Xulosa. NiV qotishmasining yupqa plyonkalari soda-ohak shisha tagliklariga DC va impulsli RF magnetron purkash texnikasidan foydalangan holda muvaffaqiyatli o’stirildi. Morfologik va kompozitsion tahlillar nanokristalli tuzilishga ega bir xil NiV qotishma plyonkalarining hosil bo'lishini tasdiqladi. Qiyosiy tahlil shuni ko'rsatdiki, o’stirish rejimi plyonkalarning morfologik xususiyatlariga sezilarli darajada ta'sir qiladi. AFM tadqiqotlari shuni ko'rsatdiki, cho'ktirilgan plyonkalar past g’adur-budurlikka ega silliq va ixcham sirtlarga ega. Shu bilan birga olingan natijalar magnitron changlatish usulida Ni–V yupqa plyonkalarini shakllantirish jarayonini takomillashtirish, ularning sirt xususiyatlarini boshqarish va funksional yupqa qoplamalar sifatida qo‘llash imkoniyatlarini baholash uchun muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Adabiyotlar.

1) Mamun M.A., Zhang K., Baumgart H., Elmustafa A.A. Evaluation of the nanomechanical properties of vanadium and native oxide vanadium thin films prepared by RF magnetron sputtering. *Applied Surface Science*, 359, 30–35, 2015. DOI: 10.1016/j.apsusc.2015.10.065.

2) Pan L., Qi R., Feng Y. et al. Effect of nitrogen doping on surface morphology, microstructure, chemical composition and intrinsic stress of nickel thin films deposited by reactive sputtering. *Surface and Coatings Technology*, 364, 196–203, 2019. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2019.02.011.

3) Structure and morphology of the Ni films grown by different deposition methods. *Surface and Coatings Technology*, 201, 952–957, 2006. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2006.01.017.

4) D. Resnik, J. Kovač, D. Vrtačnik, S. Amon. Structural investigation of direct current magnetron sputtered Ti/NiV/Ag layers on n+ Si substrate. Thin Solid Films 516 (2008) 7497–7504. doi:10.1016/j.tsf.2008.03.050

5). D. Resnik, D. Vrtacˇnik, U. Aljancˇicˇ, M. Mozˇek, S. Penicˇ, S. Amon. Influence of mechanical stress on adhesion properties of DC magnetron sputtered Ti/NiV/Ag layers on n+Si substrate. Microelectronic Engineering 85 (2008) 1603–1607. doi:10.1016/j.mee.2008.03.007

6). K.T. Dovranov, S.T. Abrayeva, R.M. Yorqulov, N.M. Mustafoeva, T.O. Buzrukov, Sh.A. Jurayeva, A.A. Aminov. Formation and Morphology of Cu nanofilms Using DC and RF Modes of a Magnetron Sputtering Device. Ukrainian Journal of Physics.(2026) 71, 1, pp: 65-65

7). D. Resnik, J. Kovač, D. Vrtačnik, S. Amon. Structural investigation of direct current magnetron sputtered Ti/NiV/Ag layers on n+ Si substrate. Thin Solid Films 516 (2008) 7497–7504. doi:10.1016/j.tsf.2008.03.050

8) D. Resnik, D. Vrtacˇnik, U. Aljancˇicˇ, M. Mozˇek, S. Penicˇ, S. Amon. Influence of mechanical stress on adhesion properties of DC magnetron sputtered Ti/NiV/Ag layers on n+Si substrate. Microelectronic Engineering 85 (2008) 1603–1607. doi:10.1016/j.mee.2008.03.007

MAGNETRON CHANGLATISH USULIDA SHISHA TAGLIKDA SHAKLLANTIRILGAN NI–V YUPQA PLYONKALARINING SIRT MORFOLOGIYASI VA ELEMENT TARKIBINI KOMPLEKS SEM–EDS TADQIQOTI

Ko’charov S.Sh., Tashatov A.Q.
Qarshi davlat universiteti, Qarshi, 180119, O’zbekiston

Nikel asosidagi yupqa plyonkalar mikroelektronika, kontakt metallizatsiyasi, diffuziya to‘siqlari va himoya qoplamalarida keng qo‘llaniladi [1-4]. Xususan, Ni–V qotishmalari (NiV) o‘zining mexanik va kimyoviy barqarorligi hamda termal ishlovga bog‘liq o‘zgarishlarga nisbatan sezgir emasligi bilan ajralib turadi. Shu sababli NiV plyonkalarining struktura va sirt xossalarini chuqur o‘rganish - nafaqat fundamental materialshunoslik, balki amaliy elektronika va fotovoltaika texnologiyalarini optimallashtirish nuqtai nazaridan ham yuqori ahamiyatga ega. Adabiyotlarda Ni va NiMe qotishma plyonkalarining o‘sish mexanizmi, kristallarni o’sishi va shakllanishiga oid ishlar mavjud bo‘lsa-da, aynan NiV qotishmasining changlatish rejimi (DC vs impulsli RF) va qalinlik–issiq ishlov kombinatsiyasining sinovli va integratsiyalangan tahliliga oid tizimli tadqiqotlar cheklangan [5-6].

Ushbu ishda shisha tagliklarga birinchi marta DC va impulsli RF magnetron changlatish yordamida olingan NiV plyonkalarining qalinlikka bog‘liq shakllanishi va sirt morfologiyasini (SEM orqali) aniqlash, shuningdek, element tarkibini (WDXRF/EDS) hisobga olib, SEM/EDS natijalari yordamida tarkib va taglik–plyonka signalining interpretatsiyasini aniqlash

Ushbu tadqiqotlar natijasida magnetron changlatish qurilmasining turli rejimlari bilan hosil qilingan NiV yupqa plyonkalarini mikroelektronika texnologiyalarida metall kontaktlar, diffuziya to‘siqlari va getero qatlamlari sifatida va sensorlar ishlab chiqarishda keng qo‘llaniladi, chunki ular kremniy bilan yaxshi moslashuvchanlikka va yuqori termal barqarorlikka egadir.

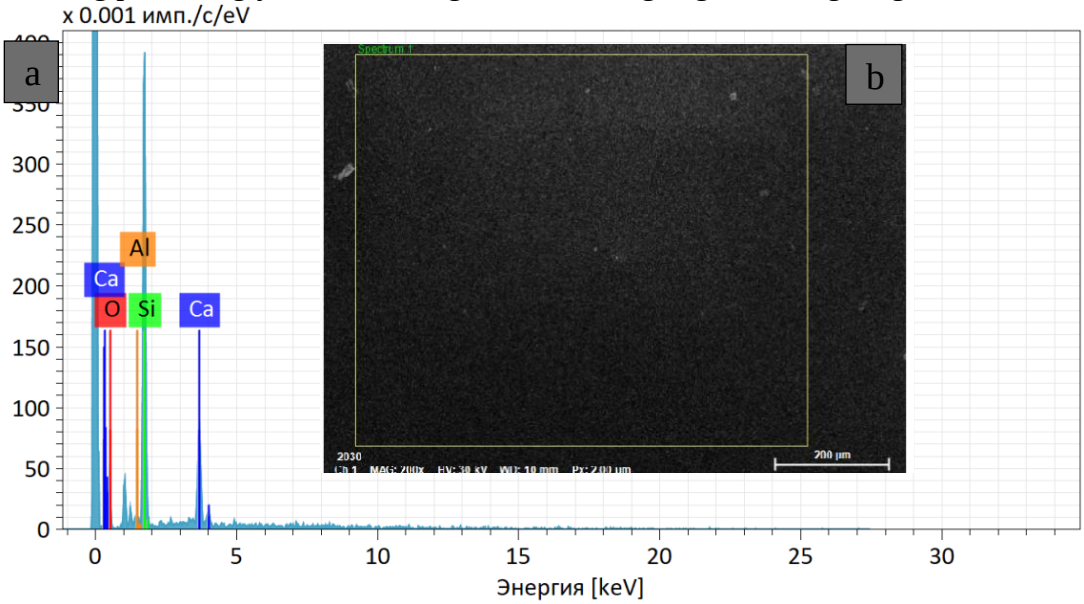
NiV yupqa plyonkalar shisha (soda-lime glass) tagliklarda magnetron changlatish (PVD) usuli yordamida hosil qilindi. Changlatish jarayonida diametri 76,2 mm bo‘lgan, 99,99% tozalikdagi NiV qotishma nishoni ishlatildi. Tagliklar depozitsiyadan avval ko‘p bosqichli ultratovushli tozalash jarayonidan o‘tkazildi (organik erituvchilar va distillangan suvda), so‘ng quritildi. Changlatish kamerasi dastlab 2×10^{-6} Torr darajadagi boshlang‘ich vakuumgacha so‘rildi. Ishchi muhit sifatida yuqori tozalikdagi argon gazi qo‘llanilib, jarayon davomida bosim $1{,}5 \times 10^{-3}$ Torr darajada ushlab turildi. Nishon va taglik orasidagi masofa 12 sm ga teng. Depozitsiya jarayonida taglik harorati 200 °C da barqarorlashtirildi. Plyonkalar ikki xil rejimda hosil qilindi: DC magnetron rejimi (150 W quvvat), impulsli RF rejimi (100 kHz chastota, 180 W quvvat). Tajriba davomida depozitsiya tezligi DC rejimda 0,95 nm/s, impulsli RF rejimda esa 0,84 nm/s ni tashkil etdi. Ushbu qiymatlar asosida dastlabki to’liq qoplamali plyonka qalinligi 150–570 nm oralig‘ida shakllandi.

Plyonkalarning morfologik tuzilishi skanerlovchi elektron mikroskop (SNE ALPHA, SEC) yordamida o‘rganildi. O‘lchovlar 20–30 kV tezlanish kuchlanishida amalga oshirildi. SEM tasvirlar sirtning bir jinsliligi, kristall shakli va defektlarning mavjudligini baholash imkonini berdi. Element tarkibi energiya-dispersiv rentgen spektroskopiya (EDS) yordamida aniqlanib, Ni va V elementlarining mavjudligi tasdiqlandi. Detektor 30 mm² aktiv maydonga ega bo‘lib, Mn-Kα chizig‘ida 123 eV energiya aniqligini ta’minlaydi. Qurilma yuqori hisoblash tezligiga ega bo‘lib, past energiyali elementlarni aniqlash imkonini beradi. Ushbu usul EDS natijalarini aniqlashtirish va kompozitsion barqarorlikni tekshirish uchun qo‘llanildi.

Dastlab NiV yupqa plyonkalarini hosil qilishdan avval shisha taglikning morfologik va element tarkibi o‘rganildi. Taglikning EDS spektri 1-rasm(a) da, SEM tasviri esa 1-rasm(b) da keltirilgan.

SEM tasviridan ko‘rinadiki, shisha yuzasi amorf va bir jinsli tuzilishga ega bo‘lib, kristallarga xos chegaralar kuzatilmaydi. Sirt bo‘ylab yirik yoriqlar yoki strukturaviy defektlar aniqlanmadi. Bu esa taglikning yupqa plyonka hosil qilish uchun mos ekanini ko‘rsatadi. EDS tahlili natijasida asosiy elementlar

sifatida O, Si va Ca aniqlanib, mos ravishda 61,95 at.%, 31,98 at.% va 5,72 at.% ni tashkil etdi. Kichik miqdorda Al elementi (0,35 at.%) ham qayd etildi. Odatda soda-lime glass tarkibi: $SiO_2 \approx 70–75\%$, $Na_2O \approx 12–15\%$, $CaO \approx 8–12\%$ va Al_2O_3 kichik miqdorda bo’ladi. EDS da Na chiqmasligining sababi Na past energiyali element bo’lib, EDS past energiyada sezgirlik pasayishi bilan tushuntirish mumkin. Olingan natijalar soda-lime turidagi silikat shishaning tipik tarkibiga mos keladi. Na elementi aniqlanmagan bo‘lsa-da, bu EDS usulining past energiyali elementlarga nisbatan sezgirligi cheklanganligi bilan izohlanadi.



Rasm 1. Soda-lime glass taglikning SEM tasviri (a) va EDS spektri (b)

Shisha taglik va NiV bilan qoplangan namunaning EDS spektrlari taqqoslanganda tagliklarga xos bo‘lgan Si signali indikator sifatida qabul qilindi. Plyonka+taglik namunasidagi Si atom foizi taglikdagi qiymatga nisbatan masshtablanib, taglik hissasi aniqlanib ayirildi. Ushbu farq-usuli orqali plyonkaga tegishli metall komponentlar qayta normallashtirildi. Hisob-kitob natijasida Ni va V elementlarining o‘zaro nisbati taxminan 94:6 atrofida bo‘lib, bu ishlatilgan 93:7 tarkibli nishon bilan yaxshi mos keladi. Bu natija DC rejimida hosil qilingan plyonkaning NiV qotishmasi sifatida muvaffaqiyatli shakllanganini tasdiqlaydi. Taglik elementlarining mavjudligi plyonkaning nisbatan kichik qalinligi va yuqori tezlanish kuchlanishi bilan izohlanadi.

2-jadval. Shisha taglik, NiV/shisha namunasi va substrat hissasi ayirilgandan keyingi NiV plyonkaning hisoblangan atom foiz tarkibi (EDS asosida)

Element	taglik (at.%)	plyonka+taglik (at.%)
Ni	0	47,06
V	0	3,2
Si	31,98	13,6
O	61,95	29,14
Ca	5,72	7,01

NiV plyonkaning haqiqiy element nisbatini aniqlash maqsadida EDS natijalari tagliklar hissasini hisobga olgan holda qayta ishlandi

Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, taglikning kimyoviy tarkibi va morfologiyasi NiV plyonkalari o'sish jarayoniga sezilarli xalaqit bermaydi. Amorf va bir jinsli sirt plyonka nukleatsiyasi uchun barqaror muhit yaratadi.

Xulosa. SEM va EDS natijalarining o'zaro mosligi plyonkaning taglik bilan yaxshi adgeziyaga ega ekanini va depozitsiya jarayonida fazaviy ajralish sodir bo'lmaganini ko'rsatadi. Morfologik bir jinslilik va element tarkibining tasdiqlanishi plyonka shakllanish mexanizmining dastlabki bosqichlarida nukleatsiya markazlarining ko'p sonli va bir tekis taqsimlanganini anglatadi. Bu esa keyingi strukturaviy evolyutsiya jarayonlari - kristallit o'sishi, kristall chegaralarining shakllanishi va ichki kuchlanishning rivojlanishi - uchun asos yaratadi. Shunday qilib, DC rejimida qisqa vaqtli depozitsiya sharoitida ham NiV qotishmasi zich va uzluksiz yupqa plyonka hosil qilish qobiliyatiga ega ekanligi aniqlanadi.

Ababiyotlar.

1. E. Wagner, C.S. Sandu, S. Harada, G. Benvenuti, V. Savu, P. Muralt. Fabrication of complex oxide microstructures by combinatorial chemical beam vapour deposition through stencil masks. Thin Solid Films 586 (2015) 64–69. http://dx.doi.org/10.1016/j.tsf.2015.04.021
2. M.A. Davlatov, K.T. Dovranov*, X.T. Davranov, S.N. Xusanov, A.R. Kodirov, S. Xolikulova. Structural characteristics and optical properties of SiC thin films produced by the RF-PVDmethod. East european journal of physics. 2. 330-334 (2025)
3. Rodofili, A., Wolke, W., Kroely, L., Bivour, M., Cimiotti, G., Bartsch, J., Glatthaar, M. and Nekarda, J. (2017), Laser Transfer and Firing of NiV Seed Layer for the Metallization of Silicon Heterojunction Solar Cells by Cu-Plating. Sol. RRL, 1: 1700085. https://doi.org/10.1002/solr.201700085
4. R. Ricciari, E.P. Ferlito, G. Pizzo, M. Padalino, G. Anastasi, M. Sacchi, G. Pappalardo, C. Consalvo, D. Mello. Auger electron spectroscopy characterization of Ti/NiV/Ag multilayer back-metal for monitoring of Ni migration on Ag surface. Microelectronics Reliability (2025) MR-11714; No of Pages 5, http://dx.doi.org/10.1016/j.microrel.2015.07.020
5. G.Seryogin. George Seryogin George Seryogin Stephen Golovato Stephen Golovato S. Smith Gretchen Adema Gretchen Adema. NiV Stress Control Utilizing PVD withan ArN2 Gas Mixture. IMAP Source Proceedings 2012(1):000073-000078. DOI: 10.4071/isom-2012-TA31
6. E. Avendaño,a,b,d,z A. Azens,c G. A. Niklasson,a and C. G. Granqvist. Proton Diffusion and Electrochromism in Hydrated NiOy and Ni1−xVxOy Thin Films. Journal of The Electrochemical Society, 152 (12) F203-F212 .2005.

NANOELEKTRONIKA MATERIAL TARKIBINI TAHLIL QILISHDA YADRO-FIZIKAVIY USULLARDAN FOYDALANISH

Saitnazarov Botir Jumageldiyevich
Termiz davlat pedagogika instituti Fizika kafedrasi o'qituvchisi
e-mail: saitnazarovbotir@gmail.com

Zamonaviy mikro va nanoelektronika texnologiyalarining jadal rivojlanishi yarimo'tkazgich materiallar, yupqa pardalar, ko'p qatlamli nanostrukturalar va funksional qoplamalarning tarkibi hamda strukturaviy xususiyatlarini yuqori aniqlikda nazorat qilishni talab etmoqda. Nanoelektronika elementlarining geometrik o'lchamlari nanometr diapazoniga kamayib borishi bilan material tarkibidagi juda kichik miqdordagi begona atomlar, legirlovchi elementlar yoki texnologik aralashmalar ham qurilmaning elektr, optik va fizik xususiyatlariga sezilarli ta'sir ko'rsatishi mumkin. Shu sababli materialning element tarkibini, qatlamlar

bo‘yicha taqsimlanishini va chuqurlik profilini aniqlash zamonaviy materialshunoslikning muhim masalalaridan biridir.

Ayniqsa, yarimo‘tkazgichli nanoqurilmalarda legirlash konsentratsiyasi, yupqa qatlamlar orasidagi diffuziya, sirt ifloslanishi va begona elementlarning mavjudligini aniqlash texnologik jarayonning barqarorligini ta’minlash uchun muhimdir. Bunday vazifalarni bajarishda oddiy kimyoviy yoki optik tahlil usullari bilan bir qatorda yadro-fizikaviy analitik usullar ham katta imkoniyatlarga ega. Ularning asosiy afzalligi shundaki, tahlil jarayonida atom yadrosi bilan sodir bo‘ladigan o‘zaro ta’sirlardan foydalaniladi va shu orqali materialning element tarkibi haqida yuqori sezgirlikdagi axborot olinadi [1].

Nanoelektronika materiallarini tadqiq qilishda Rutherford Backscattering Spectrometry — Rutherfordning teskari sochilish spektrometriyasi (RBS), Proton-Induced X-ray Emission — protonlar ta’sirida hosil bo‘ladigan rentgen nurlanishi (PIXE) hamda Neutron Activation Analysis — neytron-aktivatsion tahlil (NAA) kabi metodlar alohida ahamiyatga ega. Mazkur usullar fizik prinsiplariga ko‘ra bir-biridan farq qilsa-da, ularni umumiy jihat — material tarkibini yadroviy jarayonlar va zarralar-materiya o‘zaro ta’siri asosida aniqlash imkoniyatidir [1; 2].

1. Rutherfordning teskari sochilish usuli (RBS) va yupqa qatlamlar profili

Rutherfordning teskari sochilish spektrometriyasi yuqori energiyali zaryadlangan zarralarning material atomlari yadrolari bilan elastik to‘qnashuvi natijasida orqaga sochilish hodisasiga asoslanadi. Odatda tahlil qilinayotgan namuna yuzasiga ma’lum energiyaga ega bo‘lgan He^+ ionlari yo‘naltiriladi va orqaga sochilgan ionlarning energiyasi hamda soni detektor yordamida qayd etiladi [1].

RBS usulining muhim xususiyati shundaki, qayd etilgan ion energiyasi nafaqat elementning atom massasiga, balki zarra namuna ichida qancha chuqurlikdan sochilganiga ham bog‘liq bo‘ladi. Zarra namuna ichiga kirish va undan chiqish jarayonida energiya yo‘qotgani sababli turli chuqurliklarda joylashgan atomlardan sochilgan ionlar turlicha energiyaga ega bo‘ladi. Natijada RBS spektri yordamida yupqa qatlamning element tarkibi bilan birga uning chuqurlik bo‘yicha taqsimlanishini ham baholash mumkin [1; 3].

Nanoelektronika uchun ushbu imkoniyat ayniqsa ko‘p qatlamli nanostrukturalar, metall-yarimo‘tkazgich chegaralari, oksid qatlamlari va legirlangan yupqa pardalarni o‘rganishda muhimdir. Masalan, substrat yuzasida joylashgan bir necha nanometr qalinlikdagi qatlamning tarkibini aniqlashda RBS spektridagi energiya taqsimoti qatlamning taxminiy qalinligi va tarkibi haqida ma’lumot berishi mumkin.

RBS yordamida material tarkibini miqdoriy tahlil qilish uchun tajriba spektri nazariy modellar bilan taqqoslanadi. Bunda ionlarning energiya yo‘qotishi, elastik sochilish kesimi, atom massasi va qatlamlarning ketma-ketligi hisobga olinadi. Shu jihatdan RBS nanoelektronika materiallarining tarkibiy va chuqurlik bo‘yicha profilini nazorat qilish uchun kuchli instrumental usul hisoblanadi [1].

2. Proton chaqirgan rentgen nurlanishi (PIXE) va elementlar sezuvchanligi

PIXE usuli material tarkibidagi elementlarni yuqori sezgirlik bilan aniqlashga asoslangan yadro-fizikaviy analitik metodlardan biridir. Unda yuqori energiyali protonlar namuna atomlari bilan o‘zaro ta’sirlashadi va atomning ichki elektron qobiqlarida vakansiyalar hosil bo‘ladi. Elektronlarning yuqori energetik sathlardan quyi sathlarga o‘tishi natijasida elementga xos xarakteristik rentgen nurlanishi yuzaga keladi. Mazkur rentgen spektrini qayd qilish orqali namuna tarkibidagi elementlar identifikatsiya qilinadi [2].

PIXE ning asosiy afzalliklaridan biri uning ko‘plab elementlarga nisbatan yuqori sezuvchanligidir. Bu xususiyat nanoelektronika materiallarida asosiy komponentlar bilan bir qatorda juda kichik miqdordagi aralashmalarni aniqlashda muhim ahamiyat kasb etadi. Masalan, yarimo‘tkazgich material tarkibiga texnologik jarayon davomida tasodifan kirib qolgan metall yoki boshqa begona elementlar PIXE spektrida xarakteristik rentgen chiziqlari orqali aniqlanishi mumkin [2; 4].

PIXE usuli sirtga yaqin qatlamlarni, yupqa pardalarni, nanokompozit materiallarni va mikroelektronika komponentlarini elementlar bo‘yicha tahlil qilishda qo‘llanishi mumkin. Spektrdagi xarakteristik chiziqlarning energiyasi elementning atom raqami bilan bog‘liq bo‘lsa, ularning intensivligi tegishli element miqdori haqida ma’lumot beradi. Shu tariqa sifat va miqdoriy tahlilni birgalikda amalga oshirish imkoniyati paydo bo‘ladi.

PIXE ning ilmiy-amaliy ahamiyati shundan iboratki, u materialning umumiy kimyoviy tarkibini emas, balki mikro va nanoelektronika uchun muhim bo‘lgan elementlarning mavjudligi va nisbiy miqdorini fizik asosda baholash imkonini beradi. Bu esa materiallarni sintez qilish, yupqa qatlamlarni shakllantirish va texnologik jarayonlarni nazorat qilishda qo‘shimcha analitik imkoniyat yaratadi [2; 4].

3. Neytron-aktivatsion tahlil (NAA) va mikrokristallardagi aralashmalar diagnostikasi

Neytron-aktivatsion tahlil material tarkibidagi elementlarni aniqlashning yuqori sezgir yadro-fizikaviy usullaridan biridir. Ushbu metodda namuna neytronlar oqimi bilan nurlantiriladi va atom yadrolari neytronlarni yutishi natijasida radioaktiv izotoplar hosil bo‘lishi mumkin. Hosil bo‘lgan radionuklidlar o‘ziga xos gamma-nurlanish chiqaradi. Gamma-spektrni tahlil qilish orqali namuna tarkibida mavjud elementlar identifikatsiya qilinadi [1; 2].

NAA ning muhim jihati shundaki, tahlil qilinayotgan elementning aniqlanishi uning yadroviy xususiyatlari bilan bog‘liq bo‘ladi. Shu sababli ayrim hollarda kimyoviy va fizik jihatdan juda murakkab matritsaga ega bo‘lgan materiallarda ham elementlarni aniqlash imkoniyati mavjud. Bu xususiyat yuqori tozalik talab qilinadigan mikro va nanoelektronika materiallari uchun katta ahamiyatga ega.

Mikrokristallar, yarimo‘tkazgich materiallar va nanostrukturali tizimlarda juda kam miqdordagi aralashmalar ham materialning elektr o‘tkazuvchanligi, zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi yoki rekombinatsion jarayonlariga ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Shu sababli NAA orqali mikro miqdordagi aralashmalarni aniqlash material sifatini baholashning muhim tarkibiy qismiga aylanishi mumkin [1; 4].

NAA, shuningdek, material tarkibini aniqlashda etalon namunalar va kalibrlash yondashuvlaridan foydalanish orqali miqdoriy baholash imkonini beradi. Bunda gamma-nurlanish energiyasi radionuklidni aniqlash, uning intensivligi esa tegishli element konsentratsiyasini baholash uchun asos bo‘lib xizmat qiladi. Ushbu metod mikro va nanoelektronika materiallarining yuqori darajadagi tozaligini nazorat qilish hamda texnologik jarayonlardan kelib chiqadigan iz miqdordagi aralashmalarni aniqlashda ilmiy-amaliy qiymatga ega.

XULOSA VA ILMIY-AMALIY QIYMATI

Nanoelektronika materiallarining tarkibini yuqori aniqlikda nazorat qilish zamonaviy mikro va nanoelektronika texnologiyalarining barqaror rivojlanishi uchun muhim shartlardan biridir. RBS, PIXE va NAA kabi yadro-fizikaviy usullar materialning element tarkibi, yupqa qatlamlar profili va mikro miqdordagi aralashmalar haqida bir-birini to‘ldiruvchi analitik axborot olish imkonini beradi [1; 2].

RBS yordamida yupqa qatlamlarning element tarkibi va chuqurlik bo‘yicha taqsimlanishini o‘rganish mumkin bo‘lsa, PIXE yuqori sezgirlik bilan ko‘plab elementlarni identifikatsiya qilish va ularning miqdoriy nisbatini baholash imkonini beradi. NAA esa ayrim mikro va iz miqdordagi elementlarni yadroviy reaksiyalar natijasida hosil bo‘ladigan xarakteristik gamma-nurlanish asosida aniqlash imkoniyatini yaratadi [1–4].

Mazkur metodlarning muhim afzalliklaridan biri — tahlil qilinayotgan materialni sezilarli darajada buzmasdan yoki minimal shikastlantirish bilan uning tarkibi haqida ilmiy asoslangan ma’lumot olish imkoniyatidir. Ayniqsa, qimmatbaho nanostrukturalar, yupqa funksional pardalar va tayyor mikroelektronika elementlarini tadqiq qilishda bunday yondashuv alohida ahamiyatga ega.

Umuman olganda, yadro-fizikaviy analitik usullarni nanoelektronika materialshunosligiga integratsiya qilish materiallarning strukturaviy va element tarkibini nazorat qilish, texnologik jarayonlarni optimallashtirish hamda yuqori sifatli elementlar bazasini shakllantirish uchun samarali ilmiy yo‘nalish

hisoblanadi. RBS, PIXE va NAA metodlarining kompleks qo‘llanilishi material tarkibini turli fizik mexanizmlar asosida tekshirish va olingan natijalarni o‘zaro taqqoslash imkonini berib, nanoelektronika uchun mo‘ljallangan yangi avlod materiallarining ishonchliligi va sifatini oshirishga xizmat qiladi [1; 2; 4].

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Chu W.-K. **Backscattering Spectrometry.** New York: Academic Press, 1978.
2. Johansson S.A.E., Campbell J.L. **PIXE: A Novel Technique for Elemental Analysis.** Chichester: John Wiley & Sons, 1988.
3. Mayer M. **SIMNRA User’s Guide.** Technical Report IPP 9/113, Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching, Germany, 1997.
4. De Soete D., Gijbels R., Hoste J. **Neutron Activation Analysis.** London: Wiley-Interscience, 1972.

YIG MAGNIT NANOPLYONKALARINI FIZIK VA KIMYOVIY OLISH USULLARI

Sayitqulova Shaxriniso Xolbek qizi[1], Abdulxafizova N.O[2] , Ochilov O.O[2]
[1]O‘zbekiston Milliy Universiteti magistranti, [2]O‘zbekiston Milliy Universiteti Nanotexnologiyalarni rivojlantirish markazi
sayitqulovashaxri@gmail.com

Ushbu ishda adabiyotlar tahlili asosida magnit nanoplyonkalar, xususan, ittriy-temir granat ($Y_3Fe_5O_{12}$, YIG) yupqa plyonkalarining xususiyatlari va olish usullari tahlil qilingan. YIG nanoplyonkalarining yuqori elektr qarshiligi, kichik magnit so'nishi va magnito-optik xususiyatlari ularni mikroelektronika, yuqori chastotali elektronika, spintronika, optoelektronika va magnito-optik qurilmalarda qo'llash imkonini beradi [1,2]. Biroq yuqori sifatli YIG plyonkalarini olish murakkabligicha qolmoqda, chunki plyonka qalinligi, kristallik va interfeys sifatini boshqarish ularning magnit va MO xususiyatlarini optimallashtirish uchun muhim. Shuningdek, magnetron purkash, impulsli lazerli cho'ktirish, sol-gel va boshqa fizik hamda kimyoviy usullarning imkoniyatlari tasniflanib tahlil qilingan. Tahlil natijalari olish texnologik parametrlarini optimallashtirish plyonkalarning strukturaviy, magnit va magnito-optik xususiyatlarini yaxshilashda muhim ekanligini ko'rsatdi [3].

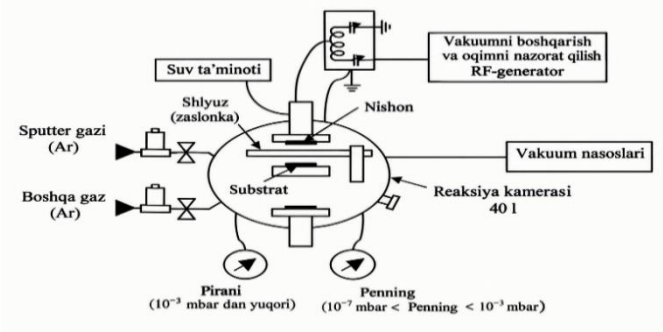
I. Fizik cho‘ktirish usullari: YIG nanoplyonkalarni olishda fizik cho‘ktirish usullari o‘ta yuqori tozalikdagi, kristallanish yo‘nalishi aniq bo‘lgan epitaksial yoki teksturalangan qatlamlar hosil qilish imkonini beradi [3]. Fizik cho’ktirish usullari quyidagilar:

1. Impulsli lazerli cho‘ktirish (PLD — Pulsed Laser Deposition) usuli ferrit va murakkab oksidli tizimlarni o‘ta yuqori kristalli tozalikda olish uchun eng keng tarqalgan va samarali usullardan biridir [4]. Yuqori energiyali qisqa impulsli lazer nuri vakuum kamerasidagi YIG nishoniga yo‘naltiriladi. Lazer ta'sirida nishon yuzasidagi modda bir zumda bug‘lanadi va yuqori energiyali plazma oqimini hosil qiladi. Ushbu plazma oqim qarshisida joylashgan substrat yuzasiga borib uriladi va kristall qatlam hosil qiladi. Nishondagi multikomponentli oksid elementlari nisbatini (Y:Fe = 3:5) plyonkaga deyarli buzmasdan ko‘chira oladi. Termodinamik chegaralardan yuqori bo‘lgan Bi-almashgan YIG tizimlarini Gadoliniy Galiy granat (GGG) substratlarida muvaffaqiyatli epitaksial o‘stirish imkonini beradi. Ammo lazer nuri nishonga urilishi natijasida plyonka yuzasida mikroskopik tomchilar yoki zarrachalar ajralib chiqishi mumkin, bu esa sirt g‘adir-budurligini oshiradi. Yupqa plyonkalarda (<20 nm) sirt va chegara nuqsonlari tufayli magnit xususiyatga ega bo‘lmagan "o’lik qatlam" effekti yuqori bo‘ladi [3].

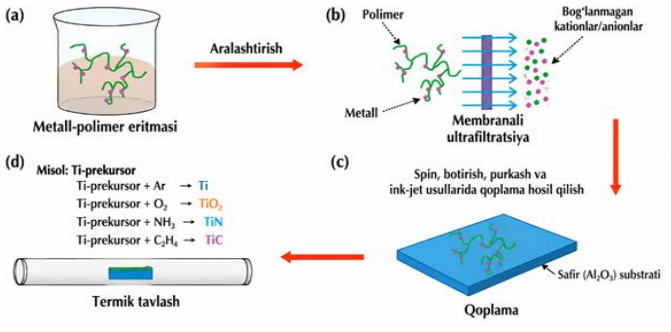
2. Magnetronli purkash — bu fizik bug’lanish jarayoni bo’lib, unda energetik zarralar, odatda plazma ionlari nishon materialini bombardimon qiladi. Nanomateriallar texnologiyasida ommaviy ishlab chiqarishga eng moslashgan, plyonka qalinligini juda aniq boshqarish imkonini beruvchi fizik usuldir. Bu usulda ishchi kameraga inert gaz (Ar) va kislorod kiritiladi (1-rasm). Kuchli elektromagnit maydon

yordamida gaz ionlashtirilib plazma hosil qilinadi. Musbat zaryadlangan Ar ionlari manfiy zaryadlangan YIG nishoniga yuqori tezlikda borib uriladi va nishon atomlarini mexanik ravishda urib chiqaradi. Chiqqan atomlar substrat yuzasida qayta kondensatsiyalanib plyonka hosil qiladi. YIG kabi dielektrik materiallar uchun magnetron tizimida Radiochastotali generatorlar qo‘llaniladi. Magnetronli purkash muhitida kislorod ulushi 2--5% atrofida bo‘ladi. Cho‘ktirish tezligi oddiy sharoitda juda past bo’lib, taxminan 1.74 nm/minni tashkil etadi. Ammo maxsus halqasimon konfiguratsiyalar orqali bu tezlikni 4.78--10.85 nm/min gacha oshirish mumkin. Cho‘ktirilgan YIG plyonkalari dastlab amorf va nomagnit bo‘lgani uchun ularni havo yoki kislorod muhitida 740—850 ^{0}C da 2 soat davomida majburiy termik toblash kerak. Ushbu usul katta maydonli substratlarga o‘ta tekis, bir jinsli plyonka qoplash imkoniyatini beradi. GGG, Si va kvars kabi sanoatbop substratlarga integratsiya qilish qulayligi juda yuqori. Lekin magnetronli purkash plyonkalarida ko‘pincha kislorod vakansiyalari yuzaga keladi. Bu esa temir ionlarining qisman Fe^{3+} dan Fe^{2+} yoki Fe^{4+} holatiga o‘tishiga sabab bo‘ladi va umumiy magnitlanish kuchini kamaytiradi. PLD yoki LPE usullariga qaraganda, magnetronli purkash plyonkalarida ferromagnit rezonans (FMR) chizig‘i kengroq bo‘ladi, bu esa tizimdagi magnit energiya yo‘qotishlarining yuqoriligini ko'rsatadi [3].

3. Aerozolli cho‘ktirish (AD — Aerosol Deposition)— usulining asosiy afzalligi past haroratlarda zich plyonkalar hosil qilish qobiliyatidir.Bu uni shisha yoki polimerlar kabi issiqlikka sezgir substratlar uchun mos qiladi. Bu usul an’anaviy usullarga qaraganda osonroq va arzonroq, chunki u murakkab kimyoviy reaksiyalar yoki vakum jarayonlarsiz amalga oshiriladi [5]. Nano yoki mikrometr o‘lchamli YIG kukunlari tashuvchi inert gaz (He yoki N) oqimi bilan aralashtirilib, aerozol oqimi shakliga keltiriladi. Maxsus soplo orqali ushbu oqim o‘ta yuqori tezlikda substrat yuzasiga purkaladi. Zarrachalar substratga urilganda o‘zlarining kinetik energiyasi hisobiga plastik deformatsiyalanadi, maydalanadi va bir-biri bilan qattiq mexanik bog‘lanib, zich plyonka hosil qiladiGaz oqimi tezligi 0.5 dan 10 L/min gacha boshqariladi. Cho‘ktirish tezligi juda yuqori — 1 dan 3μm/min gacha bo’ladi. Kristallik struktura va magnit xususiyatlarni tiklash uchun 700—900 ^{0}C da qo‘shimcha termik ishlov beriladi. Ushbu usulning afzalliklari substratni qizdirish talab etilmaydi, turli xil erish haroratiga ega materiallarni birgalikda cho‘ktirish mumkin. Qisqa vaqt ichida qalinligi bir necha yuz mikrometr bo‘lgan qalin plyonkalarni hosil qila oladi. Ammo AD usulida olingan plyonkalarning FMR rezonans chizig‘i kengligi ΔH= 346-422 Oe boshqa usullarga qaraganda 100-200 Oe ga kengroqdir, bu tizimdagi g‘ovaklik va ichki kuchlanishlar bilan bog‘liq [3].



1-rasm RF magnetronli purkagichning sxematik diagrammasi



2-rasm. PAD yordamida yupqa plyonkalarni o’stirish uchun ishlov berish bosqichlari sxemasi

II. Kimyoviy cho‘ktirish usullari YIG nanoplyonkalarni olishda yuqori samaradorligi, plyonka tarkibini kimyoviy jihatdan moslashuvchan boshqarish imkoniyati va murakkab geometriyali yuzalarni qoplash xususiyati bilan ajralib turadi [3]. Kimyoviy cho‘ktirish ham bir qancha usullarga bo‘linadi:

1. Suyuq fazali epitaksiya (LPE — Liquid Phase Epitaxy) usuli yuqori sifatli, qalin va kam yo‘qotishli monokristal granat plyonkalarni olishda standart usul hisoblanadi.YIG oksid birikmalari yuqori

haroratda erituvchi fluslar ($PbO:B_2O_3$, Li_2MoO_4) ichida eritilib, o‘ta to‘yingan suyuq eritma hosil qilinadi. Eritma harorati suyuqlanish chegarasidan biroz pastga tushirilganda ΔT = 3-70 ^{0}C, panjarasi mos keluvchi monokristal GGG substrati eritma ichiga botiriladi yoki maxsus platina qayiqchani chayqash mexanizmi qo'llaniladi. Suyuqlik sovushi natijasida substrat yuzasida granat kristallari qatlamma-qatlam o'sib boradi. Eritmani tayyorlash va muvozanatlash -1100 ^{0}C haroratda amalga oshiriladi. O‘stirish harorati odatda 880 ^{0}C dan 1000 ^{0}C gacha oraliqda bajariladi. O‘sish tezligi 25—100 Å/s oralig’ida bo’ladi. Kristallanish sifatini oshirish uchun flus eritmasining sovutilishi taxminan 1 °C/soat tezlikda o'ta sekin bajariladi. Kristallik darajasi o'ta yuqori bo‘lgan, FMR chizig‘i kengligi juda tor (<1 Oe) mikrometr qalinlikdagi plyonkalar hosil qiladi. Eng muhimi, FMR chizig‘i kengligi juda tor (<1 Oe) bo'lib, magnit yo'qotishlar minimal darajadadir. LekinYupqa nanoplyonkalarni (20nm dan past) o'stirishda texnologik qiyinchiliklar mavjud. Termodinamik jihatdan beqaror bo‘lgan granatlarni (masalan, BIG) LPE usulida sintez qilib bo‘lmaydi. Flus tarkibidagi Pb^{2+}ionlari plyonkaga aralashib, uning optik o‘tkazuvchanligini pasaytirishi mumkin [3].

2. Sol-gel va aylantirib/botirib qoplash (Sol-Gel va Spin/Dip Coating). Bu suyuq kimyoviy eritmalar yordamida nanoplyonkalar olishning eng ommabop va tejamkor usulidir. Metall-organik yoki noorganik tuzlar ($Y(NO_3)_3$ va Fe $(NO_3)_3$ organik erituvchilar va kompleks hosil qiluvchi barqarorlashtirgichlar (EDTA) yoki limon kislotasi) bilan ultratovushli vannada aralashtirilib, "sol" eritmasi tayyorlanadi. Ushbu eritma substratga ikki xil usulda qoplanadi:Spin-qoplama usulida eritma substrat markaziga tomizilib, 2000--5000 rpm tezlikda aylantiriladi. Markazdan qochma kuchi eritmani yuzaga tekis yoyadi [6]. Botirish-qoplamasi usulida **s**ubstrat eritma ichiga~2 minut davomida botirib qo'yiladi va o'ta doimiy past tezlikda 0.3 cm/s yuqoriga tortib olinadi [7]. Quritish rejimida organik qoldiqlar va erituvchini yo'qotish uchun dastlab 150—200 ^{0}C da qizdiriladi. Multi-qoplash usulida har bir qatlam surtilgandan keyin quritish takrorlanadi. Yakuniy toblash amorf strukturani to'liq YIG granat fazasiga o'tkazish uchun havo atmosferasida 800—1000 ^{0}C haroratda 2-5 soat toblanadi.

Usulning afzalliklari o'ta murakkab va qimmat vakuum uskunalarini talab qilmaydi, tannarxi juda arzon. Plyonka mikrostrukturasini va tarkibini eritma orqali boshqarish oson. Ammo qatlam soni va qalinligi ortishi bilan sirtning g‘adir-budurligi sezilarli darajada ortadi. Yuqori haroratli toblash jarayonida plyonkaning ichki zichligi o'zgarishi sababli mikrog‘ovaklar va yorilishlar hosil bo‘lish ehtimoli juda yuqori [3].

3. Polimer yordamida cho‘ktirish (PAD — Polymer-Assisted Deposition)— bu metall kationlarini polimerlar bilan bog'lash orqali stexiometriyani o'ta aniq nazorat qiluvchi zamonaviy eritma usulidir. Y^{3+} va Fe^{3+} kationlari dastlab EDTA agenti bilan kompleks hosil qiladi, so'ngra eritmani stabillashtirish uchun suvda eruvchan maxsus polimer qo'shiladi [8]. Polimer metall ionlarining muddatidan oldin cho'kishiga yo'l qo'ymaydi va kimyoviy bir jinslilikni ta'minlaydi (2-rasm). Tayyor eritma spin yoki dip coating orqali sirtga surtilgach, dastlab 500 ^{0}C atrofida qizdirilib polimer karkasi yo'qotiladi, so'ngra yuqori haroratda toblanadi. Toblash muhiti 750 ^{0}C haroratda toza kislorod emas, oddiy havo atmosferasida toblash sirt g'ovakligini bostiradi va ikkilamchi fazalarni kamaytiradi. Toblashdan keyin termal kuchlanishlar tufayli yorilishlar hosil bo'lmasligi uchun 3 ^{0}C/min tezlikda o'ta sekin sovutiladi. Ushbu usulning afzalligi narxi arzon bo'lsa-da, epitaksial sifati fizik PLD usuli darajasiga yaqinlashadi. Lekin majburiy post-toblash jarayonini talab qiladi va faqatgina metall oksidi asosidagi plyonkalar olish bilan cheklangan[3].

4. Gidrotermal sintez va Purkab piroliz -bu usul metall nitrat tuzlari eritmasi ammoniy asosi yordamida kerakli pH darajasiga 7-10 keltiriladi va Teflon bilan qoplangan po'lat avtoklav ichiga joylashtiriladi. Tizim 180—250 ^{0}C harorat va yuqori bosim ostida bir necha soat ushlanadi. Kamchiligi — toblashsiz to'liq bir fazali YIG olish qiyinligi. Metall tuzlari eritmasi ultratovushli atomizator yordamida aerozol tumani shakliga keltiriladi va yuqori haroratli 1200 ^{0}C kameraga purkaladi. Erituvchi bir zumda

bug'lanib, substratda YIG qatlami kristallanadi. O'sish tezligi juda yuqori (0.10 mm/min) bo'lsa-da, sirtda α-Fe_2O_3 aralashmalari cho'kish xavfi bor [3].

Adabiyotlar tahlili asosida YIG nanoplyonkalarini olishning fizik va kimyoviy usullari ko‘rib chiqildi. Tahlil natijasida har bir usulning o‘ziga xos afzallik va kamchiliklari mavjudligi, plyonkaning kristallik darajasi, qalinligi, sirt sifati hamda magnit xususiyatlari olish texnologiyasiga bevosita bog‘liqligi aniqlandi. YIG nanoplyonkalarini olishda PLD, magnetronli purkash, LPE, CVD, sol-gel va PAD kabi usullar keng qo‘llanilishi qayd etildi.

Foydalanilgan adabiyotlar

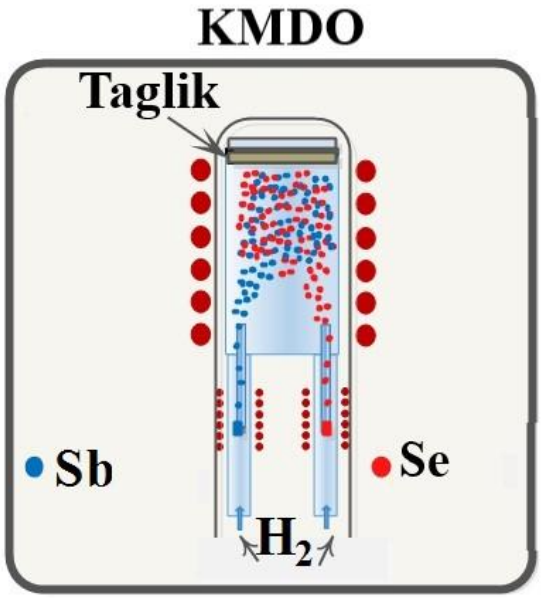
1. N.A. Raad, H. Shokrollahi, M. Basavad, S. Arab, Magnetic performance and structural evaluation of La, Ce, Bi-substituted yttrium iron garnets, Ceram. Int. 46 (13) (2020) 21551–21559.
2. K. Kasahara, S. Sueda, T. Manago, Thickness dependences of the dynamic magnetic properties of epitaxial YIG films prepared by a metal–organic decomposition method, AIP Adv. 12 (1) (2022).
3. N. Askarzadeh , H. Shokrollahi "Advances in YIG thin films: Deposition strategies and substrate effects" , Materials Science and Engineering Department, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran 2025 Results in Chemistry 16 (2025) 102390. 4-26.
4. L. Soumah, "Pulsed Laser Deposition of Substituted Thin Garnet Films for Magnonic Applications," Universit´e Paris Saclay (COmUE), 2019.
5. S.-M. Nam, Low temperature fabrication of BaTiO_3 thick films by aerosol deposition method and their electric properties, Tran, MRS Jpn. 29 (4) (2004) 1215–1218.
6. Y. O¨ ztürk, I. Avgin, M. Erol, E. Çelik, Cerium-doped yttrium iron garnet thin films prepared by sol-gel process: Synthesis, characterization, and magnetic properties, in: Advances in Nanoscale Magnetism, Springer, 2009, pp. 113–129.
7. T. Tsuchiya, T. Sei, H. Kanda, Sol-gel preparation of YIG (Y3Fe5O12) thin film showing opto-magnetic effect, J. Non-Cryst. Solids 147 (1992) 463–466.
8. H. Ren, J. Zhong, G. Xiang, The progress on magnetic material thin films prepared using polymer-assisted deposition, Molecules 28 (13) (2023) 5004.

Sb_2Se_3 YUPQA QATLAMLARINING STRUKTURAVIY XOSSALARIGA QIZDIRISHNING TA'SIRI

[1]B.A. Ergashev, [1]R. Yuldoshev, [1]D. Isaqov, [1]R. Xurramov,
[1]S.M. Bobomuradov[*], [2]A.I. Eshqorayev
[1]O‘zR FA S.A.Azimov nomidagi Fizika-texnika instituti
[2]Termiz davlat universiteti
e-mail: sherzodbobomuradov2@gmail.com

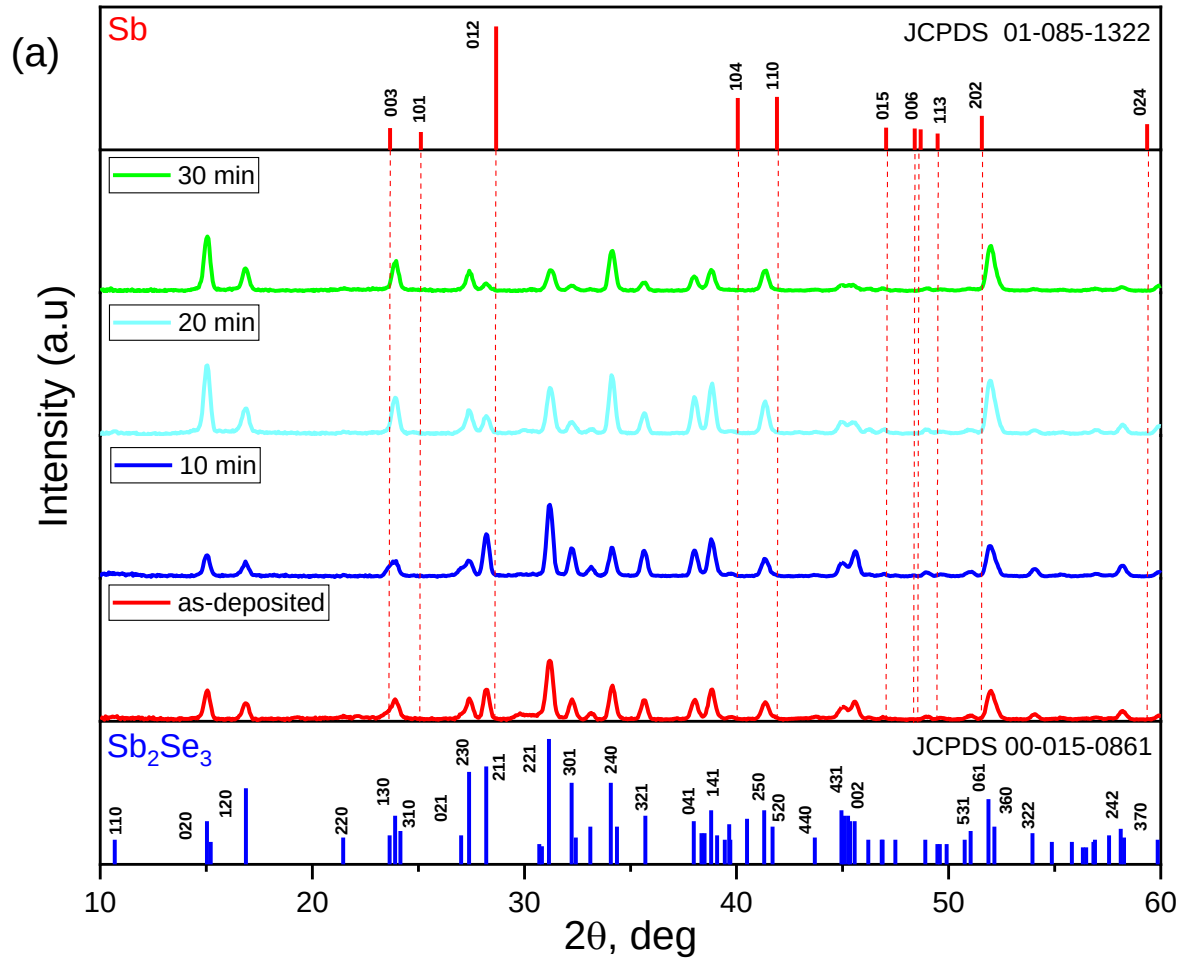
Hozirgi vaqtda butun dunyo olimlari quyosh elementlarining yutuvchi (absorber) qatlami sifatida Sb_2Se_3 birikmasiga katta qiziqish bildirmoqda. Bunga sabab, ularning arzonligi, zaharli emasligi va tabiatda keng tarqalganligi, hamda ajoyib fizik xossalarga ((yuqori yutish koeffitsiyenti ($\alpha > 10_5$ cm^{-1}), mos taqiqlangan soha kengligi (E_g = 1.1–1.3 eV), barqarorligi)) ega ekanligi hisoblanadi [1-3]. Biroq, past haroratlarda olingan qatlamlar ko‘pincha past kristallik darajasiga va yuqori nuqsonlar zichligiga ega bo‘ladi. Ushbu muammolarni bartaraf etishda termik toblash (annealing) jarayoni hal qiluvchi muhim ahamiyatga ega.

Ushbu ishda Kimyoviy molekulalar dastalaridan olish (KMDO) usuli bilan shisha tagliklarda Sb_2Se_3 yupqa qatlamlari o‘stirildi. Olingan qatlamlarning strukturaviy xossalariga termik toblash ning ta'siri tadqiq etildi. Bunda havoda qizdirish harorati 200 °C doimiy saqlanib, jarayon 10, 20 va 30 minut davom ettirildi.



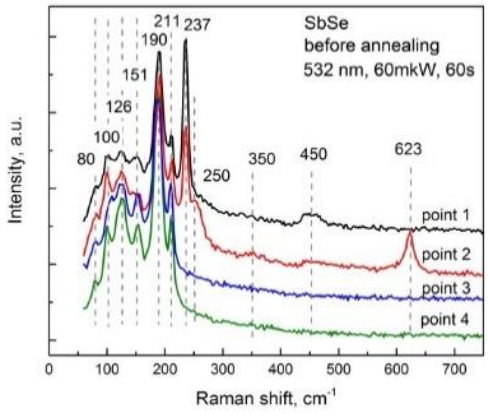
1-rasm. Alohida manbalardan Sb_2Se_3 yupqa qatlamlari o‘stirish.

Namunalarni strukturaviy tahlil qilish uchun XRD spektrlaridagi asosiy difraksion cho‘qqilar Cu $K\alpha_1$ nurlanishi (λ = 1.5406 Å) dan foydalanildi, hamda xona haroratida Raman spektroskopiyasi o‘lchovlari amalga oshirildi. Bunda Sb_2Se_3 yupqa qatlamlarining rentgenogrammalari 2-rasmda keltirilgan. Rentgenogrammada 2θ burchak oralig‘ida 10°–60° diapazonda kuzatilgan barcha difraksion cho‘qqilar ortorombik fazadagi (JCPDS 00-015-0861) sof Sb_2Se_3 fazasiga tegishli bo‘lib, Sb fazasiga (JCPDS 01-085-1322) tegishli birorta cho‘qqi kuzatilmadi. Bu esa sintez qilingan barcha namunalar yagona Sb_2Se_3 kristall tuzilishga ega ekanligini ko‘rsatadi. 2θ≈15.15° va 2θ≈16.7° dagi ikkita alohida cho‘qqi mos ravishda (020) va (120) tekisliklarga tegishlidir. 2θ≈24.2° va 2θ≈27.6° dagi cho‘qqilar (130) va (230) tekisliklariga mos keladi. Shuningdek 2θ≈28.25° va 2θ≈31.25° dagi cho‘qqilar esa mos ravishda (211) va (221) tekisliklarga taluqlidir. 2θ=34.2÷46.00° oralig‘idagi cho‘qqilar guruhi esa mos ravishda (240), (231), (041), (141), (520), (431) va (002) tekisliklarga tegishli bo‘lib, (240) va (520) tekisliklaridan tashqari tekisliklar mavjud adabiyotlarda tavsiflangan Sb_2Se_3 ning ortorombik kristall panjarasiga mos keladi, hamda 2θ≈52.20° cho‘qqisi (061) tekisligiga mos keladi. Rasmdanbarcha namunalarda (211), (221), (231), (041) (141), (431), (002) va (061) difraksiya cho‘qqilarining intensivligi ustunligini ko‘rish mumkin. Ushbu cho‘qqilar orasida zaryad tashuvchilar transporti uchun afzal hisoblangan (211), (221) va (002) yo‘nalishlarning mavjudligi alohida e’tiborga loyiq. Rentgenogrammalarda toblanmagan hamda turli vaqt oralig‘ida (10, 20 va 30 min) toblangan namunalar cho‘qqilarining joylashuvida sezilarli o‘zgarishlar kuzatilmagan bo‘lsa-da, toblanish vaqti ortishi bilan ayrim (hkl) tekisliklarga mos cho‘qqilar intensivligining biroz kamayishi, shuningdek, ba’zi (hk0) tekisliklarga tegishli cho‘qqilar intensivligining nisbatan ortishi qayd etildi.

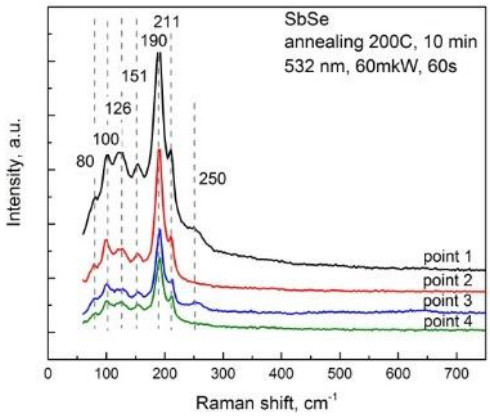


2-rasm. Toblashdan oldin va keyingi Sb_2Se_3 yupqa qatlamlarining rentgenogrammalari.

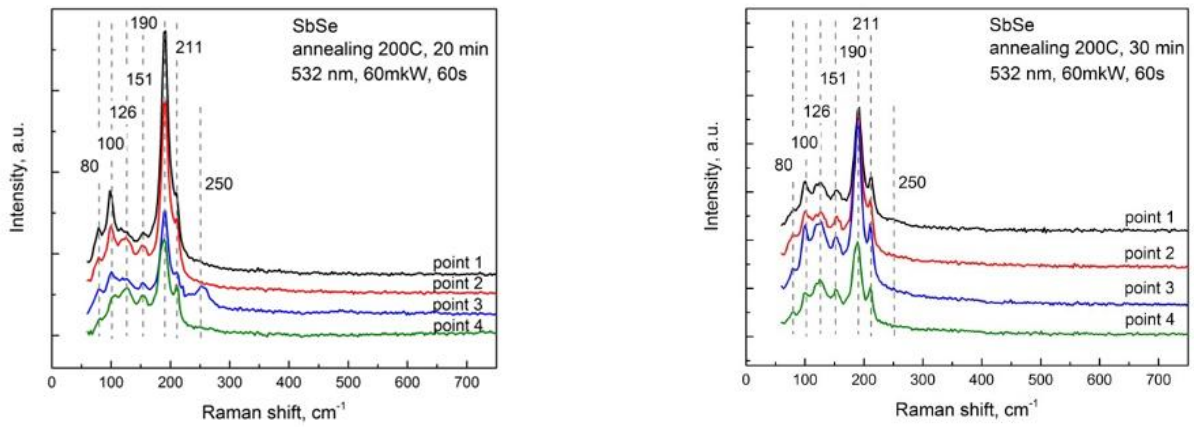
3-rasmda Sb_2Se_3 yupqa qatlamlarining turli toblanish sharoitlarida olingan Raman spektrlari keltirilgan.



a



b



c d

3-rasm. Toblashdan oldin va keyingi Sb_2Se_3 yupqa qatlamlarining Raman tasvirlari

Spektrlar 50–700 cm^{-1} oralig‘ida qayd etilgan bo‘lib, barcha namunalarda asosiy Raman cho‘qqilari 80 cm^{-1}, 100 cm^{-1}, 126 cm^{-1}, 151 cm^{-1}, 190 cm^{-1} va 211 cm^{-1} atrofida joylashganligi kuzatiladi (vertikal punktir chiziqlar bilan belgilangan). Ushbu cho‘qqilarning barchasi Sb_2Se_3 cho‘qqilaridan dalolat beradi. Barcha namunalarda 190 cm^{-1} atrofidagi asosiy cho‘qqi dominantlik qilib, 10 daqiqada toblangan spektrida eng yuqori intensivlikka ega bo‘ldi. Sb – Se fazasini ifodalaydigan 211 cm^{-1} da kuzatilgan yana bir cho‘qqi toblanish vaqtini ortishiga proporsional tarzda ortib borib 30 minutda yuqori qiymatga erishdi. Bunga toblanmagan namunada va qisqa muddat toblangan namunalarda paydo bo‘lgan, ammo toblanish vaqti ortishi bilan yo‘qolgan 237 cm^{-1} dagi trigonal Se va 250 cm^{-1} dagi monoklinik Se_8 fazalari sabab bo‘lishi mumkin. Shuni ta’kidlash mumkinki, tadqiq etilgan namunalarda Sb_2O_3 yoki Sb_2O_4 kabi ikkilamchi fazalar aniq ko‘zga tashlanmadi, bu esa toblanish haroratining to‘g‘ri tanlanganligini ko‘rsatadi.

O‘tkazilgan tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, namunalarning strukturaviy xossalariga toblash sezilarli darajada ta’sir ko‘rsatadi. 200°C da havoda 10 daqiqa davomida toblash optimal rejim ekanligi rentgen difraksiyasi tahlilida zaryad tashuvchilar uchun afzal kristall yo‘nalishlar - (211) va (221) yo’nalishlar intensivligining ortishi, shuningdek Raman spektroskopiyasida Sb–Se bog‘lariga mos keluvchi 190 cm^{-1} asosiy cho‘qqining dominantligi bilan asoslanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati

1. A. Mavlonov *et al.*, “A review of Sb_2Se_3 photovoltaic absorber materials and thin-film solar cells,” *Solar Energy*, vol. 201, pp. 227–246, 2020.
2. A. Bosio, G. Foti, S. Pasini, and D. Spoltore, “A review on the fundamental properties of Sb_2Se_3-based thin film solar cells,” *Energies (Basel).*, vol. 16, no. 19, p. 6862, 2023.
3. Y. Zhao *et al.*, “Regulating deposition kinetics via a novel additive-assisted chemical bath deposition technology enables fabrication of 10.57%-efficiency Sb 2 Se 3 solar cells,” *Energy Environ. Sci.*, vol. 15, no. 12, pp. 5118–5128, 2022.

THE EFFECT OF ANNEALING ON THE MORPHOLOGICAL PROPERTIES OF Sb_2Se_3 THIN FILMS

*B.A. Ergashev[1], D.Z. Isakov[1], R.Yuldoshev[1],R.Khurramov[1], S.M. Bobomuradov[1],B.A. Gulumbaev[1], A.I. Eshkoraev[2]**
[1]*Institute of Physics and Technology named S.A.Azimov.*
[2]*Termez State University* e-mail: aeshqorayev98@gmail.com

Sb_2Se_3 thin films have been widely studied in recent years as one of the promising semiconductor materials for creating high-efficiency solar cells [1-2]. The surface morphology and microstructure of this material have a significant impact on its optical and electrical properties [3]. Therefore, studying the morphological properties of Sb_2Se_3 thin films is of great importance for improving the efficiency of photovoltaic devices [4].

In this work, the effect of heating on the morphological properties of Sb_2Se_3 thin films grown on a glass substrate using the Chemical Molecule Deposition (CMD) method [5] was investigated. The samples obtained by the CMD method were thermally treated in air at 200 °C for different times (10, 20, and 30 minutes).

The structural properties of the resulting Sb_2Se_3 thin films were analysed using energy-dispersive spectroscopy (EDS) (Figure 1). The EDS spectra showed that the elements antimony (Sb) and selenium (Se) were uniformly distributed across the surface.

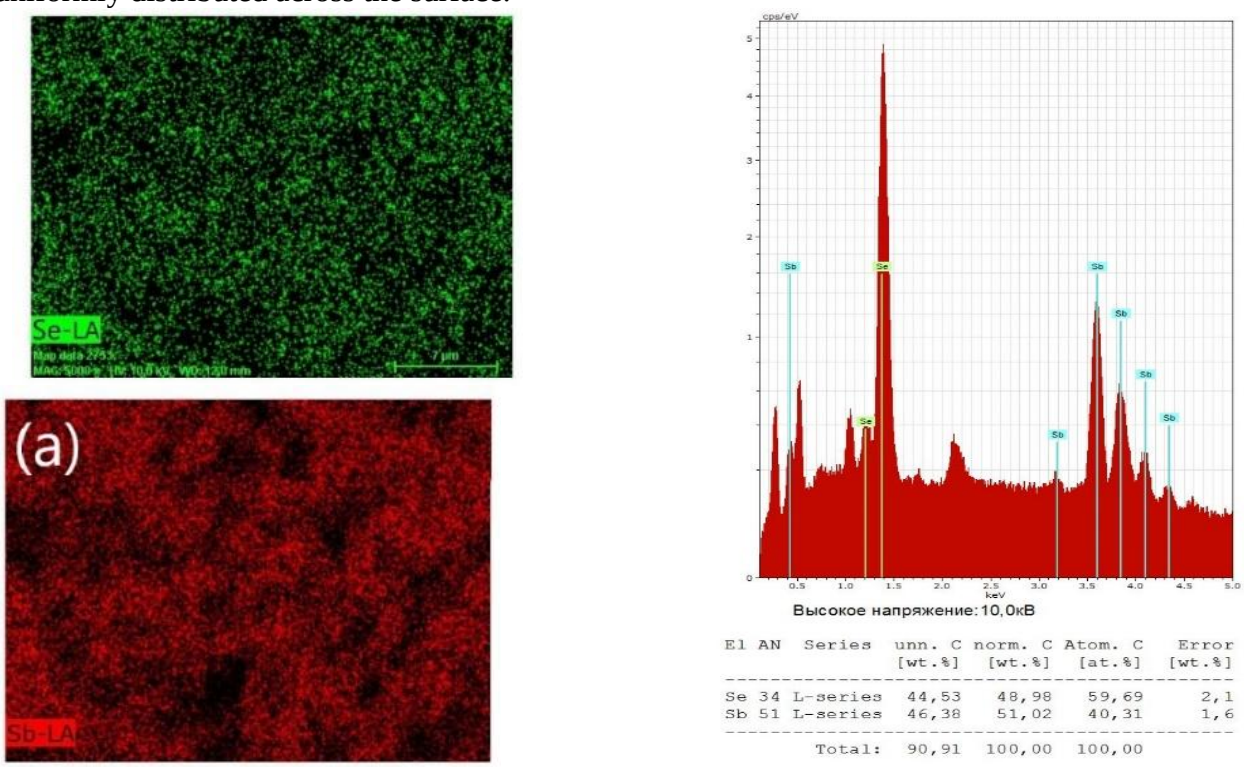
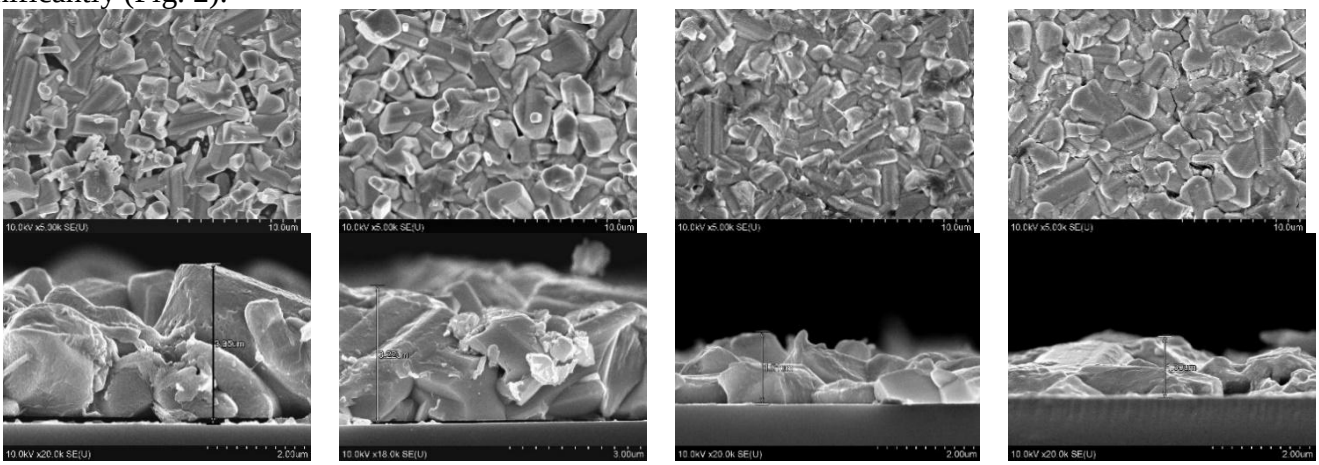


Figure 1. Chemical composition of Sb_2Se_3 thin films

The chemical composition of the unheated sample was found to contain 40.31% and 59.69% of Sb and Se, respectively. The Sb/Se ratio of these values is very close to the stoichiometric composition (0.67), indicating that the Sb/Se ratio increases with increasing heating time. This can be explained by the evaporation of a certain amount of Se during the recrystallisation of the Sb_2Se_3 layers during thermal treatment.

The morphology of the Sb_2Se_3 thin films was studied using a scanning electron microscope (SEM) and an atomic force microscope (AFM). It can be seen from the SEM images that the intergranular voids decreased with increasing heating time, and when the heating time reached 30 minutes, the voids decreased significantly (Fig. 2).

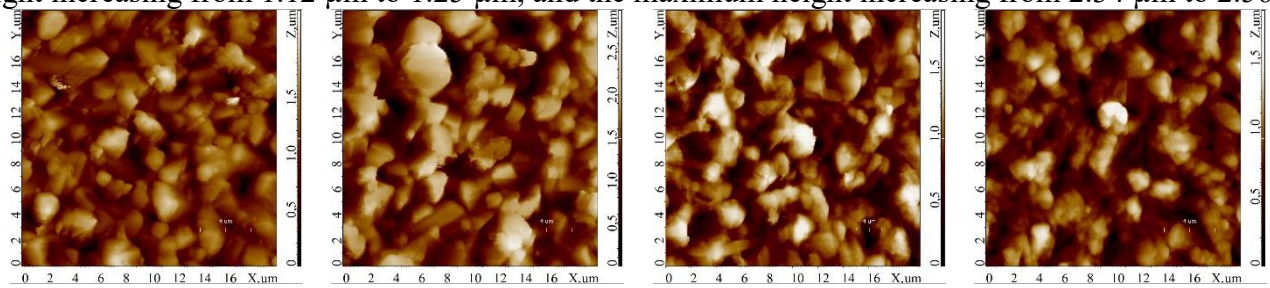


unannealed 10 min. 20 min. 30 min.

Figure 2. SEM images of annealed Sb_2Se_3 thin films

It can also be seen from the cross-sectional images that the thickness of the Sb_2Se_3 thin films decreases with increasing thermal treatment time. The initial thickness of the sample was 3.35 μm, and after heating for different times (10, 20, and 30 min), the thicknesses of the thin films were found to be 3.22 μm, 1.51 μm, and 1.30 μm, respectively.

AFM analysis showed that the surface morphology of Sb_2Se_3 thin films was significantly dependent on the annealing time (Fig. 3). At the initial stage (10 min), the surface roughness increased, with the average height increasing from 1.12 μm to 1.25 μm, and the maximum height increasing from 2.34 μm to 2.56 μm.



unannealed 10 min. 20 min. 30 min.

Figure 3. AFM images of annealed Sb_2Se_3 thin films

Also, the increase in the root mean square roughness (Rrms: 0.35 - 0.38 μm) and arithmetic mean roughness (Ra: 0.28 - 0.30 μm) parameters indicates the development of surface relief and structural complexity of the surface as a result of thermal treatment.

However, when the heating duration was increased from 20 to 30 minutes, a decreasing trend was observed in all main surface roughness parameters: the average height (Mean) decreased from 0.98 μm to 0.94 μm, Rrms from 0.30 μm to 0.28 μm, and Ra from 0.24 μm to 0.23 μm. This indicates a smoothing effect on the thin-film surface and further ordering of the crystal structure as a result of long-term heating.

Overall, the studies have shown that 20–30 minutes of annealing improves the surface morphology, resulting in a denser, smoother, and more uniform thin film. Such thin films can be used in thin-film solar cells with high efficiency.

List of references:

1. Abdurashid Mavlonov, Takhir Razykov, Fazal Raziq, Jiantuo Gan, Jakapan Chantana, Yu Kawano, Takahito Nishimura, Haoming Wei, Andriy Zakutayev, Takashi Minemoto, Xiaotao Zu, Sean Li, Liang Qiao. "A review of Sb2Se3 photovoltaic absorber materials and thin-film solar cells". Solar Energy. Vol. 201, pp. 227–246, (2020).

2. F. Ayala-Mato, O. Vigil-Galan, Maykel Courel, Enue Barrios Salgado. "Analysis of the Efficiency of Sb2Se3 Thin-Film Solar Cells by Introducing Alternative Buffer Layers in n–p and n–i–p Structures by Numerical Simulation". Journal of Electronic Materials. Vol. 55, pp. 4164–4174, (2026).

3. Ke Yang, Bing Li, Guanggen Zeng. "Structural, morphological, compositional, optical and electrical properties of Sb2Se3 thin films deposited by pulsed laser deposition". Superlattices and Microstructures. Vol. 145, (2020).

4. T.M. Razykov, K.M. Kuchkarov, B.A. Ergashev, A. Olimov, R.T.Yuldoshev*, "Structural, morphological and electrophysical properties of films of Sb2Se3 obtained at different temperatures of the selenium insulator", Uzbek Journal of Physics, vol. 24, no. 3, 176-182, (2022).

5. K.M.Kuchkarov, B.A.Ergashev, D.Z.Isakov, R.R.Khurramov, M.A.Mahmudov, "Morphological and structural properties of Sb2Se3 layers grown on glass and glass/Mo substrates using the KMDO method". Scientific Reports of Bukhara State University, Vol. 12, pp. 111-117, (2025).

MATHEMATICAL MODELING OF THE HYDROGEN ATOM USING THE SCHRÖDINGER EQUATION AND BOUNDARY CONDITIONS

Yuldashev Abror Abduvositovich, Islomova Shaxrizoda Abrorjon qizi
FarDU katta o'qituvchi, FarDU tayanch doktorant
islamovashaxrizoda03@gmail.com

Mathematical modeling makes it possible to investigate physical systems through equations that describe their observable and calculated properties. Atomic systems are especially important because the behavior of their constituents cannot be represented adequately by a simple classical trajectory. In quantum mechanics, the state of a particle is described by a wave function, and measurable spatial information is connected with the probability distribution derived from this function.

The hydrogen atom is a particularly useful model because it contains a proton and an electron. The relative simplicity of the system allows the Schrödinger equation to be examined in detail while still producing nontrivial radial and angular structures. The source study uses this system to investigate the complete form of solutions of the static Schrödinger equation and to visualize the resulting probability distributions.

The source distinguishes several levels of description of the hydrogen atom. An idealized solution uses selected discrete values and provides a familiar interpretation of orbital forms. A precise static solution treats the stationary Schrödinger equation directly. A complete dynamic solution retains time dependence, while a refined Dirac formulation is associated with a more advanced treatment. This progression shows how the same physical system can be studied with different mathematical levels of detail.

The general time-dependent Schrödinger equation is used as the starting point. For a potential that has no explicit time dependence, the wave function can be separated in the form $\psi(r,t)=\psi(r)\exp(-iWt)$. Substitution gives the stationary relation $W\psi(r)=\hat{H}\psi(r)$, where W represents the energy eigenvalue and $\hat{H}$ denotes the Hamiltonian operator. The problem is therefore transformed into an eigenvalue problem for the spatial part of the wave function.

For the hydrogen atom, the Hamiltonian contains the kinetic-energy contribution and the electromagnetic interaction between the proton and electron. In atomic units, the source gives the simplified

form $H=-1/2\nabla^2-1/r$. The central form of the potential makes spherical coordinates suitable for the mathematical treatment. In these coordinates the spatial equation can be separated into radial and angular components.

The separated problem produces additional ordinary differential equations. The source describes the use of Fourier-type separation, numerical methods, algorithms, series and special functions in the solution process. These methods are used to obtain the radial and angular functions and subsequently to construct the complete ψ function. The calculation is not limited to obtaining one symbolic expression; it also investigates the spatial forms generated by the solutions.

Boundary conditions are essential in this procedure. They restrict the possible functions and provide relations between constants and eigenvalues. In the angular calculation, an exponential form appears after transformation, and the boundary conditions are used to establish a system of equations. A limiting condition in which the function approaches a very small value is also considered in the source as part of the physical interpretation.

The radial problem is treated separately before the radial and angular components are combined. Several radial functions are obtained, and their real, imaginary and modulus forms can be compared. The source presents functions with different numbers and positions of maxima, illustrating that the mathematical solution contains a variety of spatial behaviors.

The calculated functions lead to six reliable mathematical forms used to describe electron-cloud structures in the hydrogen atom. These forms are not identical. Some are concentrated around particular regions, while others extend outward or display directional structures. The result demonstrates that the final spatial distribution depends on the complete solution of the separated equations and not only on a simplified conceptual orbital picture.

An important feature of the approach is the role of the eigenvalue. The source investigates the eigenvalue as a quantity determined within the boundary-value problem. Instead of simply starting from an assumed discrete spectrum, the calculation examines which values satisfy the mathematical conditions. This provides a way of connecting the physical idea of allowed quantum states with the mathematical structure of the differential equations.

The radial and angular solutions are subsequently multiplied to obtain complete forms of ψ. The squared modulus of these functions is then associated with the probability distribution of the electron. Consequently, the mathematical solution can be interpreted not only through numerical eigenvalues but also through the spatial regions in which electron detection is more or less probable.

The source also provides a visual analysis of the obtained functions. Radial and angular graphs are combined with three-dimensional representations of the electron cloud. Because the values may contain very large peaks, the logarithm of the squared modulus is used in some visualizations. This makes smaller features visible and allows the structure of the complete distribution to be examined.

The mathematical procedure has significance beyond the hydrogen atom. The source identifies the hydrogen problem as a foundation for future investigations of systems with more interacting particles. A helium atom, for example, introduces a third particle and electron-electron interaction, turning the problem into a three-body system. The number of interacting components makes a direct solution considerably more difficult.

The study therefore provides a methodological sequence that can be developed further: formulate the Hamiltonian, separate variables when appropriate, solve the resulting differential equations, impose boundary conditions, determine admissible eigenvalues, construct the wave function and analyze its probability density. The same sequence can serve as a conceptual basis for more complex numerical models.

The source also discusses the difference between the static and dynamic formulations. The stationary equation is obtained after separating the time factor, whereas a complete dynamic treatment retains temporal dependence. Such a calculation is more cumbersome but may contain additional temporal degrees of freedom. This is identified as one of the directions for further research.

A further extension concerns the Dirac equation. The source presents it as a refined theoretical model that incorporates relativistic properties beyond the nonrelativistic Schrödinger description. Thus, the development from the stationary Schrödinger equation to dynamic and Dirac-based models can be viewed as a progression toward a more complete description of the atomic system.

The mathematical modeling of the hydrogen atom demonstrates that the Schrödinger equation, together with boundary conditions and appropriate mathematical methods, can produce a structured set of radial, angular and complete wave-function solutions. The obtained functions describe different probability-density structures and provide a mathematical interpretation of electron-cloud behavior. The approach also creates a foundation for future dynamic, relativistic and multiparticle studies.

References

1. Pinke, D.D., Ősz, K., and Lente, G. The origin of the postulates in the Bohr model of the hydrogen atom. ChemTexts 11, 11 (2025).

2. Shepherd, V. and Brau, C. The atom is Split. In: Beyond the Genius, pp. 95–156. Copernicus Books, Springer (2025).

PROBABILITY DENSITY AND THREE-DIMENSIONAL ELECTRON-CLOUD MODELING IN THE HYDROGEN ATOM

Yuldashev Shohjaxon Abrorovich, Islomova Shaxrizoda Abrorjon qizi
FarDU katta o'qituvchi, FarDU tayanch doktorant
islamovashaxrizoda03@gmail.com

Quantum mechanics describes an electron through a wave function rather than through a classical path. The wave function contains the mathematical information about the quantum state, while the squared modulus provides a probability-related quantity for electron detection. For the hydrogen atom, this relation can be studied by solving the Schrödinger equation and representing the resulting functions in space.

The source study investigates several radial and angular functions and combines them to obtain complete forms of ψ. Since the hydrogen atom is treated with a centrally symmetric interaction, spherical coordinates provide a natural framework. The radial coordinate describes dependence on distance from the nucleus, whereas the angular coordinates describe directional variation.

The purpose of visualizing the complete function is not simply to reproduce a conventional orbital diagram. The source aims to show the mathematical structures that arise from its specified solution procedure. Different solutions can generate different probability distributions, including concentrated, extended, spherical and cone-like regions.

The separated radial and angular equations are solved using mathematical and numerical procedures. The resulting components are combined into complete ψ functions. The probability density is then investigated through the squared modulus of the wave function. This quantity allows the spatial regions of greater and lower electron-detection probability to be represented.

Direct plotting of the squared modulus may be difficult because the largest values can dominate the entire numerical range. To overcome this problem, the source uses the natural logarithm of the squared modulus in visualization. The logarithmic transformation compresses high peaks and makes smaller values more visible without changing the fact that the underlying quantity is derived from the wave function.

The source uses three-dimensional point representations and planar cross-sections. One of the described visualizations contains approximately 125,000 points. The XY and XZ planes are used to inspect the distribution from different directions, while radial and angular functions provide information about the components that generate the complete structure.

Opacity is another visualization parameter. With maximum opacity, the external shape of a calculated cloud is prominent. With reduced opacity, internal features can be observed. The source gives examples using different transparency levels, including approximately 50%, 20%, 1% and 10%, to expose structures that may otherwise be hidden.

The three-dimensional representations show that the modeled electron cloud is not restricted to a simple spherical or circular form. In some solutions, a high-probability region has a cone-like structure. Other regions have lower or intermediate values and extend around the main high-probability area. These forms result from the mathematical structure of the corresponding ψ function.

The use of logarithmic scaling is especially important for comparing the full distribution. Without scaling, the largest peaks would occupy most of the visual range, making smaller structures difficult to see. After transformation, regions with lower probability can be represented together with the dominant regions, giving a more complete picture of the calculated electron cloud.

The source describes a high-probability region and additional areas with intermediate values. The visual interpretation therefore distinguishes between a central or dominant region and surrounding regions where electron detection is less probable. The cloud should consequently be understood as a probability distribution rather than a solid object with a sharply defined surface.

Changing opacity provides another way to investigate the same solution. At high opacity, the outer contour is easiest to recognize. At lower opacity, points inside the distribution become visible. The source notes that very low opacity can reveal a central region particularly clearly. This demonstrates that the visual appearance of a probability distribution depends not only on the calculated data but also on the representation method.

Several complete wave functions are compared through analytical mappings and cross-sections. The source reports that their cross-sectional parameters and value frequencies differ. Some functions show pronounced maxima, while others contain spherical regions near the core or structures extending toward the periphery. These differences are evidence that distinct mathematical solutions can have substantially different spatial distributions.

Some of the calculated forms can be compared conceptually with familiar orbital structures. However, the source does not reduce all of the obtained distributions to conventional orbital labels. The three-dimensional calculations reveal additional features and therefore provide a broader representation of the mathematical solution. The visualizations are useful for examining the consequences of the boundary conditions and the selected wave-function forms.

An important result is that the simulations do not show clearly visible circular electron orbits. Instead, they show regions of different probability. This distinction is fundamental to the interpretation of the Schrödinger equation: the calculated cloud represents the probability distribution associated with a quantum state, not the path of an electron moving like a classical particle.

The radial and angular graphs complement the three-dimensional representation. A radial graph shows how a function changes with distance, while an angular graph shows directional dependence. The complete three-dimensional cloud combines both types of information. Consequently, a feature visible in the cloud can be investigated further by examining the corresponding radial and angular components.

The source also notes that some results may be partially confirmed experimentally, while other structures require additional study. This is significant because visualization can reveal mathematical

features that are not immediately explained by a simplified model. Further theoretical work is therefore needed to determine the physical meaning and stability of all obtained forms.

The visualization method is also relevant to future extensions. If the model is developed toward more complex atoms or multiparticle systems, the numerical range and geometric complexity are expected to increase. Logarithmic scaling, cross-sections and transparency could remain useful for interpreting such large numerical datasets.

The three-dimensional modeling of electron probability density demonstrates how solutions of the Schrödinger equation can be transformed into spatial representations of quantum states. The squared modulus, logarithmic scaling, cross-sections and variable opacity make complex structures visible and facilitate comparison between different ψ functions. The results emphasize that quantum states are represented by probability distributions rather than classical circular trajectories and provide a useful computational basis for further atomic modeling.

References

1. Pinke, D.D., Ősz, K., and Lente, G. The origin of the postulates in the Bohr model of the hydrogen atom. ChemTexts 11, 11 (2025).

2. Shepherd, V. and Brau, C. The atom is Split. In: Beyond the Genius, pp. 95–156. Copernicus Books, Springer (2025).

STATIONARY SCHRÖDINGER SOLUTIONS: EIGENVALUES, SPHERICAL COORDINATES AND EXTENSIONS TO ADVANCED ATOMIC MODELS

Onarqulov Karimberdi Egamberdiyevich, Yuldashev Abrorjon Abduvasitovich,
Yuldashev Shohjaxon Abrorovich, Islomova Shaxrizoda Abrorjon qizi
FarDU professor, FarDU katta o'qituvchi, FarDU tayanch doktorant
islamovashaxrizoda03@gmail.com

The hydrogen atom is one of the most important model systems in quantum mechanics because it allows the mathematical structure of the Schrödinger equation to be investigated in detail. The interaction between the proton and electron can be expressed through a central potential, which makes the use of spherical coordinates particularly appropriate. At the same time, the solution contains nontrivial radial and angular behavior.

The source presents a progression of descriptions of the hydrogen atom. An idealized model introduces conventional orbital concepts and selected discrete values. A precise static solution addresses the stationary Schrödinger equation. A complete dynamic solution retains the time variable, while the Dirac equation provides a more refined theoretical framework when relativistic effects need to be considered.

This progression is useful because it shows that a physical model can be developed in stages. The stationary Schrödinger equation is sufficiently detailed to describe the spatial probability structure, but it does not contain all of the information that could be obtained from a fully time-dependent or relativistic treatment.

For a time-independent potential, the wave function is separated in the form $\psi(r,t)=\psi(r)\exp(-iWt)$. The substitution gives $W\psi(r)=\hat{H}\psi(r)$. Here W is the energy eigenvalue and $\hat{H}$ is the Hamiltonian. In atomic units, the hydrogen Hamiltonian is written in the source as $H=-1/2\nabla^2-1/r$.

The central interaction permits the stationary equation to be written in spherical coordinates. Separation of variables produces equations for the radial coordinate and for the angular variables. The radial function describes the distance dependence, while the angular functions describe directional behavior. These components are later combined into the complete wave function.

The source uses ordinary differential equations, boundary conditions, numerical methods, algorithms, series and special functions. The boundary conditions are particularly important because they determine which mathematical solutions are admissible. The resulting systems contain constants and eigenvalues whose values are connected with the required conditions.

In the angular calculation, an exponential form is introduced and a boundary condition is applied to establish a system for the unknown quantities. In the radial calculation, several function forms are obtained and examined through their modulus and real and imaginary parts. The separate components are finally combined to form complete ψ functions.

The stationary formulation produces several radial and angular solutions. The source reports six reliable complete functions that mathematically describe electron-cloud structures. Their forms are different and demonstrate that the spatial properties of the quantum state depend on the particular solution obtained from the separated equations.

The eigenvalue is central to the stationary problem. The source investigates how the mathematical conditions restrict the allowed values. This treatment emphasizes the relationship between the differential equations and the resulting spectrum. The eigenvalue is therefore not considered merely as an independent number attached to an already chosen orbital; it is part of the solution of the mathematical problem.

The radial functions display different patterns of maxima and different behavior of their real and imaginary components. These features influence the final three-dimensional probability distribution. When a radial function is combined with an angular function, the resulting ψ can have concentrated regions, extended structures or directional features.

The angular functions are equally important because they determine how the probability distribution changes with direction. The source examines angular functions and their corresponding mappings and uses them to construct the complete wave functions. This separation of radial and angular behavior makes it possible to analyze the origin of the spatial structures more systematically.

The obtained electron-cloud forms are then interpreted through the squared modulus of ψ. The resulting probability distributions can contain regions of high, intermediate and low probability. Some forms may resemble familiar orbital patterns, but the calculated structures can also include additional features. The source therefore treats the visual results as mathematical consequences of the complete solution rather than simply reproducing a predetermined picture.

The absence of a clear circular orbit in the calculated distributions is particularly important. The stationary Schrödinger model gives a probability distribution, not a classical trajectory. Therefore, the spatial clouds should be interpreted as regions in which the probability of detecting the electron varies. This distinction explains why a three-dimensional cloud can have complex shapes without implying that the electron physically travels along those shapes.

The source also compares static and dynamic descriptions. The stationary equation results after the explicit time factor is separated. A complete dynamic solution would retain time dependence and could introduce additional temporal degrees of freedom. However, solving such a system is considerably more cumbersome, which is why the stationary problem provides a useful first stage for detailed mathematical analysis.

The Dirac equation represents another step toward a more complete model. According to the source, it can incorporate relativistic properties that are not fully represented by the nonrelativistic Schrödinger equation. The relationship between these equations therefore illustrates how the mathematical framework can be refined when additional physical effects must be included.

The transition from hydrogen to multiparticle systems presents an even greater challenge. In the helium atom, the nucleus and two electrons interact, and electron-electron interaction must be considered. This

produces a three-body problem. The source notes that such systems require additional computational and mathematical techniques because the simple structure of the hydrogen solution is no longer sufficient.

The hydrogen model nevertheless provides a useful starting framework. The formulation of the Hamiltonian, separation of variables where possible, construction of radial and angular equations, application of boundary conditions, numerical solution and visualization can all contribute to the development of more complex models. The exact techniques may need to change, but the methodological sequence remains valuable.

The source also discusses the possibility of extending the study toward more complex dynamic and relativistic systems. Such extensions are not presented as completed solutions within the source material; rather, they are identified as directions for future investigation. This distinction is important because the static hydrogen-atom solution provides the demonstrated results, while multiparticle and fully dynamic problems remain areas for continued work.

The stationary Schrödinger equation provides a structured mathematical framework for studying eigenvalues, radial functions, angular functions and electron-cloud distributions in the hydrogen atom. Spherical coordinates reflect the symmetry of the system, while boundary conditions help determine admissible solutions. The study establishes a progression from idealized orbital descriptions to static, dynamic and Dirac-based models and identifies multiparticle systems as an important direction for future research.

References

1. Pinke, D.D., Ősz, K., and Lente, G. The origin of the postulates in the Bohr model of the hydrogen atom. ChemTexts 11, 11 (2025).

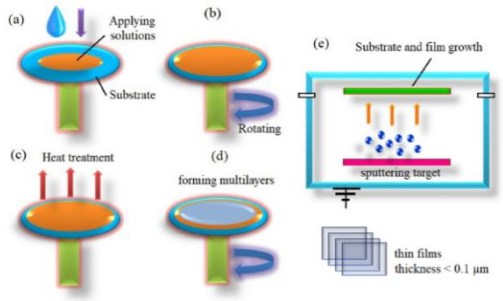
2. Shepherd, V. and Brau, C. The atom is Split. In: Beyond the Genius, pp. 95–156. Copernicus Books, Springer (2025).

SPIN-COATING USULIDA OLINGAN $Cu_2ZnSn(S,Se)_4$ YUPQA QATLAMLARINING SELENIZATSIYA HARORATIGA BOG'LIQ INFRAQIZIL OPTIK XOSSALARI

*B.A. Ergashev[1], D.Z. Isaqov[1], R.Yuldoshev[1],R.Xurramov[1], S.M. Bobomuradov[1], B.A. Gulumbayev[1], A.I. Eshqorayev[2]**
[1]O'zR FA S.Azimov nomidagi Fizika-texnika instituti.
[2]Termiz davlat universiteti
e-mail: aeshqorayev98@gmail.com

So'nggi yillarda energiya iste'molining ortib borishi va qazilma yoqilg'i zaxiralarining cheklanganligi muqobil, qayta tiklanuvchi energiya manbalariga bo'lgan qiziqishni kuchaytirmoqda. Ushbu yo'nalishda quyosh energiyasi eng istiqbolli manba hisoblanadi, chunki u toza, cheksiz va deyarli barcha mintaqalarda mavjud [1]. Rivojlanib borayotgan fotovoltaik texnologiyalar orasida $Cu_2ZnSn(S,Se)_4$ (CZTSSe) birikmasi o'zining kimyoviy elementar tarkibi, ya'ni yer qobig'ida keng tarqalganligi, toksiklik darajasining pastligi va iqtisodiy jihatdan qulayligi tufayli katta qiziqishga sabab bo'lmoqda [2].

Ushbu tadqiqot ishida Spin-Coating usulida olingan (1-rasm) CZTS (Cu_2ZnSnS_4) yupqa qatlamlarining struktura va tarkibiy xossalariga selenizatsiya haroratining ta'siri tizimli ravishda o'rganildi. Prekursor qatlamlari N_2 (azot) muhitida, 500 mbar izobar bosim sharoitida, 450°C, 500°C va 550°C haroratlarda 15 daqiqa davomida termik selenizatsiya qilindi (1-jadval). Olingan $Cu_2ZnSn(S,Se)_4$ (CZTSSe) ko'p komponentli aralash xalkogenid yupqa qatlamlarining optik xossalariga selenizatsiya haroratining ta'siri Furye-transformatsiyali infraqizil spektroskopiya (FTIR) usulida tadqiq qilindi.

Aylantirish tezligi	2500 ayl/min	
Aylantirish vaqti	20 s	
Qatlamlarni quritish harorati	350°C	
Taglik harorati	28 – 30°C	
Namlik	31.6 %	
Protsesslar soni	8	

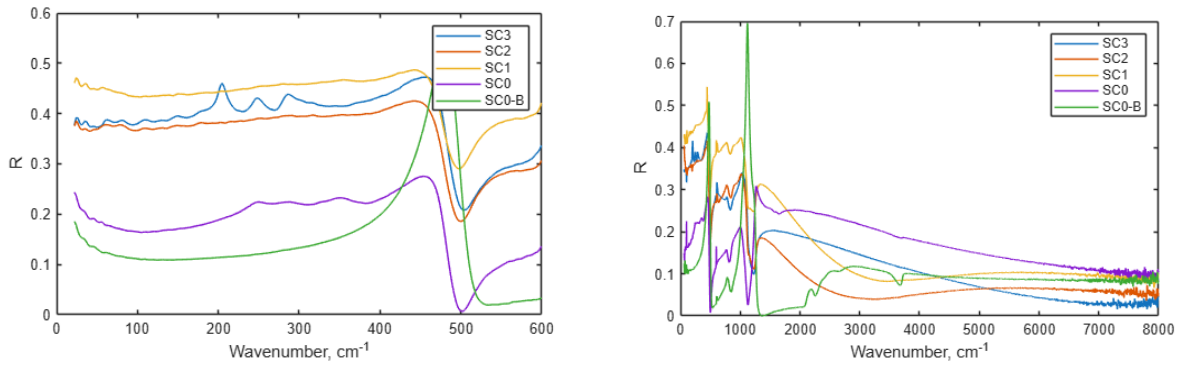
1-rasm. Spin-Coating usulida CZTS yupqa qatlamlari olish parametrlari

Ishchi kamera 10 °C/min tezlikda dastlab 350°C (oraliq) haroratgacha qizdirilib, prekursordagi tarkibiy komponentlarning bir jinsli reaksiyaga kirishishi uchun ushbu haroratda 15 daqiqa davomida ushlab turildi. Shundan so‘ng, harorat uzluksiz ravishda 450°C selenizatsiya haroratiga yetkazildi va qatlamlar yana 15 daqiqa davomida termik ishlovga tortildi. Haroratning CZTSSe qatlamlari xossalariga ta’sirini tahlil qilish maqsadida tajriba jarayoni turli selenizatsiya haroratlari (450°C, 500°C, 550°C) uchun bir xil texnologik parametrlar ostida takrorlandi (1-jadval).

1-jadval. CZTS yupqa qatlamlarini selenizatsiya qilish parametrlari

T/r	Namuna	Nomlanishi	m_{Se} *(mg)*	Qizdirish tezligi (°C/min)	T_{Se} (°C)	Δt *(min)*	Gaz	Bosim (Pa)	Vakuum (Pa)
1	CZTSSe	SC1	202	10	450	15	N_2	$50*10^3$	$9*10^{-3}$
2	CZTSSe	SC2	203	10	500	15	N_2	$50*10^3$	$9*10^{-3}$
3	CZTSSe	SC3	202	10	550	15	N_2	$50*10^3$	$9.5*10^{-3}$
4	CZTS	SC0							

Spin-coating usuli bilan tayyorlangan $Cu_2ZnSn(SSe)_4$ yarim o‘tkazgich qatlamlarining normal tushish burchagidagi qaytarilish (reflektans) va o‘tkazuvchanlik (transmissiya) spektrlari 50–8000 sm^{-1} uzoq infraqizil diapazonida, xona harorati 295 K sharoitida o‘lchandi. Shisha substratga olingan CZTSSe qatlamlarining qaytarilish spektrlari 1100–1200 sm^{-1} diapazonida shisha qaytarilishiga xos spektral anomaliyani namoyon qiladi (2b-rasm) (2-rasm). Grafiklarda SC0 selenizatsiya qilinmagan prekursor namunani, SC0-B esa shu namunaning takroriy (qayta o‘lchangan yoki boshqa nuqtadan olingan) qo‘shimcha namunasini bildiradi; SC1, SC2 va SC3 esa mos ravishda 450°C, 500°C va 550°C haroratlarda selenizatsiya qilingan namunalarga tegishli. Bunday spektral anomaliya (SC) namunalarning MS namunalariga nisbatan yupqaroq bo‘lishi bilan izohlanadi, chunki yupqaroq qatlamlar infraqizil nurlanish uchun qisman shaffof bo‘lib, ostidagi shisha substratning xususiyati spektrga qisman “ko‘rinadi”.



a) *b)*

2-rasm. Spin-Coating usulida olingan CZTSSe yupqa qatlamlarining qaytarilish (reflektans) va o‘tkazuvchanlik (transmissiya) spektrlari

CZTSSe qatlamlarining uzoq infraqizil qaytarilish spektrlari 50–600 sm^{-1} diapazonida namuna indeksi (ya’ni selenizatsiya harorati) ortishi bilan tizimli o‘zgarishni namoyon qiladi (2a-rasm). Selenizatsiya qilinmagan SC0 va SC0-B namunalari eng past qaytarilish darajasiga ega (R ≈ 0.10–0.25), selenizatsiya haroratining ortishi bilan (SC1→SC2→SC3) qaytarilish koeffitsienti sezilarli darajada ortadi, SC1 namunasida R ≈ 0.40–0.50 qiymatlarigacha yetadi. Bu tendensiya selenizatsiya jarayonida qatlamning kristallanish darajasi hamda erkin zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining ortishi bilan izohlanadi. Barcha spektrlarda ~480–500 sm^{-1} atrofida keskin, chuqur minimum kuzatiladi, undan keyin qaytarilish yana ortadi. Bu xususiyat tasodifiy emas — u substrat (shisha) panjarasining kuchli fonon rejimi bilan bog‘liq bo‘lib, adabiyotlarda Christiansen effekti yoki Reststrahlen chegarasi sifatida tanilgan hodisadir [4]: fonon chastotasi yaqinida sindirish ko‘rsatkichi atrofdagi muhitnikiga (n≈1) yaqinlashganda, qaytarilish deyarli nolgacha kamayadi, undan keyin esa yuqori qaytaruvchanlikka ega Reststrahlen zonasi boshlanadi. Bunga o‘xshash keskin minimumlar boshqa material tizimlarida ham (masalan, ~175 va ~490 sm^{-1} atrofida) substrat fononlariga bog‘liq holda qayd etilgan bo‘lib, bu bizning natijalarimizning fizik izohini mustahkamlaydi.

Kengroq spektral diapazonda (2b-rasm) eng diqqatga sazovor xususiyat — SC0-B va SC1 namunalarida ~1100 sm^{-1} atrofida kuzatiladigan o‘tkir va intensiv rezonans cho‘qqisidir (R > 0.5–0.7 qiymatgacha). Bu cho‘qqi shisha substratning Si–O–Si asimmetrik cho‘zilish tebranishiga tegishli Reststrahlen zonasi bo‘lib [5], u faqat nisbatan yupqaroq (yoki past haroratda selenizatsiya qilingan, demak kamroq zich) qatlamlarda kuzatiladi, chunki bunday qatlamlar infraqizil nurlanish uchun qisman shaffof bo‘lib, ostidagi substrat xususiyatlarining spektrga “ko‘rinishiga” imkon beradi. Bu kuzatish shisha qaytarilishining spektral anomaliyasi ~ 1100–1200 sm^{-1} da namoyon bo‘lishini to‘liq tasdiqlaydi.

Selenizatsiya harorati oshishi bilan (SC1→SC2→SC3) bu shisha-fononi cho‘qqisi bosiladi va uning o‘rniga ~1500–4000 sm^{-1} oralig‘ida kengroq, tepaligi siljigan qaytarilish zonasi paydo bo‘ladi. Bu xususiyat erkin zaryad tashuvchilarning Drude tipidagi plazma javobi bilan izohlanadi [6], ya’ni, qatlam qalinligi va kristallanish darajasi ortgani sayin, shuningdek erkin tashuvchilar konsentratsiyasi *n* oshgani sayin, plazma chastotasi $\omega_p = \sqrt{\frac{n_e e^2}{\varepsilon_0 m_e}}$ ortadi va plazma qirrasi (plasma edge) yuqori chastotalar tomon siljiydi — bu xuddi bizning SC3 namunasida kuzatilgan tepalikning yuqori chastotaga siljishiga mos keladi. Bunday Drude-tipidagi erkin tashuvchi plazma javobi va uning konsentratsiyaga bog‘liqligi turli yarimo‘tkazgich yupqa qatlamlarida keng o‘rganilgan bo‘lib, Drude ossillyatorining kuchi tashuvchilar konsentratsiyasi bilan ortishi ko‘rsatilgan.

2-rasmdan ko‘rinadiki, barcha egri chiziqlar ~6000–8000 sm^{-1} oralig‘ida bir-biriga yaqinlashib, taxminan R ≈ 0.08–0.12 doimiy qiymatga intiladi. Bu yuqori chastotali (elektron) dielektrik konstantaga

($\varepsilon\infty$) mos keladigan rejim bo‘lib, bu diapazonda fonon va erkin tashuvchi effektlari zaiflashib, qaytarilish asosan interband (zonalararo) elektron o‘tishlar bilan belgilanadigan asimptotik qiymatga yaqinlashadi.

Garchi grafiklarda alohida ajratilgan keskin fonon cho‘qqilari aniq ko‘rinmasa-da (bu, ehtimol, qatlamning polikristall tabiati va nisbatan yuqori fon signalidan kelib chiqadi), CZTS/CZTSSe tizimida 250–400 sm^{-1} oralig‘ida joylashgan xarakterli panjaralar tebranishi (S atomlarining to‘liq simmetrik tebranishlari) haqida ma’lumot mavjud [7]. CZTS uchun 287 va 338 sm^{-1} da joylashgan intensiv chastotalar S atomlarining kesterit strukturasidagi to‘liq simmetrik tebranishiga mos keladi, S/(S+Se) nisbati kamayishi bilan bu chastotalar past chastotalar tomon siljiydi.

Olib borilgan tadqiqot natijasida spin-coating usulida olingan $Cu_2ZnSn(S,Se)_4$ yupqa qatlamlarining uzoq infraqizil qaytarilish spektrlari selenizatsiya haroratiga sezilarli darajada bog‘liq ekanligi aniqlandi. Selenizatsiya harorati 450°C dan 550°C gacha ortishi bilan qaytarilish koeffitsientining tizimli o‘zgarishi kuzatildi, bu qatlamlarning kristallanish darajasi va erkin zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining ortishi bilan izohlanadi. Shisha substratning Si–O–Si tebranish rejimiga tegishli Reststrahlen zonasi (~1100 sm^{-1}) va Christiansen effektiga xos qaytarilish minimumi (~480–500 sm^{-1}) nisbatan yupqaroq qatlamlarda (SC0, SC0-B, SC1) yaqqol namoyon bo‘lishi, selenizatsiya harorati ortishi bilan qatlam qalinligi va zichligining oshishiga ishora qiladi. ~1500–4000 sm^{-1} oralig‘idagi kengroq qaytarilish zonasining yuqori chastotaga siljishi erkin tashuvchilarning Drude tipidagi plazma javobi bilan izohlandi. Olingan natijalar CZTSSe yupqa qatlamlarining optik-elektrik xossalarini selenizatsiya harorati orqali maqsadli boshqarish mumkinligini ko‘rsatadi, bu esa ularni quyosh elementlari uchun absorber material sifatida optimallashtirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati:

1. Zineb Aqachmar, Hicham Ben Sassi, Khadija Lahrech, Abdelfettah Barhdadi. “Solar technologies for electricity production: An updated review”. International Journal of Hydrogen Energy. Vol. 46, Issue 60 (2021).
2. Wang, A., He, M., Green, M.A., Sun, K., Hao, X. “A Critical Review on the Progress of Kesterite Solar Cells: Current Strategies and Insights”. Advanced Energy Materials, 13(2), 2203046, 2023.
3. Xiao-dong Liu, Lan-tian Hou, Hui-tian Wang. “Investigations into the Mid-Infrared Christiansen Effect of the Dispersive Materials”. Vibrational Spectroscopy, 29(1–2), 231–239-betlar, 2002.
4. Franco Geotti-Bianchini, Martina Preo, Massimo Guglielmi, Carlo G. Pantano. “Infrared Reflectance Spectra of Semi-Transparent SiO_2-Rich Films on Silicate Glasses: Influence of the Substrate and Film Thickness”. Journal of Non-Crystalline Solids, 322(1–3), 289–299-betlar, 2003.
5. J.W. Lyons, G. Brill, F.C. Peiris. “Far-Infrared Optical Properties of $Hg_{1-x}Cd_xSe$ Thin Films”. Solid State Communications, 298, 113650, 2019.
6. M. Grossberg, J. Krustok, J. Raudoja, K. Timmo, M. Altosaar, T. Raadik. “Photoluminescence and Raman study of $Cu_2ZnSn(S_xSe_{1-x})_4$ monograins for photovoltaic applications”. ACS Omega, 6(43), 29137–29148-betlar, 2021.

CdSe KUKUNINING VAKUUMDA BUG‘LATISH USULI BILAN ANOMAL FOTO KUCHLANISHLI YUPQA PARDALARINI OLISH

Onorkulov Karimberdi, Zokirov Adxamjon
Farg’ona davlat universiteti

Anotatsiya. Mazkur ishda CdSe kukunidan UVN-7 vakuum qurilmasida termal bug‘latish usuli yordamida anomal foto kuchlanishli yupqa pardalar olish texnologiyasi o‘rganilgan. Dastlab kukunning kristall tuzilishi AL-27MINI rentgen difraktometrida tahlil qilindi va uning geksagonal (wurtzite) fazada ekanligi aniqlandi. Yupqa pardalar 50° burchak ostida joylashtirilgan orgsteklo taglikka 560–580 °C da 10

minut davomida bug‘latish orqali hosil qilindi. Olingan namunalarda 15–22 V oralig‘ida anomal foto kuchlanish kuzatildi. Bu qiymatlar CdSe ning taqiqlangan zonasi kengligidan (~1,7 eV) sezilarli darajada yuqori bo‘lib, qiya joylashuv natijasida mikrokristallar qatorining hosil bo‘lishi bilan bog‘liq. Tadqiqot natijalari anomal fotoeffektli CdSe pardalarini optoelektron qurilmalar yaratishda qo‘llash imkoniyatini ochadi.

Kalit so‘zlar. CdSe, termal bug‘latish, anomal foto kuchlanish, yupqa parda, XRD, geksagonal tuzilish, qiya joylashuv, mikrokristallar, UVN-7, fotoelektrik xususiyat

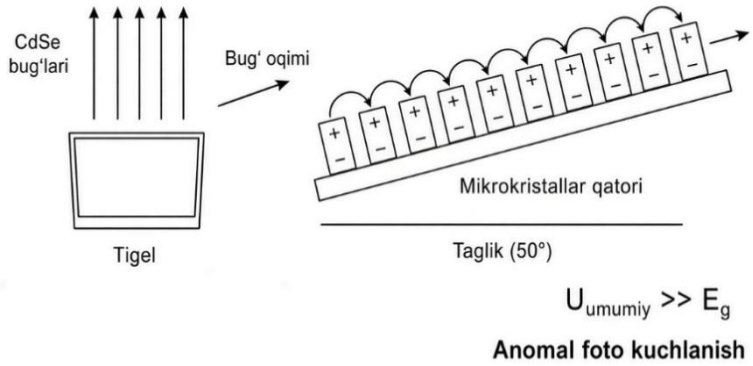
Zamonaviy optoelektronika va quyosh energetikasi sohalarida yuqori fotoelektrik xususiyatlarga ega yarimo‘tkazgich materiallarini yaratish dolzarb muammolardan biri hisoblanadi. Cadmiy selenid (CdSe) – II–VI guruhiga mansub keng qo‘llaniladigan yarimo‘tkazgich bo‘lib, uning taqiqlangan zonasi kengligi taxminan 1,7 eV ni tashkil etadi. CdSe asosidagi yupqa pardalar fotoqabul qilgichlar, quyosh elementlari va boshqa optoelektron qurilmalarda keng qo‘llaniladi. Anomal foto kuchlanish effekti – ya’ni yorug‘lik ta’sirida paydo bo‘ladigan ochiq zanjir kuchlanishining materialning taqiqlangan zonasi kengligidan sezilarli darajada yuqori bo‘lishi – ilmiy va amaliy jihatdan muhim ahamiyatga ega [1-3]. Bunday effekt odatda qiya joylashgan tagliklarga vakuumda termal bug‘latish usuli bilan olingan polikristall yupqa pardalarda kuzatiladi [1,4].

Tadqiqotning maqsadi CdSe kukunini UVN-7 vakuum qurilmasida termal bug‘latish usuli yordamida anomal foto kuchlanishli yupqa pardalar olish va ularning struktura hamda fotoelektrik xususiyatlarini o‘rganishdan iborat.

Dastlab CdSe kukunining kristall tuzilishi AL-27MINI rentgen difraktometrida o‘rganildi. Olingan XRD spektri 2θ = 15°–85° oralig‘ida yozib olindi. Spektrda (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112), (201), (202), (203), (210), (211), (105), (300) va (213) kabi difraksiya chiziqlari aniq kuzatildi. Ushbu cho‘qqilarning joylashuvi va intensivliklari CdSe ning geksagonal (wurtzite) tuzilishiga mos keladi. Bu esa boshlang‘ich kukunning fazaviy sof va polikristall ekanligini tasdiqlaydi.

Yupqa pardalar UVN-7 vakuum qurilmasida termal bug‘latish usuli bilan olindi. Eksperiment parametrlari quyidagicha tanlandi:

– Modda: CdSe;
– Modda massasi: 120 mg;
– Taglik materiali: orgsteklo;
– Taglik burchagi: 50°;
– Tigel bilan taglik orasidagi masofa: 8,5–9 sm;
– Taglik temperaturasi: 70–85 °C;
– CdSe kukunini bug‘latish temperaturasi: 560–580 °C;
– Bug‘latish vaqti: 10 minut.



1-rasm. Qiya taglikka bug’latish usulida anomal foto kuchlanishning yuzaga kelish sxemasi

Taglikning 50° burchak ostida joylashtirilishi anomal foto kuchlanish effektini kuzatish uchun muhim shart hisoblanadi. Bu sharoitda bug‘lanayotgan atomlar taglikka notekis tushadi, natijada parda ichida mikrokristallar qatorlari hosil bo‘lib, ularning har biri kichik fotoelement sifatida ishlaydi. Bunday qatorlar ketma-ket ulanganida umumiy ochiq zanjir kuchlanishi materialning taqiqlangan zonasi kengligidan bir necha barobar yuqori qiymatlarga yetishi mumkin [4,5].

Olingan yupqa pardalarda anomaliyali foto kuchlanish o‘lchovlari o‘tkazildi. To‘rtta namuna uchun quyidagi qiymatlar qayd etildi: U_1 = 15 V, U_2 = 17 V, U_3 = 22 V va U_4 = 18 V. Ushbu qiymatlar CdSe ning taqiqlangan zonasi kengligi (~1,7 eV) dan sezilarli darajada yuqori bo‘lib, anomal foto kuchlanish effektining mavjudligini aniq tasdiqlaydi. Eng yuqori qiymat 22 V ni tashkil etdi, bu esa olingan pardalarning fotoelektrik faolligi yuqori ekanligini ko‘rsatadi.

XRD tahlili shuni ko‘rsatadiki, boshlang‘ich CdSe kukuni sof geksagonal fazaga ega. Termal bug‘latish jarayonida ushbu struktura asosan saqlanib qoladi, lekin qiya joylashuv va nisbatan past taglik temperaturasi (70–85 °C) tufayli parda ichida anizotropiya va mikrostruktura nosimmetriyalari yuzaga keladi. Aynan shu nosimmetriyalar anomal foto kuchlanishning asosiy sababi hisoblanadi. Adabiyot ma’lumotlariga ko‘ra, bunday effekt PbS, CdTe, ZnTe va boshqa polikristall yupqa pardalarda ham kuzatilgan bo‘lib, ularning umumiy xususiyati – taglikning bug‘ oqimiga nisbatan burchak ostida joylashtirilishidir.

CdSe kukunining AL-27MINI rentgen difraktometrida olingan XRD spektri uning geksagonal tuzilishga ega ekanligini tasdiqladi. UVN-7 qurilmasida tanlangan texnologik parametrlar sharoitida anomal foto kuchlanishli yupqa pardalar muvaffaqiyatli olindi. Olingan pardalarda 15–22 V oralig‘ida foto kuchlanish qiymatlari qayd etildi, bu esa anomaliyali fotoeffektning mavjudligini isbotlaydi. Tadqiqot natijalari CdSe asosidagi anomal foto kuchlanishli pardalarni optoelektron qurilmalar va maxsus datchiklar yaratishda qo‘llash imkoniyatini ochadi. Keyingi bosqichlarda parda qalinligi, taglik materiali va termal ishlov berish sharoitlarining fotoelektrik xususiyatlarga ta’sirini chuqurroq o‘rganish maqsadga muvofiqdir.

Adabiyotlar ro‘yxati.

1. J. Starkiewicz, L. Sosnowski, and O. Simpson, "Photovoltaic effects exhibited in high-resistance semi-conducting films," Nature, 158, 28 (1946). https://doi.org/10.1038/158028a0

2. S. Hussain, M. Iqbal, A.A. Khan, M.N. Khan, G. Mehboob, S. Ajmal, J.M. Ashfaq, et al., "Fabrication of nanostructured cadmium selenide thin films for optoelectronics applications," Front. Chem. **9**, 661723 (2021). https://doi.org/10.3389/fchem.2021.661723

3. Онаркулов, К. Э., Нурдинова, Р. А., Юлдашев, Ш. А., & Юлдашев, А. А. (2022). Разработка теплопреобразователя на основе аномального фотовольтаического эффекта. *Сибирский физический журнал*, *17*(3), 53-59.

4. Onorkulov, K., & Zokirov, A. (2023). Technology for obtaining anomalous photovoltaic effect films from cadmium halides and on the nature of Microphotocells. *BULLETIN OF THE LN GUMILYOV EURASIAN NATIONAL UNIVERSITY. PHYSICS. ASTRONOMY SERIES*, *143*(2), 16-23.

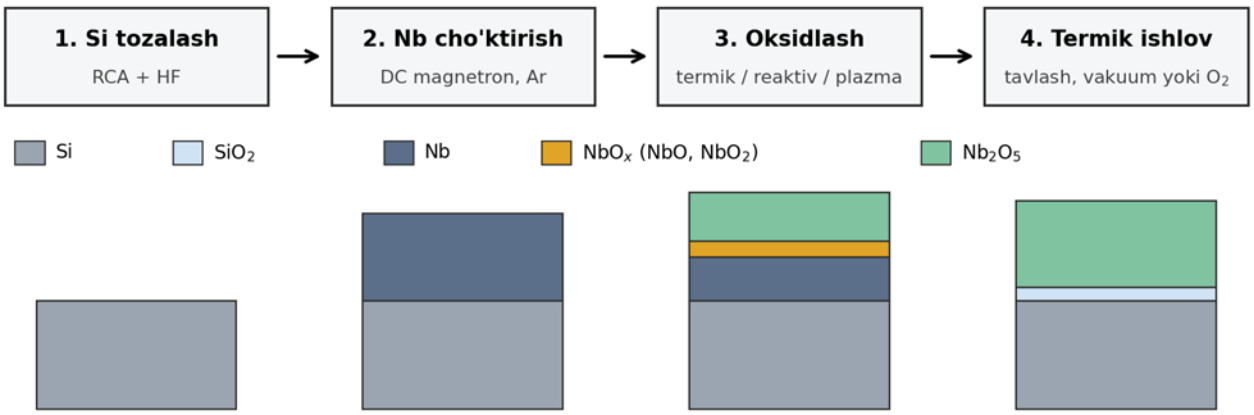
5. Зокиров, А. И. У., & Зайнолобидинова, С. М. (2022). Влияние структурных особенностей полупроводников их пленок на формирование эффекта аномального фотонапряжения. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, *2*(10), 209-215..

KREMNIY SIRTIDA YUPQA NANOSTRUKTURALAR HOSIL QILISH VA ULARNING ELEKTROFIZIK XOSSALARI

A.R. Qodirov[1], D.Q. Xoliquov[2], H.S. Sobirov[3], Davlatov M.A.[4]
[1]QarDU Nazariy va eksperimental fizika kafedrasi tayanch doktoranti
[2]QarDU Nazariy va eksperimental fizika kafedrasi magistri, [3]TDTU talabasi, [4]QDTU o’qituvchisi
asilbekqodirov980@gmail.com

Kremniy zamonaviy mikro - va nanoelektronikaning asosiy materiali bo'lib, uning sirtida hosil qilingan yupqa metall, yarimo'tkazgich va dielektrik nanostrukturalar qurilmaning elektr xarakteristikalarini belgilaydi [1, 8]. Bu borada niobiy (Nb) va uning oksidlari alohida o'rin tutadi: Nb o'ta o'tkazgich metall, NbO_2 yarimo'tkazgich, Nb_2O_5 esa yuqori dielektrik singdiruvchanlikka ega keng zonali dielektrik hisoblanadi [5, 6]. Ya'ni bitta Nb–O tizimi doirasida kislorod miqdorini o'zgartirib, metalldan dielektrikkacha bo'lgan xossalarni kremniy taglikda olish mumkin.

Eng keng qo'llaniladigan usul – Nb nishondan (odatda toza Nb) argon plazmasida magnetron changlatish bo'lib, u katta yuzada bir xil qalinlik va taglikka yaxshi adgeziyani ta'minlaydi [2]. Kremniy taglik oldindan kimyoviy tozalanadi (RCA), tabiiy SiO_2 qatlami kerak bo'lsa HF eritmasida olib tashlanadi. Nb qatlami cho'ktirilgach, oksidlash uch yo'l bilan amalga oshiriladi: termik oksidlash (havo yoki kislorod muhitida), plazmada reaktiv changlatish (Ar + O_2 aralashmasida kislorodning parsial bosimi orqali faza tarkibi boshqariladi) va anod oksidlash (1-rasm).



1-rasm. Si sirtida Nb va Nb_2O_5 nanoqatlamlarini olish bosqichlari

Niobiy havoda yoki kislorodda oksidlanganda sirtda Nb_2O_5 hosil bo'ladi, uning ostida esa NbO_2 va NbO oraliq qatlamlari shakllanadi [3, 4]. Oksid qatlami amorf yoki turli polimorf (ortorombik, monoklin) ko'rinishda bo'lishi mumkin, tuzilma esa oksidlash va tavlash haroratiga bog'liq [5]. Kremniy bilan chegarada ikki jarayon muhim: birinchidan, kislorod mavjud bo'lganda Si/Nb_2O_5 interfeysida SiO_2 oraliq qatlami o'sadi; ikkinchidan, vakuumda yuqori haroratli tavlashda (taxminan 600–700 ^oC dan yuqori) Nb kremniy bilan reaksiyaga kirishib $NbSi_2$ silitsidini hosil qiladi. Nb–O tizimida fazaning o'zgarishi elektr xossalarning keskin o'zgarishiga olib keladi (1-jadval). Metall Nb va NbO past solishtirma qarshilikka ega, stexiometrik NbO_2 yarimo'tkazgich bo'lib, yuqori haroratda izolyator–metall o'tishini namoyon qiladi, Nb_2O_5 esa keng zonali dielektrikdir [5, 6].

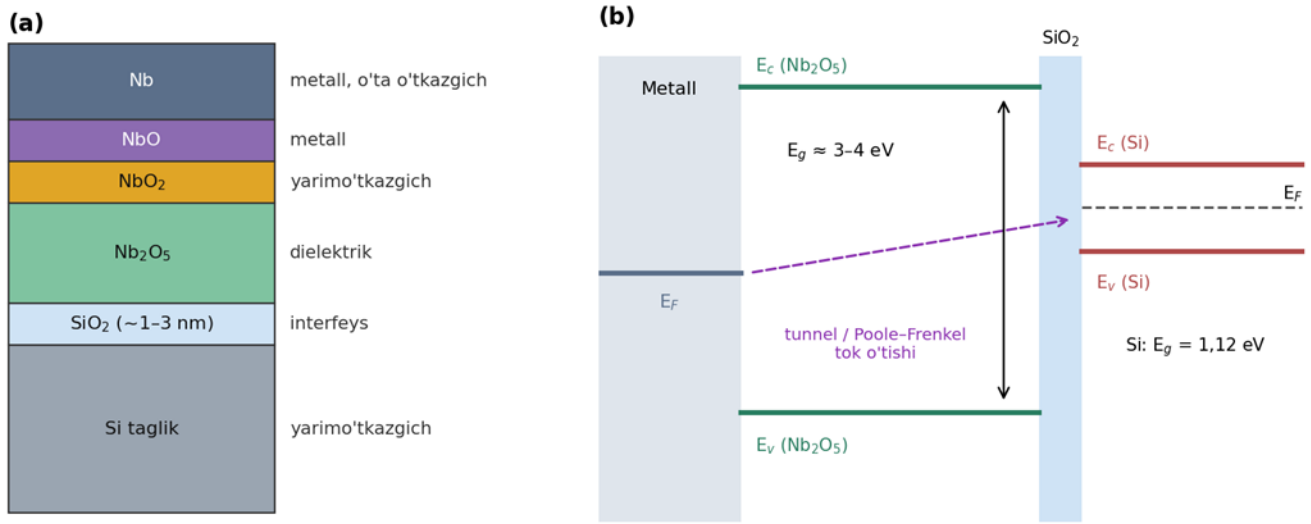
Yupqa Nb qatlamlarining solishtirma qarshiligi qalinlik kamayganda (bir necha o'n nm dan past) sirt va don chegaralarida sochilish hamda oksid qatlami hisobiga massiv materialnikidan yuqori bo'ladi; uni to'rt

zondli usul bilan, o'ta o'tkazuvchanlikka o'tish haroratini esa past haroratda o'lchanadigan qarshilik–harorat bog'liqligidan aniqlanadi [4].

1-jadval. Nb–O tizimi fazalarining asosiy xossalari[4–6]

Faza	Kristall tuzilmasi	Elektr xossasi	Izoh
Nb	kub (OMK)	metall; ρ ≈ 15 μΩ·sm (massiv); Tc ≈ 9,2 K	o'ta o'tkazgich
NbO	kub (vakansiyali tuz tipi)	metall o'tkazuvchanlik; Tc ≈ 1,4 K	oraliq qatlam
NbO_2	tetragonal (rutil tipiga yaqin)	yarimo'tkazgich, Eg ≈ 0,7–1,0 eV; o'tish ≈ 1080 K	termal kalit
Nb_2O_5	ortorombik, monoklin, amorf	dielektrik, Eg ≈ 3–4 eV; ε ≈ 30–50	high-k qatlam

Nb_2O_5 qatlamli metall–dielektrik–yarimo'tkazgich (MDYa) tuzilmalarda asosiy xarakteristikalar C–V va I–V egri chiziqlaridan olinadi: dielektrik singdiruvchanlik, yassi zona kuchlanishi, interfeys holatlari zichligi va qochish toki [8, 9]. Nb_2O_5 ning ε qiymati SiO_2 (≈3,9) dan ancha yuqori bo'lgani sababli, bir xil sig'imda qalinroq qatlam olish va tunnel tokini kamaytirish mumkin, bu esa uni high-k dielektrik sifatida qiziqarli qiladi [7]. Ammo kislorod vakansiyalari qatlamni n-tipli yarimo'tkazgichga yaqinlashtiradi va qochish tokini oshiradi. Zonalar tuzilishi va tok o'tishining sxematik ko'rinishi 2-rasmda keltirilgan.



2-rasm. (a) Si/Nb–O ko'p qatlamli tuzilmasi va qatlamlarning elektr turi; (b) metall/Nb_2O_5/SiO_2/Si tuzilmasining sxematik zona diagrammasi

Nb_2O_5 qatlamlarda tok o'tishi qo'llangan maydon va haroratga qarab Shottki emissiyasi, Pul–Frenkel mexanizmi, fazoviy zaryad bilan cheklangan tok yoki tuzoqlar orqali tunnellanish bilan belgilanadi [6, 8]. Mexanizmni aniqlash uchun lg(I) ning √E, lg(I/E) ning √E va lg(I) ning lg(V) ga bog'liqliklari tahlil qilinadi, harorat o'zgartirib o'lchash esa faollanish energiyasini beradi.

Qatlamlarning tuzilishi va tarkibini aniqlash uchun rentgen difraksiyasi (XRD), rentgen fotoelektron spektroskopiyasi (XPS), atom-kuch mikroskopiyasi (AFM) va ellipsometriya qo'llaniladi. XPS Nb^{5+}, Nb^{4+}

va Nb^{2+} holatlarini ajratib, oksid qatlamining chuqurlik bo'yicha tarkibini baholashga imkon beradi [3]. Elektr o'lchovlar tarkibiy tahlil natijalari bilan birgalikda talqin qilinsagina, fazaviy tarkib va o'tkazuvchanlik orasidagi bog'liqlik ishonchli aniqlanadi.

Si sirtidagi Nb–O nanostrukturalar bir necha sohada ishlatiladi: Nb_2O_5 asosidagi MDYa kondensatorlar va high-k dielektriklar [7]; NbO_2 asosidagi issiqlik bilan boshqariladigan bo'sag'aviy kalitlar (selektorlar) va qarshilik o'zgaruvchan xotira elementlari [10]; Nb_2O_5 gaz sensorlari; Nb asosidagi o'ta o'tkazuvchan elektronika, bunda Nb sirtidagi tabiiy oksid qatlami mikroto'lqinli rezonatorlarda yo'qotishlarni oshiradi, shu sababli oksid qatlamini nazorat qilish muhim [11].

Kremniy sirtida Nb nanoplyonkalarini magnetron usulida olib, kislorod miqdori va harorat orqali Nb, NbO, NbO_2 va Nb_2O_5 fazalarini boshqarish mumkin, bu esa bitta tizimda metall, yarimo'tkazgich va dielektrik qatlamlarni hosil qilish imkonini beradi. Qurilma xossalari fazaviy tarkib, interfeys holati (SiO_2, $NbSi_2$) va kislorod vakansiyalari bilan belgilanadi. Shu sababli texnologik rejimlarni optimallashtirish va qatlamlarni C–V, I–V hamda harorat bog'liq o'lchovlar bilan tavsiflash kelgusi tadqiqotlarning asosiy yo'nalishi hisoblanadi.

ADABIYOTLAR

[1] Ohring M. Materials Science of Thin Films: Deposition and Structure. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 2002. 794 p.

[2] Kelly P.J., Arnell R.D. Magnetron sputtering: a review of recent developments and applications // Vacuum. 2000. Vol. 56, No. 3. P. 159–172.

[3] Grundner M., Halbritter J. XPS and AES studies on oxide growth and oxide coatings on niobium // J. Appl. Phys. 1980. Vol. 51, No. 1. P. 397–405.

[4] Halbritter J. On the oxidation and on the superconductivity of niobium // Appl. Phys. A. 1987. Vol. 43. P. 1–28.

[5] Nico C., Monteiro T., Graça M.P.F. Niobium oxides and niobates physical properties: Review and prospects // Prog. Mater. Sci. 2016. Vol. 80. P. 1–37.

[6] Rani R.A., Zoolfakar A.S., O'Mullane A.P., Austin M.W., Kalantar-Zadeh K. Thin films and nanostructures of niobium pentoxide: fundamental properties, synthesis methods and applications // J. Mater. Chem. A. 2014. Vol. 2. P. 15683–15703.

[7] Wilk G.D., Wallace R.M., Anthony J.M. High-κ gate dielectrics: Current status and materials properties considerations // J. Appl. Phys. 2001. Vol. 89, No. 10. P. 5243–5275.

[8] Sze S.M., Ng K.K. Physics of Semiconductor Devices. 3rd ed. Hoboken: Wiley, 2007. 815 p.

[9] Nicollian E.H., Brews J.R. MOS (Metal Oxide Semiconductor) Physics and Technology. New York: Wiley, 1982. 906 p.

[10] Pickett M.D., Williams R.S. Sub-100 fJ and sub-nanosecond thermally driven threshold switching in niobium oxide crosspoint nanodevices // Nanotechnology. 2012. Vol. 23, No. 21. Art. 215202.

[11] Verjauw J., Fritz A., Hedley T. et al. Investigation of microwave loss induced by oxide regrowth in high-Q Nb resonators // Phys. Rev. Applied. 2021. Vol. 16. Art. 014018.

EVALUATION OF THE REFRACTIVE INDICES OF SOLUTIONS IN THE C_{70}/DMF SYSTEM.

Z. Bekmurodov [1], D.T. Sidigaliyev[2], J. Yoqubjonov[3], U.K. Maxmanov[1,3], T. Chuliev[1]
[1]*Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies named after U.A. Arifov*
[1]*Namangan State University*
[3]*National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek*

One of the vital directions in modern nanotechnology and materials science is the investigation of the physicochemical and optical properties of carbon nanostructures, particularly fullerenes [1]. Possessing a unique rugby-ball-shaped ellipsoidal structure, a strongly delocalized π-electron system, and high polarizability, the C_{70} fullerene represents a promising material for optical and optoelectronic devices [2]. The intermolecular interactions and self-assembly processes of fullerenes in solutions significantly affect their macroscopic optical parameters, including the refractive index [4].

Dimethylformamide (DMF), acting as a polar solvent, engages in weak noncovalent interactions (such as dipole-induced dipole, van der Waals, and $\pi - \pi$ interactions) with C_{70} molecules due to the polarized π-bond of its carbonyl group. While no new covalent bonds are formed during this process, the spatial proximity enhances the deformability of the electron clouds, leading to noticeable changes in the optical density and refractive index of the solution. Furthermore, understanding the broader scope of fullerene-based optoelectronic applications and composite properties requires analyzing how these molecular architectures respond to external fields [3].

The relevance of this work lies in experimentally investigating the effect of concentration on the optical properties (specifically the refractive index) of the C_{70} fullerene and polar DMF solvent system, as well as theoretically explaining the nature of intermolecular interactions based on the Lorentz–Lorenz equation. The obtained results expand the possibilities for predicting and tailoring the optical characteristics of fullerene-containing nanodisperse media and liquid systems.

Previous studies have demonstrated that precise refractometric measurements provide valuable insights into the polarizability and internal structure of liquid mixtures containing carbon nanomaterials. Moreover, determining refractive index variations as a function of solute concentration allows researchers to evaluate molecular clustering and spatial arrangement within colloidal dispersions. In this context, utilizing an ATAGO Pocket Refractometer offers high accuracy and reliability for tracking minute changes in optical parameters under controlled thermal conditions. Building upon these methodological foundations, the present study systematically examines the concentration-dependent refractive behavior of C_{70} fullerene dissolved in N,N-dimethylformamide.

To study the optical properties of C_{70}/DMF solutions, the refractive indices of samples prepared at different concentrations were experimentally determined using an (ATAGO Pocket) Refractometer. The measurement results are presented in Figure 1.

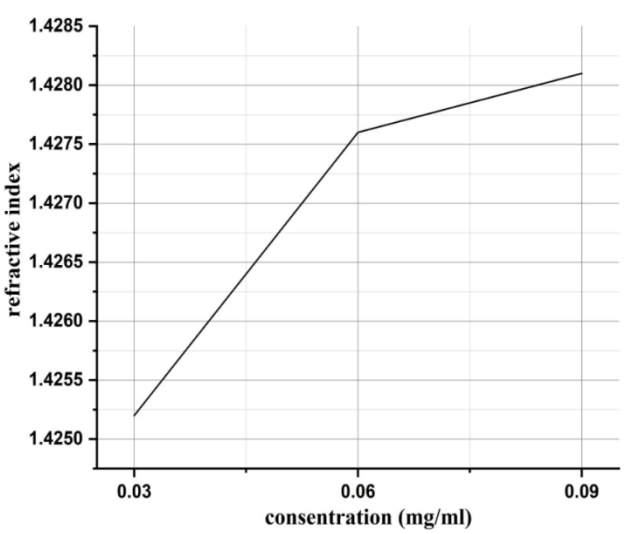


Figure 1. Refractive Indices of C_{70}/DMF Solutions at Different Concentrations.

The results showed that the refractive index of the fullerene–DMF system increased with increasing concentration. The measurements were carried out within the temperature range of 22.8–22.9 ^{0}C. Since the temperature remained nearly constant, the observed changes in the refractive index can be

attributed primarily to the effect of concentration. According to the experimental results, an increase in the C_{70} fullerene concentration from 0.03 mg/mL to 0.09 mg/mL resulted in an increase in the refractive index from 1.4252 to 1.4281. This phenomenon can be explained by the strengthening of intermolecular interactions as a result of the increased number of fullerene molecules in the solution. Fullerene molecules consist of sp^2-hybridized carbon atoms and possess a strongly delocalized π-electron system. Each carbon atom in the C_{70} molecule forms three σ bonds, while one π electron participates in the delocalized electron cloud. DMF is considered a polar solvent due to the presence of a carbonyl group in its molecular structure. In the solution, fullerene molecules interact with DMF through dipole-induced dipole, van der Waals, and π–π interactions. (The π–π interaction arises from the interaction between the delocalized π-electron cloud of the fullerene molecule and the π-electron system of the carbonyl group in the DMF molecule.) No new covalent bond is formed between the fullerene and DMF molecules; rather, their close spatial proximity gives rise to weak noncovalent intermolecular interactions and energetic stabilization.

Because the C_{70} molecule has a large delocalized π-electron surface, it is considered highly sensitive to external electromagnetic fields. The carbonyl group of the DMF molecule contains a polarized π-bond, and when it approaches the fullerene surface, partial redistribution of the electron clouds occurs. As a result, the overall polarizability of the molecule increases. Therefore, under the influence of light, the degree of deformation of the electron cloud increases, resulting in an increase in the refractive index of the solution.

This process can also be considered as an interaction between the orbitals:

$$\pi(C_{70}) \leftrightarrow \pi(C = O)$$

Here:

- The fullerene acts as a delocalized π-electron donor/acceptor system,
- while the carbonyl group of DMF acts as a source of a polarized π-orbital.
- As a result, the collective oscillation of the electron clouds in the solution is enhanced, leading to an increase in optical density.

As the concentration increases, the average distance between fullerene molecules decreases, and the interaction between the electron clouds becomes stronger. This, in turn, enhances the deformability of the electron cloud under an external electromagnetic field. The increase in the refractive index can be explained based on the Lorentz–Lorenz equation:

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = \frac{4\pi N\alpha}{3}$$

where:

- n— refractive index,
- N— number of molecules,
- α— polarizability of the electron cloud.

As the concentration increases, the number of fullerene molecules in the solution increases, thereby increasing the probability of aggregation. The resulting nanoclusters have larger electron clouds and are more strongly polarized under the influence of light. Therefore, the refractive index of the solution increases. The experimental results show that the rate of increase in the refractive index decreases as the concentration increases from 0.06 mg/mL to 0.09 mg/mL. This phenomenon may be associated with partial aggregation of fullerene molecules in the solution or the onset of local structural ordering. In this case, the increase in the refractive index slows down due to the relative decrease in the number of free molecules in the solution. The obtained results demonstrate the concentration dependence of the optical parameters in the fullerene–DMF system and confirm that intermolecular interactions between fullerene molecules are one of the main factors determining the optical properties of the solution.

References

1. Makhmanov, U. K., Esanov, S. A., Sidigaliyev, D. T., Musurmonov, K. N., Aslonov, B. A., & Chuliev, T. A. (2023). Behavior of C_{70} fullerene in a binary mixture of xylene and tetrahydrofuran. *Liquids*, *3*(3), 385–392. https://doi.org/10.3390/liquids3030023
2. Guldi, D. M., & Prato, M. (2000). Intermolecular interactions of fullerenes and their application in optoelectronic systems. *Accounts of Chemical Research*, *33*(10), 695–703. https://doi.org/10.1021/ar990177s
3. Eder, D. (2010). Carbon nanotube–metal oxide composites—properties, mechanisms and applications. *Chemical Reviews*, *110*(3), 1346–1410. https://doi.org/10.1021/cr900227k
4. Barchini, R., et al. (2017). Refractive index and polarizability of fullerene-containing liquid systems and solutions. *Journal of Molecular Liquids*, *240*, 450–458. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.05.074

TiO_2/Si(111) YUPQA QATLAMLARIDA INTERPLANAR MASOFA d_{hkl} NING STRUKTURAVIY O'ZGARISHLARINI XRD USULIDA TADQIQ QILISH

B.E. Umirzakov[1], Z.A. Isaxanov[2], A.S. Xalmatov[2], M.M. Maxmudov[2]
I. Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti,
U.A. Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti,
O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi

1. Material va tadqiqot usuli

Tadqiqot obyekti sifatida Si(111) monokristall taglik yuzasida magnetron purkash usulida hosil qilingan TiO_2 yupqa qatlamlari olindi. Qatlamlar vakuum sharoitida P = 10^{-4} Pa bosimda, xona haroratida hosil qilingan. Namunalarning boshlang'ich, 900°C da termik ishlov berilgan va 100 Gy gamma nurlantirilgan holatlari o'zaro taqqoslandi. Termik ishlov 900°C da 1 soat davomida, gamma nurlanish esa Co^{60} manbasi yordamida 100 Gy doza va 90 rad/s intensivlikda bajarilgan [1].

Strukturaviy tahlil Shimadzu XRD-6100 difraktometrida θ–2θ geometriyasida amalga oshirilgan. O'lchashlar 10–80° diapazonda, 0.02° qadam bilan, 2°/min skanerlash tezligida va 0.60 s hisoblash vaqti bilan bajarilgan. Rentgen trubkasi kuchlanishi 40 kV, tok kuchi 30 mA bo'lgan [4].

Kristallografik tekisliklar orasidagi interplanar masofa d_{hkl} XRD maksimumlarining burchak holatidan Bragg qonuni asosida aniqlanadi:

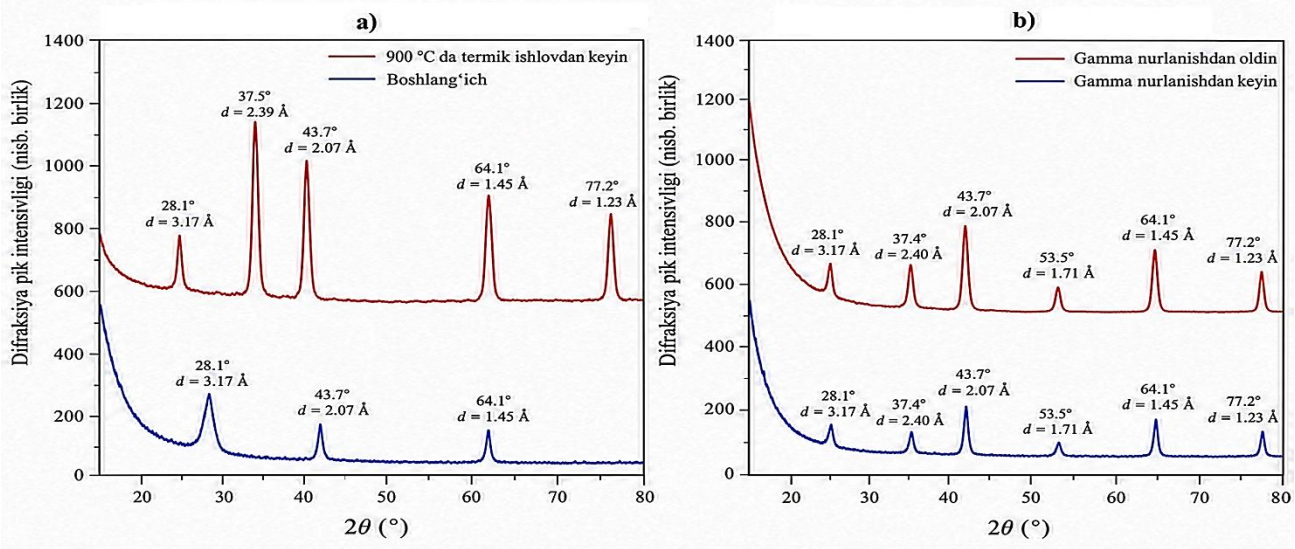
$$n_\lambda = 2d_{hkl} \sin\theta \qquad (1)$$

Bu yerda n — difraksiya tartibi; λ — rentgen nurlanishining to'lqin uzunligi; θ — Bragg burchagi; d_{hkl} — kristallografik tekisliklar orasidagi masofa.

Masalan, 2θ = 28.1° uchun θ = 14.05°. K_α nurlanishi uchun λ = 1.5406 Å va n = 1 qabul qilinsa:

$$d_{hkl} = \frac{\lambda}{(2\sin\theta)} = \frac{1.5406}{[2\sin(14.05°)]} \approx 3.17\ \text{Å} \qquad (2)$$

Hisoblangan qiymat 28.1° maksimumga mos keluvchi interplanar masofaning fizik ma'nosini ko'rsatadi.



1-rasm. TiO_2/Si(111) yupqa qatlamlarining XRD profillari:
a) termik ishlovdan oldin va 900°C dan keyin; b) gamma nurlanishdan oldin va keyin. [2].

2. XRD natijalari va muhokama

Boshlang‘ich TiO_2/Si(111) namunasida 28.1°, 43.7° va 64.1° atrofida kuchsiz difraksion maksimumlar kuzatilgan. 900°C da 1 soat termik ishlovdan so‘ng 28.1°, 37.5°, 43.7°, 64.1° va 77.2° atrofidagi maksimumlar yaqqolroq namoyon bo‘lgan. Fazaviy tahlilda 81.13 % amorf va 18.87 % kristall qism qayd etilgan [1].

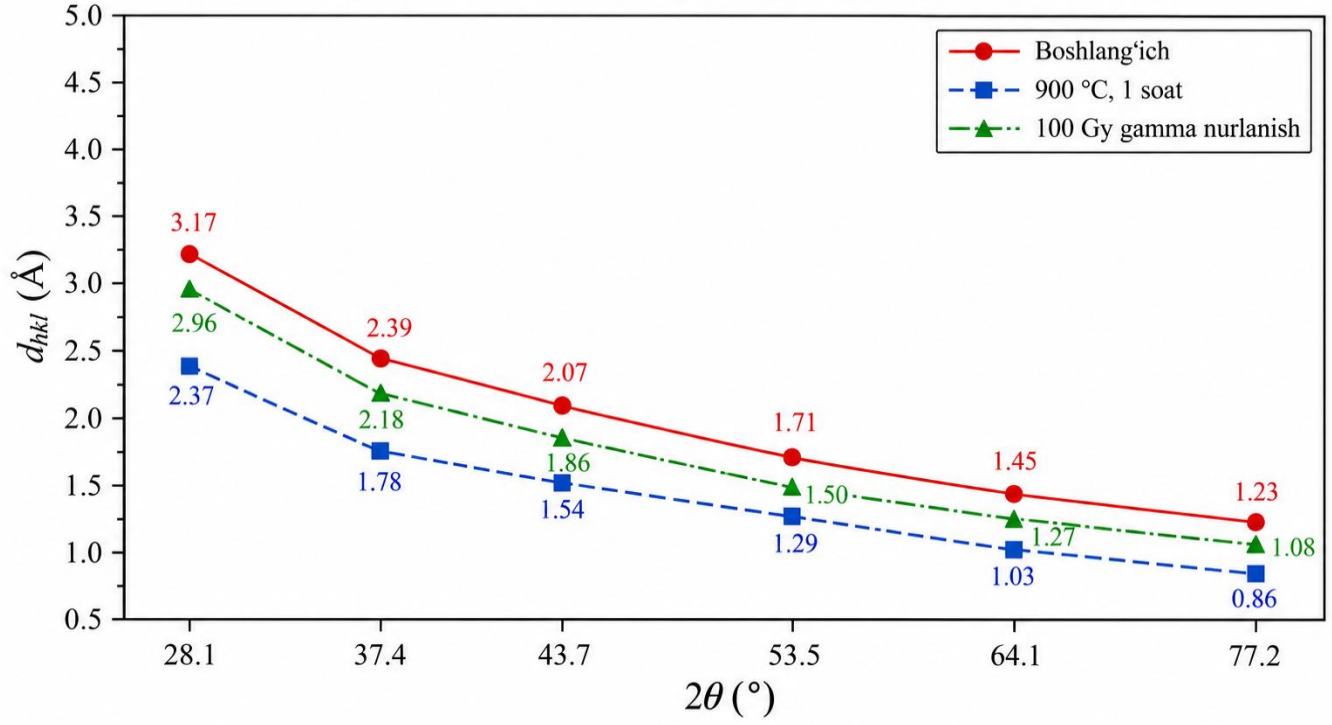
100 Gy gamma nurlanishdan keyin 28.1°, 37.4°, 43.7°, 53.5°, 64.1° va 77.2° atrofidagi maksimumlar intensivligining kamayishi kuzatilgan. Bu o‘zgarishlar gamma nurlanish natijasida panjara deformatsiyalari va nuqsonlar hosil bo‘lishi bilan bog‘langan [4].

1-jadval.

TiO_2/Si(111) yupqa qatlamlarining XRD asosida aniqlangan asosiy strukturaviy parametrlari [1].

Parametr	**Boshlang‘ich**	**900°C, 1 soat**	**100 Gy gamma**	**Strukturaviy talqin**
d_{hkl}, Å	4.72–6.35	2.37–3.17	3.30–4.44	Interplanar masofa
D, nm	22.4–30	60–76	31–40	Kristallit o‘lchami
δ, m^{-2}	$1.28–1.80\times10^{14}$	$0.17–0.23\times10^{14}$	$0.65–0.87\times10^{14}$	Dislokatsiya zichligi
Raman fazasi	Anatas	Rutil	Rutil	Faza o‘zgarishi

Jadvaldagi d_{hkl} qiymatlari boshlang‘ich holatda eng katta diapazonga ega. Termik ishlovdan keyin ularning kamayishi panjara tartiblanishi, atom diffuziyasi, nuqsonlarning kamayishi va kristallitlarning o‘sishi bilan bog‘langan. Gamma nurlanishdan keyingi oraliq qiymatlar esa radiatsion nuqsonlar va lokal panjara deformatsiyalari bilan izohlanadi [3].



2-rasm. TiO_2/Si(111) yupqa qatlamlarida interplanar masofa d_{hkl} ning 2θ ga bog‘liqligi; grafik maqoladagi XRD maksimumlari va d_{hkl} qiymatlari asosida qayta chizilgan [2].

3. Strukturaviy o‘zgarish mexanizmi

Boshlang‘ich qatlamdagi katta d_{hkl} qiymatlari kristall panjaraning tartibsizligi, nuqsonlar, qoldiq kuchlanishlar va qisman amorf holat bilan bog‘liq. 900°C termik ishlov atomlarning harakatchanligini oshirib, diffuziya va qayta tashkilanishni kuchaytiradi. Natijada kristallit o‘lchami 22.4–30 nm dan 60–76 nm gacha oshgan, dislokatsiya zichligi esa 1.28–1.80×10^{14} m^{-2} dan 0.17–0.23×10^{14} m^{-2} gacha kamaygan [3].

Gamma nurlanishdan keyin kristallit o‘lchami 31–40 nm, dislokatsiya zichligi 0.65–0.87×10^{14} m^{-2} bo‘lgan. Radiatsiya ta’sirida kislorod vakansiyalari, interstitsial ionlar va dislokatsiyalar paydo bo‘lishi mumkin; bu esa lokal panjara deformatsiyasini kuchaytiradi [5].

TiO_2/Si(111) yupqa qatlamlarining strukturaviy holatini baholashda interplanar masofa d_{hkl}, kristallit o‘lchami D va dislokatsiya zichligi δ muhim parametrlar hisoblanadi. XRD natijalariga ko‘ra, boshlang‘ich namunada d_{hkl} qiymati 4.72–6.35 Å, kristallit o‘lchami 22.4–30 nm va dislokatsiya zichligi 1.28–1.80×$10^{14}m^{-2}$ oralig‘ida bo‘lgan. Bu holat qatlamda strukturaviy tartibsizlik va kristall panjaradagi nuqsonlarning nisbatan yuqori ekanligini ko‘rsatadi.

900°C haroratda 1 soat davomida termik ishlov berilganda d_{hkl} 2.37–3.17 Å gacha kamaygan, kristallit o‘lchami esa 60–76 nm gacha ortgan. Shu bilan birga, dislokatsiya zichligi 0.17–0.23×$10^{14}m^{-2}$ gacha kamaygan. Olingan natijalarga ko’ra bu o‘zgarishlar yuqori harorat ta’sirida atomlarning diffuziyasi, nuqsonlarning kamayishi va kristallitlarning o‘sishi bilan izohlangan. XRD difraktogrammasida maksimumlarning intensivligi oshishi ham kristallanish jarayonining kuchayganini ko‘rsatadi.

100 Gy gamma nurlanishdan keyin esa d_{hkl} 3.30–4.44 Å, kristallit o‘lchami 31–40 nm va dislokatsiya zichligi 0.65–0.87×$10^{14}m^{-2}$ qiymatlarini tashkil etgan. Ushbu natijalar termik ishlovdan keyingi holatga nisbatan strukturaviy tartiblanishning qisman susayganini ko‘rsatadi. Tajriba natijalariga ko’ra gamma nurlanish ta’sirida kislorod vakansiyalari, interstitsial ionlar va dislokatsiyalar kabi nuqsonlarning hosil

bo‘lishi hamda lokal panjara deformatsiyalari yuzaga kelishi qayd etilgan. Shu sababli gamma nurlantirilgan namuna strukturaviy parametrlari bo‘yicha boshlang‘ich va termik ishlov berilgan holatlar orasidagi oraliq holatni egallaydi.

4. Xulosa

TiO_2/Si(111) yupqa qatlamlarida interplanar masofa d_{hkl} ning strukturaviy o‘zgarishlari XRD usulida tahlil qilindi. Bragg qonuni $n_\lambda = 2d_{hkl}\sin\theta$ yordamida difraksiya burchagi va kristallografik tekisliklar orasidagi masofa o‘rtasidagi bog‘lanish ko‘rsatildi. Boshlang‘ich namuna uchun d_{hkl} = 4.72–6.35 Å, 900°C termik ishlovdan keyin 2.37–3.17 Å, 100 Gy gamma nurlanishdan keyin esa 3.30–4.44 Å diapazonlari qayd etilgan [1].

Natijalar termik ishlov kristall panjaraning tartiblanishi va kristallanish jarayonlarini kuchaytirishini, gamma nurlanish esa panjarada nuqsonlar va lokal deformatsiyalarni yuzaga keltirishini ko‘rsatadi. Shunday qilib, d_{hkl} TiO_2/Si(111) yupqa qatlamlarining strukturaviy holatini XRD orqali baholash uchun muhim parametr hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. B.E. Umirzakov, Z.A. Isaxanov, I.R. Bekpulatov, I.O. Kosimov, M.M. Maxmudov, G. Imanova. Study of the influence of temperature and gamma radiation on the crystal structure of a thin TiO_2 coating obtained on a Si(111) surface // Physics Letters A. 2026. Vol. 580. 131519. DOI: 10.1016/j.physleta.2026.131519.

2. G.S. Jdanov, A.S. Ilyushin, S.V. Nikitina. Difraksionniy i rezonansniy strukturniy analiz. Moskva: Nauka, 1980.

3. Y.Q. Hou et al. Influence of annealing temperature on the properties of titanium oxide thin film // Applied Surface Science. 2003. Vol. 218.

4. E.S. Kiselyova, V.S. Sypchenko, N.N. Nikitenkov, E.V. Pozdeeva, V. Zeylun. Study of the composition and structure of titanium dioxide based coatings deposited by the method of reactive magnetic sputtering // Letters on Materials. 2017. Vol. 7(2). P. 117–119. DOI: 10.22226/24103535-2017-2-117-119.

5. Z.A. Isakhanov, B.E. Umirzakov, M.K. Ruzibaeva et al. Technical Physics. 2011. Vol. 56. No. 4. P. 546–549. DOI: 10.1134/S1063784211040177.

YANGI TEXNOLOGIYALAR ASOSIDA ISHLAB CHIQILGAN XALKOGENIDLI SHISHASIMON PLYONKALI MATERIALLARNING HARBIY TEXNIKALARDAGI AHAMIYATI

Xurramov Akbar Ilhomovich,
O‘zbekiston Respublikasi Jamoat xavfsizligi universiteti professori, *t.f.d. (DSc), dotsent,*
Bekchanova Mira Ruzimovna,
O‘zbekiston Respublikasi Jamoat xavfsizligi universiteti
katta o‘qituvchisi, *f-m.f.d. (PhD)*

Xalkogenidli shishasimon plyonkalar selen (Se), tellur (Te), oltingugurt (S) kabi elementlarning mishyak (As), germaniy (Ge), surma (Sb) bilan birikmalaridan tashkil topgan bo‘lib, ular yarimo‘tkazgich xususiyatiga ega noorganik amorf materiallar hisoblanadi. Bunday materiallar yuqori sindirish ko‘rsatkichi, infraqizil diapazonda keng shaffofligi, optik nochiziqliligi va fazaviy barqarorligi bilan ajralib turadi. Bugungi kunda xalkogenidli shishasimon plyonkalar optika, fotonika, xotira qurilmalari va sensorlarning asosiy materiallaridan biri hisoblanadi. Ushbu xossalar ularni harbiy xavfsizlik sohasida – tungi ko‘rish, nishonga olish, raketalardan himoyalanish, zaharlovchi moddalarni aniqlash va radiatsiyaga chidamli

elektronika kabi yo‘nalishlarda strategik materialga aylantirgan. Shu sababli ular harbiy texnika va zamonaviy harbiy qurollarning optik tizimlarida muhim o‘rin tutadi [1].

Xalkogenid shishalarning amaliyotda eng ko‘p qo‘llaniladigan tarkiblari va asosiy tizimlari quyidagi jadvalda keltirilgan:

Jadval

Asosiy xalkogenid shisha tizimlari

Tizim	Tarkib namunasi	Asosiy qo‘llanish sohasi
As–S	As_2S_3	Infraqizil (IQ) tolalar, fotorezistorlar, golografiya
As–Se	As_2Se_3	Nochiziqli optika, IQ tolalar
Ge–As–Se	$Ge_{33}As_{12}Se_{55}$	Teplovizor linzalari va oynalari
Ge–Sb–Se	$Ge_{28}Sb_{12}Se_{60}$	Presslanadigan IQ linzalar
Ge–Sb–Te	$Ge_2Sb_2Te_5$ (GST)	Fazasi o‘zgaruvchan xotira, qayta konfiguratsiyalanuvchi optika
a-Se	Amorf selen	Rentgen detektorlari
Ga–La–S	Galliy-lantan sulfidi	Faol (lazer) optika, IQ oynalar

Xalkogenidli birikmalar (masalan, Ge–Sb–Te yoki As–Se) fazani tez o‘zgartira oladi. Ularning muhim xususiyati – tashqi elektr yoki issiqlik ta’sirida amorf holatdan kristall holatga va kristall holatdan amorf holatga qaytariladigan fazaviy o‘zgarish ro‘y berishidir. Bu ikki holatning elektr qarshiligi keskin farq qiladi va shu farqdan 0 va 1 raqamli axborotni saqlash uchun foydalanish mumkin. Ya’ni axborot elektron zaryadda emas, balki materialning strukturaviy holati va elektr qarshiligida saqlanadi. Shuning uchun bunday xotira uchuvchan bo‘lmagan xotira (non-volatile memory) hisoblanadi. Bu xususiyat ularni optik xotira qurilmalari va tezkor qayta sozlanuvchi linzalarda ishlatish imkonini beradi. Hozirgi kunda ayrim harbiy optik tizimlarda bunday fazani o‘zgartiruvchi elementlar adaptiv optika sifatida joriy etilmoqda [2].

Xalkogenidli shishasimon plyonkalar asosidagi fazaviy xotiralarning energiya uzilganda ma’lumotlarni saqlashi, kichik o‘lchamda xotira yaratish imkoniyati, yuqori tezlikda qayta yozish imkoniyati, katta axborot zichligi, elektr va optik usullarda ma’lumot bilan ishlash, mikrosxemalarga integratsiya qilish imkoniyati ularning ilmiy jihatdan qiziqarli tomonlaridir [3].

Xalkogenidli materiallarning yana bir istiqbolli yo‘nalishi energiyaga bog‘liq bo‘lmagan axborot saqlash tizimlarini yaratish bilan bog‘liq. Fazaviy o‘zgarishga asoslangan xotira elementlarida axborot elektr zaryadining mavjudligi bilan emas, balki materialning amorf yoki kristall strukturaviy holati bilan ifodalanadi. Mazkur holatlar o‘rtasidagi elektr qarshilik va optik xossalarning sezilarli farqi ikkilik axborotni qayd etish imkonini beradi. Natijada elektr ta’minoti uzilganidan keyin ham yozilgan axborotni saqlab qolish imkoniyati yuzaga keladi. Bu xususiyat avtonom boshqaruv bloklari, bort elektron tizimlari, sensorlardan olingan ma’lumotlarni qayd etuvchi qurilmalar hamda uzoq vaqt mustaqil ishlashi talab etiladigan maxsus texnik vositalar uchun muhimdir.

Bundan tashqari, xalkogenidli yupqa plyonkalarni mikroelektron va optoelektron tuzilmalar bilan integratsiyalash imkoniyati kichik o‘lchamli, yuqori axborot zichligiga ega va energiya sarfi nisbatan kam bo‘lgan funksional elementlarni ishlab chiqish uchun ilmiy asos yaratadi. Bunday materiallar asosida bir vaqtning o‘zida axborotni sezish, qayd etish va saqlash funksiyalarini bajaruvchi integrallashgan qurilmalarni shakllantirish istiqboli mavjud. Harbiy texnika uchun bu omil apparat vositalarining massa-

gabarit ko‘rsatkichlarini kamaytirish, avtonomligini oshirish hamda bort elektron tizimlarining funksional imkoniyatlarini kengaytirish nuqtai nazaridan muhim hisoblanadi.

Shunday qilib, xalkogenidli shishasimon plyonkalarni harbiy texnikada qo‘llash faqat optik elementlar yaratish bilan chegaralanmaydi. Ularning optik, elektr va strukturaviy xususiyatlari asosida infraqizil optika, sensorika, optoelektronika hamda uchuvchan bo‘lmagan xotira qurilmalarini takomillashtirish imkoniyati mavjud. Shu jihatdan xalkogenidli materiallarning tarkibi, plyonka olish texnologiyasi va tashqi ta’sirlar ostidagi xossalarini kompleks tadqiq etish harbiy texnikaning istiqbolli elektron va optik tizimlari uchun yangi funksional materiallarni yaratishga qaratilgan dolzarb ilmiy-texnik yo‘nalishlardan biri hisoblanadi.

Yuqorida ta’kidlangan xalkogenidli shishasimon plyonkalarning imkoniyatlari harbiy texnika uchun juda ham ahamiyatlidir. Shu xususiyatlar ularni maxsus elektron qurilmalarda axborotni uzoq muddat saqlash, sensorlardan keladigan ma’lumotlarni qayd etish va avtonom elektron tizimlar uchun istiqbolli materiallar qatoriga kiritadi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Акаев А.А., Гуревич С.Б., Жумалиев К.М. Голографические системы хранения и выборки информации. – Бишкек: Илим; СПб., 2000. – 408 с.

2. Adam J.-L., Zhang X. (eds.) Chalcogenide Glasses: Preparation, Properties and Applications. — Woodhead Publishing, 2014.

3.З.Т. Азаматов, Ш.Б. Утамурадова, Н.Н. Базарбоев, Т.З. Азаматов, М.Р. Бекчанова, А.Б. Бахромов. Голографические свойства халькогенидных стеклообразных полупроводниковых плёнок // Прикладная физика. – 2022. – №2. – С. 39–45.

МНОГОБАРЬЕРНАЯ ФОТОДИОДНАЯ СТРУКТУРА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ СЛАБЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Ф.А. Гиясова [1], A.A. Abduvaxobov[1], М.А. Йулдошев[2,*], Ф.А. Гиясов[1], A.D. Matveyenko[1]
[1]*Ташкентский Международный Университет Кимё, Узбекистан*
[2]*Международный университет Туран, Наманган, Узбекистан*
*murod.yuldoshev1993@gmail.com

Разработка малошумящих высокочувствительных фотоприёмников с внутренним усилением является актуальной задачей современной полупроводниковой оптоэлектроники. Традиционные лавинные фотодиоды обеспечивают высокую чувствительность, однако требуют стабилизации рабочего режима и сопровождаются ростом шумовых токов в лавинном режиме [1]. Биполярные фототранзисторы также имеют ограничения, связанные с токами утечки, накоплением заряда в базе и противоречием между коэффициентом усиления и фоточувствительностью [2,3].

Перспективным направлением является применение многобарьерных фотодиодных структур, обеспечивающих регулирование потоков неравновесных носителей, внутреннее усиление фототока и расширение спектрального диапазона фоточувствительности [4]. Особый интерес представляют гетероструктуры на основе соединений A^2B^6, включая CdS и CdTe, обладающие высокой эффективностью поглощения оптического излучения [5]. Использование кремния в таких структурах позволяет сочетать технологическую освоенность материала с возможностью формирования дополнительных потенциальных барьеров, снижающих ёмкость и повышающих быстродействие фотоприёмника [6].

В связи с этим в настоящей работе исследованы оптико-электрических характеристик многобарьерной тонкоплёночной Au-nCdS-nSi-pCdTe-Au фотодиодной структуры и оценка её

способности к внутреннему фотоэлектрическому усилению при регистрации оптического излучения.

Оптический сигнал на фотодиодную структуру Au-nCdS-nSi-pCdTe-Au подавался от лазерного источника, модулированного синусоидальными импульсами с частотой 200 Гц. Оптико-электрические характеристики системы «излучатель–приёмник» представлены на рисунке 1. При напряжении 50 В темновой ток, обусловленный запирающим металл–полупроводник переходом, составил 59.2 нА [7].

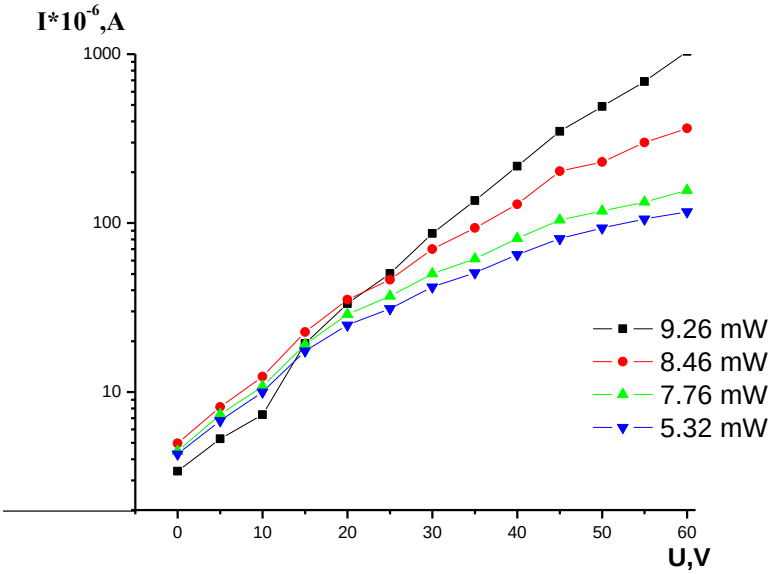


Рис. 1. Выходные характеристики многобарьерной фотодиодной Au-nCdS-nSi-pCdTe-Au структуры

При лазерном облучении с увеличением интенсивности формируется семейство выходных характеристик (рис. 1). Установлено увеличение светового тока с ростом рабочего напряжения при практически неизменном темновом токе, что обеспечивает повышение выходного сигнала. Токовая фоточувствительность при заданной интенсивности излучения определяется отношением фототока к мощности оптического сигнала:

$$S_{U=V}^{photo} = \frac{I_{output}^{photo}}{P_n}, \qquad (1)$$

Как следует из рис. 1, токовая фоточувствительность возрастает с увеличением рабочего напряжения, что приводит к усилению выходного сигнала относительно первичного фототока. За входной сигнал принимается первичный фототок, формируемый при напряжении, соответствующем контактной разности потенциалов освещаемого перехода, до возникновения внутреннего усиления. Усиление обусловлено изменением биполярной дрейфовой подвижности носителей при воздействии маломощного примесного излучения. Входная токовая фоточувствительность определяется отношением фототока к мощности падающего оптического сигнала:

$$S_{input}^{photo} = \frac{I_{input}^{photo}}{P_n}, \qquad (2)$$

и имеет определённое значение для каждой интенсивности лазерного излучения.

Проводимость базы определяется инжекцией носителей из контактов, а усиление фототока - модуляцией их подвижности под действием примесного освещения. На сублинейном участке ВАХ

(рис. 1) усиление первичного фототока связано с повышением скорости биполярного дрейфа неравновесных носителей. Для схемы включения фотодиода коэффициент фотоэлектрического усиления определяется отношением выходной и входной токовой фоточувствительности:

$$M_I = \frac{S^{photo}_{U=V}}{S^{photo}_{input}}, \qquad (3)$$

Экспериментально полученные расчетные данные коэффициента усиления по току на основе кривых, представленных на рисунке 2.

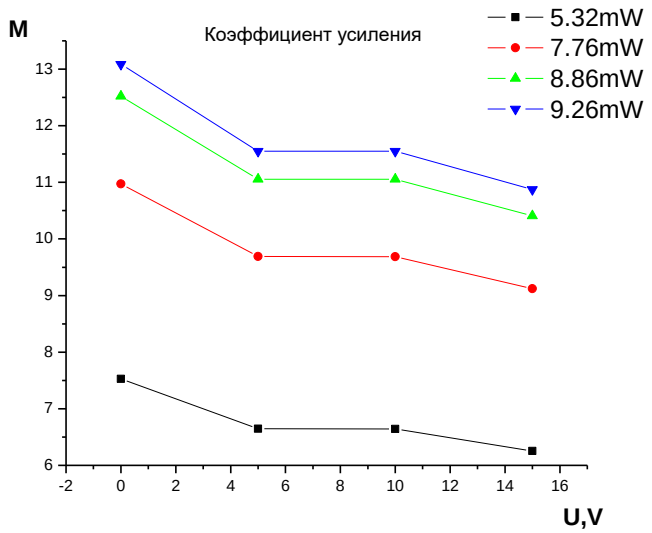


Рис. 2. Зависимости коэффициента усиления по току от рабочего напряжения при различных мощностях светового сигнала

Как видно из рис. 2, коэффициент токового усиления снижается с увеличением рабочего напряжения, тогда как повышение интенсивности оптического сигнала приводит к его росту. Полученные результаты подтверждают возможность применения структуры Au-nCdS-nSi-pCdTe-Au для регистрации слабых оптических сигналов. Выходное напряжение, определяемое произведением фоточувствительности и сопротивления нагрузки, возрастает с увеличением выходного динамического сопротивления.

$$S^{photo}_{output} = \frac{I^{photo}_{input}}{P_n} R_{eq}, \qquad (4)$$

где, $R_{экв.н}$ – эквивалентная нагрузка,

$$R_{eq} = \frac{R_{din} R_{load}}{R_{din} + R_{load}}, \qquad (5)$$

$$R_{din} = \frac{\partial U_{output}}{\partial I_{output}}, \qquad (6)$$

При мощности лазерного излучения 5.32 мВт фоточувствительность достигает 22 мА/Вт при 60 В, после чего при дальнейшем увеличении напряжения снижается и изменяет знак. Наблюдаемая зависимость обусловлена усилением инжекционного тока и рекомбинационными процессами на границе изотипного гетероперехода nCdS-nSi. При повышении мощности излучения смена направления фототока не наблюдается, а фоточувствительность снижается. При больших напряжениях определяющий вклад в перенос носителей вносит тыловой барьер pCdTe-Au, при этом

направления фототока и инжекционного тока совпадают. Полученные результаты указывают на наличие внутреннего фотоэлектрического усиления. При мощности лазерного излучения 9.26 мВт фоточувствительность достигает 106 мА/Вт при 60 В, что связано с перераспределением потенциала между фронтальным барьером и базовой областью, сопровождающимся дополнительной инжекцией носителей и усилением фототока.

Литература

1. Joe C. Campbell. Evolution of Low-Noise Avalanche Photodetectors. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics. Optical Detectors (2022), Vol. 28, Issue 2. DOI: 10.1109/JSTQE.2021.3092963.

2. P. Kostov, W. Gaberl, H. Zimmermann. High-speed bipolar phototransistors in a 180 nm CMOS process. Optics & Laser Technology (2013), Vol. 46, pp. 6-13. 10.1016/j.optlastec.2012.04.011.

3. G. Batignani, C. Angelini, M.G. Bisogni et al. A study for the detection of ionizing particles with phototransistors on thick high-resistivity silicon substrates. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment (2004), Volume 530, Issues 1–2, Pages: 98-104. 10.1016/j.nima.2004.05.055.

4. Abdulaziz V. Karimov, D. Yodgorova. Some features of photocurrent generation in single- and multibarrier photodiode structures. Semiconductors 44(5):647-652. DOI:10.1134/S1063782610050179.

5. Elia Scattolo, Alessandro Cian, Luisa Petti, Paolo Lugli, Damiano Giubertoni,Giovanni Paternoster. Near Infrared Efficiency Enhancement of Silicon Photodiodes by Integration of Metal Nanostructures Supporting Surface Plasmon Polaritrons // Sensors (Basel), 2023 Jan 11,23 (2). DOI:10.3390/s23020856

6. Абдулхаев О.А., Асанова Г.О., Ёдгорова Д.М., Якубов Э.Н., Каримов А.В. Исследование влияния потенциальных барьеров на механизмы токопереноса во встречновключенных двухбарьерных кремниевых структурах // ФІП ФИП PSE. 2011, Т. 9, № 3, -С. 262-268.

7. Sh.B. Utamuradova, F.A. Giyasova, K.N. Bakhronov, M.A. Yuldoshev, M.R. Bekchanova, B. Ismatov. Current Transfer Mechanism in a Thin-Based Heterosystem Based on A2B6 Compounds. East European Journal of Physics (2025), 3, 325-335. https://doi.org/10.26565/2312-4334-2025-3-31.

SPARK PLASMA SINTERING USULIDA OLINGAN $TISI_2$ QOTISHMASINING MIKROSTRUKTURAVIY XUSUSIYATLARINI SEM VA EDS USULLARI YORDAMIDA TADQIQ ETISH

I.R. Bekpulatov[1], A.M. Normamatov[1], B.D. Igamov[2], A.M. Normamatov[3].

[1]*Qarshi Davlat Universiteti 180119, Qarshi, O'zbekiston. Email: normamatovsattor522@gmal.com*

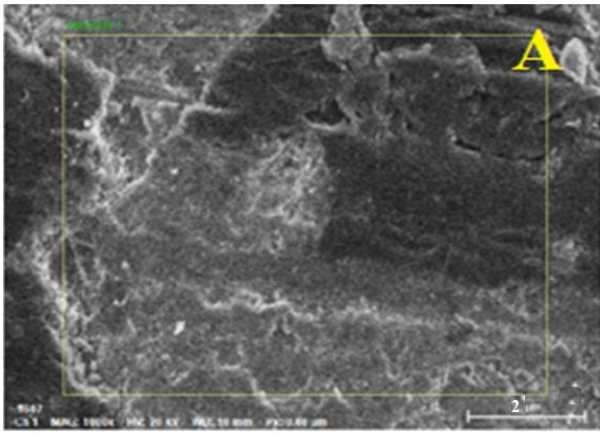
[2] *O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasining konstruktorlik byurosi va tajriba-ishlab chiqarish korxonasiga ega Ilmiy-texnik markazi.*

[3] *Termiz Davlat Universiteti magistranti. 190111, Termiz, O'zbekiston.*

$TiSi_2$ kabi yangi murakkab materiallar yuqori issiqlik barqarorligi, samarali elektr o'tkazuvchanligi, bitta elektron tunnel xususiyatlari va yaqin ultrabinafsha (taxminan 3,4–1,5 eV) kabi keng spektral diapazonda yorug'likni yutish qobiliyati tufayli ilmiy jamoatchilik e'tiborini tortdi [1,2]. Ritterskamp va boshqalar birinchi bo'lib $TiSi_2$ ni fotokatalitik suvni ajratish uchun katalitik material sifatida qo'lladilar [3]. Keyingi tadqiqotlarda $TiSi_2$ asosidagi yangi birikmalar va kompozit materiallar, jumladan, $TiSi_2$–SiC [5], Ti_5Si_3 [4] va $TiO_2/TiSi_2$ [6] muvaffaqiyatli sintez qilindi. Bundan tashqari, tadqiqot guruhi $RuO_2/TiSi_2$/RGO gibrid tizimlari va $WS_2/TiSi_2$ kompozitini ishlab chiqdi [7,8]. Ushbu ilg'or materiallar yaxshilangan fotoelektrokimyoviy xususiyatlar va yuqori fotokatalitik samaradorlikni namoyish etadi.

$TiSi_2$ ning bir nechta kristalli fazalari o'tga chidamli metall silitsid tizimlarida mavjud bo'lib, 950°C va 1150°C da hosil bo'lgan fazalar eng ko'p o'rganilgan. Ayrim hollarda fazalari 950°dan past haroratlarda hosil bo'ladi, yuqori haroratli issiqlik bilan ishlov berish esa 1150°C fazaga o'tishini kuchaytiradi, natijada past elektr qarshiligi va yaxshilangan mikrostrukturaviy xususiyatlarga ega bo'ladi. So'nggi tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, past kontakt qarshiligi $Ti(Si_x)$ ning asosiy xususiyatlaridan biri bo'lib, bu materialning zamonaviy tranzistorlarda kontakt metall sifatida keng qo'llanilishiga olib keladi [9–11].

Turli sintez va sinterlash usullari $TiSi_2$ ning fazaviy tuzilishi va mikrostrukturaviy xususiyatlariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. An'anaviy kimyoviy cho'ktirish usullari bilan bir qatorda, zamonaviy sinterlash texnologiyalari, xususan, Spark Plazma Sinterlash (SPS), impulsli tok va bosim yordamida bir xil fazali tarkibga ega yuqori zichlikdagi materialni tez ishlab chiqarish imkonini beradi. Bu 1150°C da hosil bo'lgan bir fazali $TiSi_2$ tuzilishining yuqori sofligi va bir xilligini ta'minlaydi, garchi ba'zi hollarda tasdiqlash uchun qo'shimcha eksperimental yondashuvlar talab etiladi. Shu sababli, $TiSi_2$ ning mikrostrukturaviy, fazaviy va elektr xususiyatlarini chuqur o'rganish materialshunoslik va nanoelektronika sohalarida katta ilmiy ahamiyatga ega. Ushbu tadqiqotda $TiSi_2$ ning strukturaviy va funktsional xususiyatlarini batafsil tahlil qilish uchun SPS yordamida keng qamrovli mikrostrukturaviy (SEM, AFM) tadqiqotlari o'tkazildi. Ushbu tadqiqotning maqsadi Spark Plasma Sintering (SPS) yordamida yuqori zichlikdagi, fazali sof $TiSi_2$ qotishmasini sintez qilindi. $TiSi_2$ qotishmasi yuqori tozalikdagi Ti (≥99,9%) va Si (≥99,99%) kukunlaridan 46,1 og'irlik% Ti va 53,9 og'irlik% Si stexiometrik nisbatida tayyorlangan. Kukunlar yuqori energiyali shar tegirmonida inert argon atmosferasida 6 soat davomida shar-kukun nisbati 10:1 da mexanik ravishda faollashtirildi, bu esa oksidlanish va tashqi ifloslanishni minimallashtirdi. Tayyorlangan aralashma ichki diametri 76 mm bo'lgan grafit qolipga joylashtirildi va 950°C va 1150°C haroratlarda SPS jarayoniga tortildi. Jarayon ~10^{-2}Pa vakuumda, 40 MPa unipolyar statik bosim, 100°C/min isitish tezligi va maksimal haroratda 7 daqiqa ushlab turish vaqti bilan amalga oshirildi. Ushbu tadqiqotda uchqun plazmasi sinterlash (SPS) orqali ikki xil haroratda sinterlangan $TiSi_2$ qotishmasining mikrostrukturaviy va kimyoviy xususiyatlari skanerlash elektron mikroskopiyasi (SEM, JEOL JSM-IT210) va energiya dispersiyasi spektroskopiyasi (EDS) yordamida o'rganildi. SEM natijalari shuni ko'rsatdiki, SPS jarayoni $TiSi_2$ namunalarining yuqori darajada zichlashishini va kuchli, o'zaro bog'liq kritalitlarning hosil bo'lishini ta'minlaydi.



1a-rasm. 950°C da sinterlangan $TiSi_2$ qotishmasining SEM tasviri.

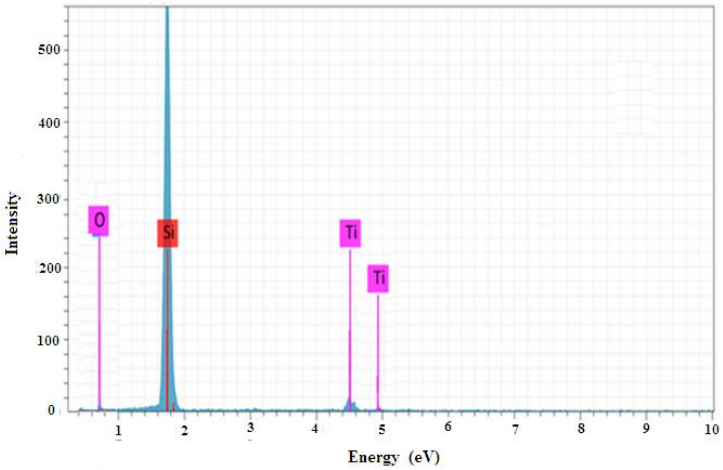
1b-rasm. 1150°C da sinterlangan $TiSi_2$ qotishmasining SEM tasviri.

950°C da sinterlangan namuna uchun SEM tasvirlari noaniq morfologiyaga, noaniq chegaralarga va sezilarli mikrog'ovaklilikka ega mayda kritalitlarni (0,1–0,5 µm) aniqladi (1a-rasm). Bu natija past

haroratlarda atomlarning cheklangan diffuziyasi bilan izohlanadi va $TiSi_2$ metastabil fazada sinterlashning dastlabki bosqichida ekanligini ko'rsatadi.

1150°C da sinterlangan namunada 0,5–2 μm o'lchamdagi aniq belgilangan, ko'pburchak va yirik kritalitchalar ko'rindi, ularda deyarli kritalitlararo g'ovaklik yo'q edi (1b-rasm). Sirtning bir xilligi va yuqori nisbiy zichligi materialning samarali qayta kristallanish jarayoni va fazaviy barqarorligini tasdiqlaydi.

EDS tahlili bizga $TiSi_2$ qotishmasining elementar tarkibini aniqlash va uning fazaviy sofligini baholash imkonini berdi. Olingan spektrlarda titanga xos bo'lgan cho'qqilar aniq ko'rsatilgan: Ti–Kα (~4.51 keV) va Ti–Kβ (~4.93 keV), shuningdek, kremniyga xos bo'lgan yuqori intensivlikdagi cho'qqilar: Si–Kα (~1.74 keV). Ushbu spektral signallar $TiSi_2$ birikmasida Ti va Si ning ustunligini tasdiqlaydi. Shuning uchun miqdoriy EDS tahlili Ti:Si atom nisbati ≈ 1:2 ni aniqladi, bu sinterlangan namunalardagi $TiSi_2$ fazasining stexiometrik tarkibiga mos keladi (2-rasm).



2-rasm. $TiSi_2$ qotishmasining EDS tahlili.

950°C → 1150°C oralig'idagi fazaviy o'tish kristalit hajmining oshishi, birlashishi va mikrog'ovaklikning sezilarli darajada pasayishi bilan birga keladi. SPS jarayonida impulsli elektr toki va mahalliy ko'tarilgan harorat sirt energiyasini minimallashtiradi, kristalitlararo diffuziyani kuchaytiradi va zich, yuqori darajada qayta kristallangan mikrotuzilmani hosil qiladi.

Xulosa. SEM tahlili shuni ko'rsatdiki, 950°C da sinterlangan $TiSi_2$ aniq belgilangan chegaralarga ega mayda, tartibsiz va mikrog'ovakli kritalitchalar bilan tavsiflanadi. 1150°C da sinterlangan namunada deyarli g'ovakliksiz katta, zich va bir xil kritalitchalar hosil bo'ladi. EDS ma'lumotlariga mos keladigan SEM natijalari yuqori strukturaviy va kimyoviy bir xillikni tasdiqlaydi.

Shunday qilib, SPS texnologiyasi $TiSi_2$ ning mikrotuzilmasi va sirt xususiyatlarini samarali boshqarish imkonini beradi. 1150°C harorat sinterlash uchun optimal deb topildi, bu esa past sirt g‘adir-budurligi, yuqori zichlik va $TiSi_2$ materialining barqaror fazaviy holatini ta'minlaydi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Banerjee, S.; Mohapatra, S.K.; Misra, M. Water Photooxidation by TiSi2–TiO2 Nanotubes. *J. Phys. Chem. C* 2011, *115*, 12643–12649.

2. Pelleg, J.; Sade, G. TiB2/TiSi2 bilayer fabrication by various techniques: Structure and contact properties. *Phys. B Condens. Matter* 2006, *371*, 20–34.

3. Ritterskamp, P.; Kuklya, A.; Stkamp, M.-A.; Kerpen, K.; Weidenthaler, C.; Demuth, M. A Titanium Disilicide Derived Semiconducting Catalyst for Water Splitting under Solar Radiation—Reversible Storage of Oxygen and Hydrogen. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2007, *46*, 7770–7774.

4. Liu, J.; Bai, Y.; Chen, P.; Cui, N.; Yin, H. Reaction synthesis of TiSi2 and Ti5Si3 by ball-milling and shock loading and their photocatalytic activities. *J. Alloys Compd.* 2013, *555*, 375–380.

5. Shon, I.-J.; Park, H.-K.; Kim, H.-C.; Yoon, J.-K.; Hong, K.-T.; Ko, I.-Y. One-step synthesis and densification of nanostructured TiSi2–SiC composite from mechanically activated (TiC + 3Si) powders by high-frequency-induced heated combustion. *Scr. Mater.* 2007, *56*, 665–668.

6. Lin, Y.; Zhou, S.; Liu, X.; Sheehan, S.; Wang, D. TiO2/TiSi2 Heterostructures for High-Efficiency Photoelectrochemical H2O Splitting. *J. Am. Chem. Soc.* 2009, *131*, 2772–2773.

7. Chu, D.; Zhang, C.; Yang, P.; Du, Y.; Lu, C. WS2 as an Effective Noble-Metal Free Cocatalyst Modified TiSi2 for Enhanced Photocatalytic Hydrogen Evolution under Visible Light Irradiation. *Catalysts* 2016, *6*, 136.

8. Mou, Z.; Yin, S.; Zhu, M.; Du, Y.; Wang, X.; Yang, P.; Zheng, J.; Lu, C. RuO2/TiSi2/graphene composite for enhanced photocatalytic hydrogen generation under visible light irradiation. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2013,*15*, 2793–2799.

9.H. Yu, M. Schaekers, Titanium Silicide on Si:P With Precontact Amorphization Implantation Treatment: Contact Resistivity, IEEE Trans. Electron Devices. 63 (2016) 4632– 4641. doi:10.1109/TED.2016.2616587.

10. B.D. Igamov [a], I.R. Bekpulatov [b], A.M. Normamatov [b],Gunel Imanova, A.I. Kamardin[a].| Correlation between thickness-dependent morphology, phase structure, and vibrational properties of TiO_2 thin fims deposited via DC magnetron sputtering: A multi-technique characterization approach\\Next Materials 9 (2025) 101354. https://doi.org/10.1016/j.nxmate.2025.101354

11. B.D. Igamov [a], I.R. Bekpulatov [b], A.I. Kamardin [a], J.T. Abdurahimov [b], A.M. Normamatov [b], F.Sh Kodirova [c], Gunel Imanova.|Investigation of the formation mechanisms, crystallographic evolution and microstructural characteristics of the $ZrSi_2$ phase on the Si(111) surface\\Next Materials 9 (2025) 101331. https://doi.org/10.1016/j.nxmate.2025.101331

KREMNIY SIRTINING MORFOLOGIK TUZILISHI BILAN ELEKTR XOSSALARINING O‘ZARO BOG‘LIQLIGI

Raximov O. Toshtemirova G.
Sharaf Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti
gulandontoshtemirova7@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur ishda Si/Ni-P-S-La namunasining sirt morfologiyasi va elektr xossalari o‘rganildi. Sirt tuzilishi SEM va AKM, elektr qarshiligi esa to‘rt zondli usul yordamida tahlil qilindi. Olingan natijalar KEF-60 kremniy namunasi bilan qiyoslandi. Natijalar Si/Ni-P-S-La namunasining o‘ziga xos sirt tuzilishi va elektr parametrlari o‘rtasida bog‘liqlik mavjudligini ko‘rsatdi.

Kalit so‘zlar: kremniy, Si/Ni-P-S-La, sirt morfologiyasi, sirt relyefi, elektr qarshilik, elektr o‘tkazuvchanlik, SEM, AKM, to‘rt zondli usul.

KIRISH

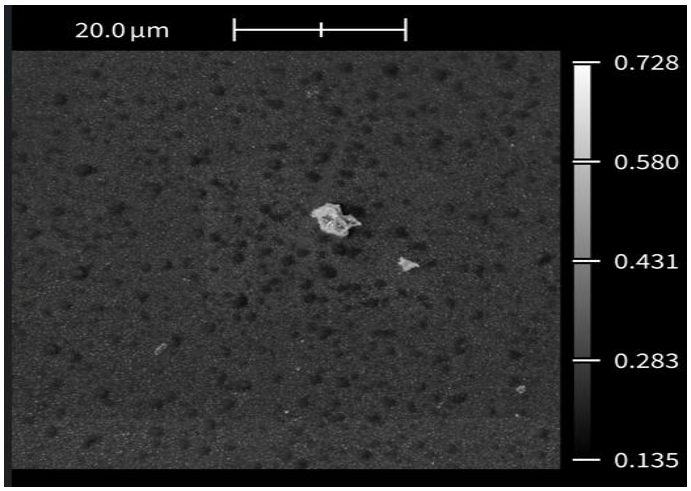
Kremniy zamonaviy yarimo‘tkazgich texnologiyalarida keng qo‘llaniladigan material bo‘lib, uning elektr xususiyatlari sirtining morfologik tuzilishiga ham bog‘liq. Sirtida shakllangan mikro va nanoo‘lchamli relyef elementlari materialning elektr parametrlariga ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Shu sababli kremniy sirtining morfologiyasi va elektr xossalarini birgalikda o‘rganish muhim ilmiy ahamiyatga ega. Sirt tuzilishini tahlil qilishda SEM va AKM usullaridan, elektr qarshilikni aniqlashda esa to‘rt zondli usuldan foydalaniladi. Mazkur tadqiqotda Si/Ni-P-S-La namunasining morfologik xususiyatlari SEM va AKM yordamida o‘rganildi hamda elektr qarshiligi aniqlandi. Olingan natijalar alohida taqqoslash namunasi

sifatida olingan KEF-60 kremniyining elektr ko‘rsatkichlari bilan solishtirildi. Tadqiqotning asosiy maqsadi sirt morfologiyasi va elektr parametrlari o‘rtasidagi bog‘liqlikni eksperimental natijalar asosida tahlil qilishdan iborat[1].

TADQIQOT MATERIALLARI VA USULLARI

Tadqiqot obyekti sifatida Si/Ni-P-S-La namunasi, taqqoslash uchun esa fosfor bilan legirlangan KEF-60 kremniy namunasi tanlandi. Ushbu namunalar alohida tadqiqot obyektlari sifatida qaraldi. Namunalarning sirt morfologiyasi skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM) yordamida o‘rganilib, sirtning umumiy tuzilishi va relyef xususiyatlari tahlil qilindi. Uch o‘lchamli sirt topografiyasini baholashda atom-kuch mikroskopiyasi (AKM) usulidan foydalanildi. Elektr parametrlarini aniqlash to‘rt zondli usul asosida amalga oshirildi. Bunda tashqi zondlar orqali tok uzatilib, ichki zondlar yordamida kuchlanish tushuvi o‘lchandi. Olingan natijalar asosida namunalarning solishtirma elektr qarshiliklari aniqlanib, qiyosiy tahlil qilindi.

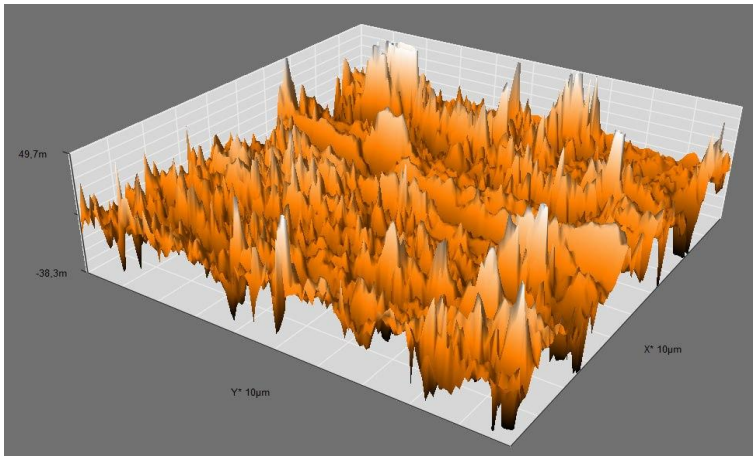
Natijalar va uning muhokamasiga ko’ra, kremniy sirtining morfologik xususiyatlarini SEM tadqiqotlari Si/Ni-P-S-La namunasining sirtida tekis kremniy sirtiga nisbatan murakkabroq morfologik tuzilish mavjudligini ko‘rsatdi. Sirtning bunday o‘zgarishi uning geometrik jihatdan rivojlanganligini va sirt yuzasida turli relyef elementlari shakllanganligini ko‘rsatadi[2].



1-rasm. Ikkilamchi elektronlar rejimida 20 μm shkalada elektron mikroskopda olingan **Si/Ni-P-S-La** namunalarining **sirt morfologiyasi**

SEM tasvirini tahlil qilishda sirtning umumiy morfologiyasi, hosil bo‘lgan relyef elementlarining o‘lchamlari va ularning sirt bo‘ylab taqsimlanishiga e’tibor beriladi. Bunday morfologik o‘zgarishlar sirtning fizik-kimyoviy faol maydonini o‘zgartirishi mumkin.

AKM yordamida olingan uch o‘lchamli tasvir esa sirt topografiyasining fazoviy xususiyatlarini yanada aniqroq ifodalaydi. AKM tasviridagi balandlik va chuqurliklarning mavjudligi sirtning ideal tekislikdan farq qilishini ko‘rsatadi[3 − 4].



2-rasm. CoRE AKM atom kuch mikroskopda olingan **Si/Ni-P-S-La** namunalarining sirt topografiyasi nanoo‘lchamli 3D tasviri**.**

Elektr xossalarini tadqiq qilish natijalariga ko’ra, to‘rt zond yordamida solishtirma qarshilikni o‘lchash formulasi quyidagicha:

$$\rho = 2\pi\, S\, \frac{U}{I}$$

bu yerda: ρ — materialning solishtirma elektr qarshiligi, S — qo‘shni zondlar orasidagi masofa, U — ichki zondlar orqali o‘lchanadigan kuchlanishlar farqi, I esa tashqi zondlar orqali uzatilayotgan tok kuchini ifodalaydi. Mazkur bog‘lanishdan foydalanib, KEF–60 kremniy namunasi hamda Si⟨Ni–P–S–La⟩ ko‘p komponentli tuzilmasining solishtirma qarshilik qiymatlari to‘rt zondli o‘lchash usuli asosida aniqlandi. O‘tkazilgan tajribalar natijasida olingan qiymatlar jadvalda keltirilgan bo‘lib, ular namunalarning elektr o‘tkazuvchanlik xususiyatlarini qiyosiy baholash imkonini beradi. Si/Ni-P-S-La va KEF-60 namunalarining to‘rt zondli usul yordamida aniqlangan solishtirma elektr qarshilik qiymatlari quyidagi jadvalda keltirilgan.

Namuna turi	$\rho, (\Omega \cdot sm)$		
KEF 60	63.2	64.6	67.3
Si<Ni-P-S-La>	1.43	1.46	1.63

Jadvaldan ko‘rinadiki, Si/Ni-P-S-La namunasida o‘lchangan solishtirma qarshilik qiymatlari 1,43–1,63 Ω·sm oralig‘ida joylashgan. KEF-60 namunasida esa bu qiymatlar 63–73.2 Ω·sm ni tashkil etgan.

Olingan natijalarni SEM, AKM va elektr o‘lchash ma’lumotlari bilan birgalikda tahlil qilish kremniy sirtining morfologik holati uning elektr xossalarini tushuntirishda muhim parametr ekanligini ko‘rsatadi. Si/Ni-P-S-La namunasida kuzatilgan murakkabroq sirt relyefi sirtning geometrik va fizik holatini o‘zgartiradi. Sirtning modifikatsiyalanishi natijasida sirt atomlarining bog‘lanish holatlari, nuqsonlar va elektron holatlar taqsimoti o‘zgarishi mumkin. Natijada sirt yaqinida zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi va harakatlanish sharoitlari o‘zgaradi. Yarimo‘tkazgich sirtidagi lokal elektron holatlar zaryad tashuvchilarni tutib qolishi yoki ularning energetik holatini o‘zgartirishi mumkin[8].

Shu nuqtai nazardan, Si/Ni-P-S-La namunasida kuzatilgan pastroq solishtirma qarshilikni faqat sirtning geometrik notekisligi bilan izohlash yetarli emas. Bunda sirt morfologiyasi bilan bir qatorda, namuna tarkibidagi elementlarning elektron tuzilishga ta’siri, legirlash darajasi, sirt nuqsonlari va zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi ham hisobga olinishi kerak.

XULOSA

O‘tkazilgan tadqiqot davomida Si/Ni-P-S-La namunasining sirt morfologik xususiyatlari hamda elektr parametrlari eksperimental jihatdan o‘rganildi. SEM va AKM tasvirlari namuna sirtining murakkab relyefga

hamda uch o‘lchamli topografik tuzilishga ega ekanligini ko‘rsatdi. Olingan tasvirlar namuna sirtining morfologik holatini baholash va topografik xususiyatlarini tahlil qilish imkonini berdi.

To‘rt zondli usul yordamida aniqlangan solishtirma elektr qarshilik Si/Ni-P-S-La namunasida 1,43–1,63 Ω·sm, alohida taqqoslash namunasi sifatida olingan KEF-60 kremniyida esa 63–73,2 Ω·sm oralig‘ida bo‘ldi. Olingan natijalar mazkur ikki namunaning solishtirma elektr qarshilik qiymatlari o‘rtasida sezilarli farq mavjudligini ko‘rsatadi.

SEM, AKM va to‘rt zondli usul yordamida olingan natijalarni birgalikda tahlil qilish Si/Ni-P-S-La namunasining sirt morfologik xususiyatlari va elektr parametrlarini qiyosiy o‘rganish imkonini berdi. Shu bilan birga, kuzatilgan elektr qarshilik farqini faqat sirt morfologiyasi bilan izohlash mumkin emas. Namunalarning kimyoviy tarkibi, legirlovchi elementlari hamda kristall tuzilishiga oid xususiyatlar ham elektr parametrlariga ta’sir etuvchi omillar bo‘lishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR.

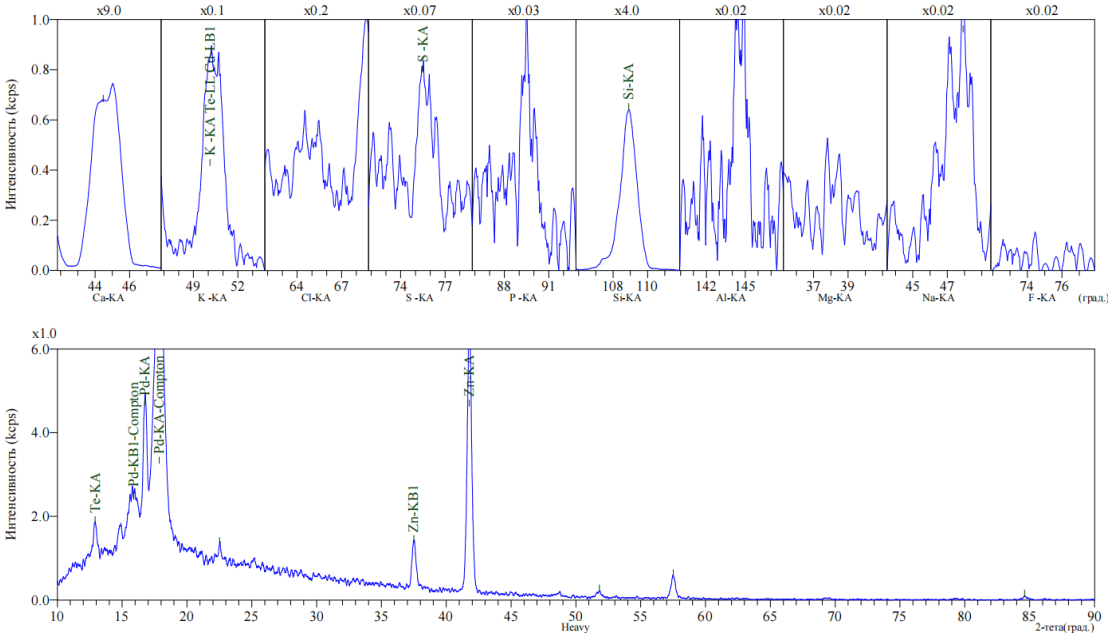
1. Sze S. M., Ng K. K. Physics of Semiconductor Devices. – 3rd ed. – New Jersey: John Wiley & Sons, 2007. – 815 p.
2. Neamen D. A. Semiconductor Physics and Devices. – New York: McGraw-Hill, 2012.
3. Goldstein J. I., Newbury D. E., Michael J. R., Ritchie N. W. M., Scott J. H. J., Joy D. C. Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis. – 4th ed. – New York: Springer, 2018. – 550 p.
4. Eaton P., West P. Atomic Force Microscopy. – Oxford: Oxford University Press, 2010**.**
5. Raximov O. Toshtemirova G. Kremniy kristali sirtining atomar dinamikasi va 3D nanotuzilmalar shakllanishining nazariy prinsiplari asoslari. Qarshi davlat universiteti. “Amaliy matematika, raqamli transformatsiya va sun’iy zamonaviy muammolar va istiqbollar.” Xalqaro ilmiy-amaliy anjuman tezislar to’plami. 2026. 90-93betlar. Qarshi shahri.

ZnTe NANO-YUPQA PLYONKALARINI OLISH VA ULARNING FIZIK XOSSALARINI TADQIQ QILISH

Qarshi davlat universiteti tayanch doktoranti
Tuychiyev N.B. tuychiyevnurbek47gmail.com

ZnTe (rux telluridi) AII BVI guruhiga mansub yarimo‘tkazgich material bo‘lib, optoelektronika, fotovoltaika va yupqa plyonkali elektron qurilmalarda qo‘llanish imkoniyatlari bilan ajralib turadi. Uning fizik xossalari plyonka olish usuli, substrat harorati, qalinligi va purkash parametrlariga sezilarli darajada bog‘liq. Adabiyotlarda RF purkash orqali olingan ZnTe plyonkalarining strukturaviy, optik va elektr xossalari ushbu parametrlar bilan o‘zgarishi ko‘rsatilgan. Mazkur ishda Si taglikda RF magnetron changlatish usuli yordamida olingan ZnTe yupqa plyonkaning element tarkibi va sirt morfologiyasi tadqiq qilindi.

ZnTe yupqa plyonkasi Si taglik yuzasida RF magnetron changlatish usuli yordamida hosil qilindi. Plyonkaning sirt morfologiyasi skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM), element tarkibi esa to‘lqin uzunligi bo‘yicha dispersiv rentgen-fluoresans tahlili (WDXRF) yordamida o‘rganildi. RF magnetron changlatish jarayonida argon ionlari ZnTe nishonini bombardimon qilib, undan Zn va Te zarrachalarining ajralib chiqishini ta’minlaydi. Ajralgan zarrachalarning bir qismi ionlashib, plazma muhitida substrat tomon harakatlanadi va uning yuzasida kondensatsiyalanib yupqa qatlam hosil qiladi.



1-rasm
Dispersiv rentgen-fluoresans tahlili (WDXRF)

WDXRF natijalariga ko‘ra, olingan plyonka tarkibida Te — 65,2 massa %, Zn — 24,1 massa % va Si — 4,73 massa % miqdorda aniqlangan. Zn/Te atom nisbatining taxminan 0,72 ga tengligi plyonkaning telluriyga boy va ruxga nisbatan kambag‘al tarkibga ega ekanligini ko‘rsatadi. Bunday holat RF plazmasidagi ruxning nisbatan yuqori uchuvchanligi va uning substratga yetib borishdan oldin yoki cho‘ktirish jarayonida qayta bug‘lanishi bilan izohlanishi mumkin. Shuningdek, Si signalining mavjudligi substrat hissasining tahlil natijasiga ta’sir qilganini ko‘rsatadi.

Modda	**mass a.%**
Te	65.2
Zn	24.1
Si	4.73

Plyonkaning massaviy sirt zichligi 0,186 mg/sm² va ZnTe zichligi 6,34 g/sm³ deb olinsa, fizik qalinlik taxminan 293 nm ni tashkil qiladi. Ushbu qiymat ZnTe uchun nano-o‘lchamli qalinlikdagi yupqa plyonka olinganligini ko‘rsatadi. Adabiyotlarda RF changlatish sharoitlarining, xususan, plyonka qalinligi va substrat haroratining ZnTe plyonkalarining morfologik, optik va elektr xossalariga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi qayd etilgan [1-rasm].

SEM tasvirlarida plyonka sirtining nisbatan bir jinsli morfologiyaga ega ekanligi kuzatiladi. Sirt morfologiyasining shakllanishi purkash tezligi, plazma parametrlari, substrat holati va plyonkaning o‘sish davomiyligi bilan bog‘liq. Ilgari olib borilgan tadqiqotlarda ZnTe plyonkalari qalinligining o‘zgarishi sirt relyefi, optik parametrlar va boshqa fizik xossalarning o‘zgarishiga olib kelishi ko‘rsatilgan.

Si taglik yuzasida RF magnetron changlatish usuli yordamida ZnTe yupqa plyonka hosil qilindi. WDXRF tahlili plyonkaning Te-ga boy tarkibga ega ekanligini ko‘rsatdi; Zn/Te atom nisbati ≈0,72 ni tashkil etdi. Hisoblash natijasida plyonkaning fizik qalinligi taxminan 293 nm deb baholandi. SEM tahlili sirtning nisbatan bir jinsli ekanligini ko‘rsatdi. Olingan natijalar ZnTe yupqa plyonkalarining tarkibi va

morfologiyasini RF magnetron changlatish parametrlarini boshqarish orqali optimallashtirish mumkinligini ko‘rsatadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Manica D., Antohe V.-A., Moldovan A., Pascu R., Iftimie S., Ion L., Suchea M.P., Antohe S. Thickness Effect on Some Physical Properties of RF Sputtered ZnTe Thin Films for Potential Photovoltaic Applications. Nanomaterials, 2021, 11, 2286. DOI: 10.3390/nano11092286.

2. B. Rajesh Kumar, B. Hymavathi, T. Subba Rao. Investigations on physical properties of nanostructured ZnTe thin films prepared by DC reactive magnetron sputtering. Chalcogenide Letters, 2014, 11(10), 509–517.

3. Panaitescu A.-M., Antohe I., Răduță A.-M., Iftimie S., Antohe S., Mihăilescu C.N., Antohe V.-A. Morphological, optical, and electrical properties of RF-sputtered zinc telluride thin films for electronic and optoelectronic applications. AIP Advances, 2022, 12, 115013. DOI: 10.1063/5.0116999.

4. Isik M., Gullu H.H., Parlak M. Synthesis and temperature-tuned band gap characteristics of magnetron sputtered ZnTe thin films. Materials Science in Semiconductor Processing, 2019.

5. Singh D., Padha N., Hussain Z., Ahmed Z., Dolma P. Growth of nanostructured ZnTe thin films through annealing of the MSELD-prepared stack of precursors for photonic applications. Chemical Physics Impact, 2025, 10, 100837. DOI: 10.1016/j.chphi.2025.100837.

6. Younus I.A., Ezzat A.M., Uonis M.M. Preparation of ZnTe thin films using chemical bath deposition technique. Nanocomposites, 2020, 6(4), 165–172. DOI: 10.1080/20550324.2020.1865712.

7. Elmourabit F., Dlimi S., Id Ouissaaden F., Khoukh A., Amiri L. Structural and optical properties of smooth radio frequency sputtered XTe (X=Cd, Zn) thin films. 2023.

ВЛИЯНИЕ УГЛА ПАДЕНИЯ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИОНОВ Ar^+ НА СОСТАВ, СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ И ШИРИНУ ЗАПРЕЩЁННОЙ ЗОНЫ ПОВЕРХНОСТИ GaAs

Хужаниёзов Ж.Б.[1], Бекпулатов И.Р.[2], Ташатов А.К.[2], Нормуродов Д.А.[2], Турсунметова З.А.[1]
[1]Ташкентский государственный технический университет, г. Ташкент, Узбекистан;
[2]Каршинский государственный университет, г. Карши, Узбекистан
e-mail: KhujaniyozovJB@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

Арсенид галлия GaAs является перспективным полупроводниковым материалом, используемым в оптоэлектронных и электронных структурах. Существенное влияние на его физические свойства оказывает состояние поверхности и приповерхностного слоя. Одним из эффективных методов модификации поверхности полупроводников является низкоэнергетическая ионная обработка, которая может приводить к изменению элементного состава, структурного состояния и электронных свойств материала [1, 2].

При бомбардировке бинарных соединений ионами Ar^+ радиационное разупорядочение может сопровождаться изменением соотношения компонентов вследствие их различного распыления. Характер происходящих изменений определяется энергией и дозой ионов, а также углом их падения на поверхность [1, 2]. Для GaAs зависимость изменения состава и электронных свойств поверхности от угла падения низкоэнергетических Ar^+-ионов представляет особый интерес.

Целью настоящей работы является исследование влияния угла падения низкоэнергетических Ar^+-ионов с энергией E_0 = 1 кэВ на состав, структурное состояние и ширину запрещённой зоны поверхности GaAs.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследования использовались монокристаллические образцы p-GaAs(111) толщиной около 1 мм с концентрацией Zn $N_{Zn} \approx 10^{18}$ см$^{-3}$. Перед ионной обработкой поверхность образцов очищалась в условиях сверхвысокого вакуума посредством длительного и кратковременного нагрева. Остаточное давление в рабочей камере составляло около 10^{-7} Па.

Бомбардировка проводилась ионами Ar^+ с энергией E_0 = 1 кэВ при дозах D = 10^{14}÷10^{17} см$^{-2}$. Угол падения ионов φ изменялся от 0 до 80° относительно нормали к поверхности. Элементный состав исследовался методом Оже-электронной спектроскопии (ОЭС), электронная структура – методом ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии и по характеристикам прохождения света через образец. Ширина запрещённой зоны определялась по спектрам оптического поглощения в диапазоне длин волн 300÷1200 нм.

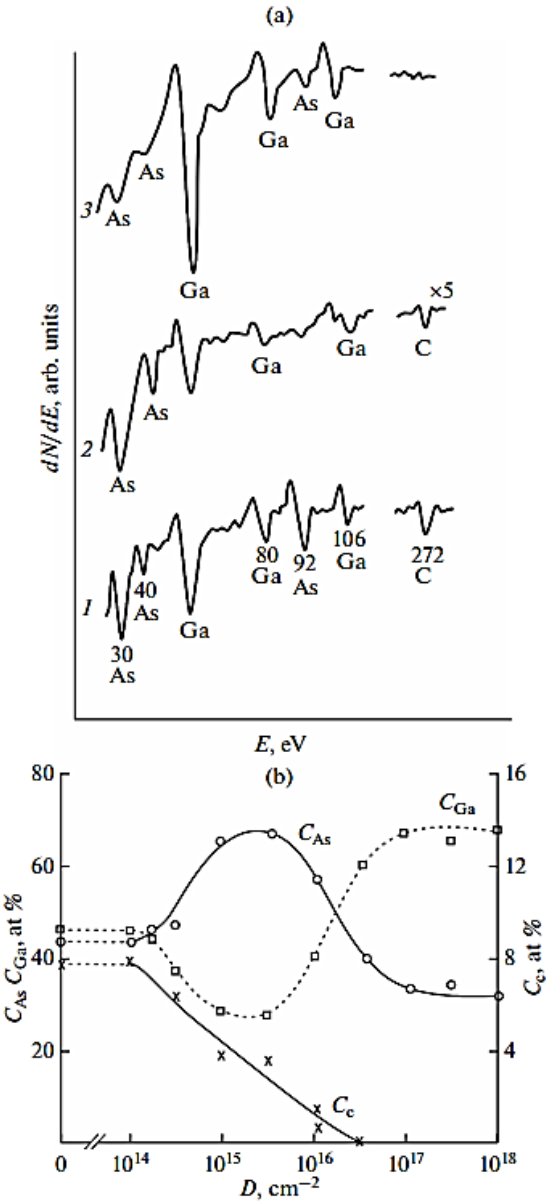


Рис. 1. (a) Оже-спектры чистого GaAs и GaAs, подвергнутого бомбардировке ионами Ar^+ с энергией E_0 = 1 кэВ при дозах: 1 - 0 (исходный GaAs), 2 - 10^{15}, 3 - 10^{17} см$^{-2}$; (b) зависимости концентраций As и Ga от дозы облучения. Угол падения ионов φ = 0°

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из основных результатов является установление существенного изменения элементного состава поверхности GaAs при воздействии Ar^+-ионов. Наиболее выраженные изменения наблюдаются при нормальном падении ионов (φ = 0°).

На рис. 1 представлены Оже-спектры исходного GaAs и образцов, подвергнутых бомбардировке Ar^+-ионами с энергией E_0 = 1 кэВ при различных дозах, а также дозовые зависимости поверхностных концентраций As и Ga [3].

Для исходного GaAs поверхностные концентрации Ga и As составляли приблизительно 46 и 45 ат. %, соответственно. После бомбардировки дозой D = 10^{15} см$^{-2}$ интенсивность оже-пиков As существенно возрастает, тогда как интенсивность пиков Ga уменьшается. При дальнейшем увеличении дозы до 10^{17} см$^{-2}$, напротив, наблюдается уменьшение концентрации As и увеличение содержания Ga [3].

Начиная с дозы около $2{\cdot}10^{14}$ см$^{-2}$, происходит заметное разложение GaAs на составляющие компоненты. В диапазоне доз от приблизительно $2{\cdot}10^{14}$ до $5{\cdot}10^{15}$ см$^{-2}$ концентрация Ga снижается до примерно 28 ат. %, тогда как относительное содержание As возрастает. При дальнейшем увеличении дозы до 10^{17} см$^{-2}$ концентрация Ga возрастает примерно до 68 ат. %, а содержание As уменьшается примерно до 32 ат. % [3].

При высоких дозах наблюдается интенсивная десорбция As с поверхности и его частичная диффузия вглубь материала. Изменение состава сохраняется на глубине около 25÷30 Å, тогда как толщина полностью разупорядоченного поверхностного слоя достигает приблизительно 80-100 Å.

Таким образом, увеличение дозы Ar^+-ионов приводит к существенной перестройке элементного

состава и структурного состояния приповерхностной области GaAs. Полученные результаты согласуются с ранее установленной возможностью изменения состава поверхностей полупроводников при низкоэнергетическом ионном воздействии [1, 2].

Следующим важным результатом является установление влияния ионной обработки на оптические свойства GaAs. На рис. 2 приведены зависимости коэффициента поглощения *K* от энергии фотонов hν для исходного GaAs и образцов, облучённых Ar^+-ионами при различных углах падения [3].

Для исходного GaAs коэффициент поглощения в области энергий фотонов hν = 0,6 - 1,3 эВ изменяется незначительно. При увеличении энергии фотонов выше 1,3 эВ наблюдается резкое изменение коэффициента поглощения. Экстраполяция соответствующего участка зависимости к оси энергии позволяет оценить ширину запрещённой зоны исходного GaAs как E_g = 1,41 эВ [3].

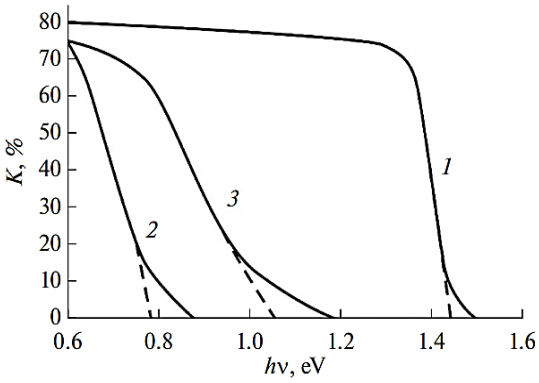


Рис. 2. Зависимость коэффициента поглощения *K* от энергии фотонов hν для: 1 - исходного GaAs(111); GaAs(111), облучённого ионами Ar^+ с энергией E_0 = 1 кэВ и дозой D = $5\cdot10^{15}$ см$^{-2}$ при углах падения: 2 - φ = 0°, 3 - φ = 72°.

После бомбардировки Ar^+ при D = $5\cdot10^{15}$ см$^{-2}$ и нормальном падении ионов (φ = 0°) значение E_g уменьшается примерно до 0,75 эВ. При угле падения φ = 72° ширина запрещённой зоны составляет около 0,98 - 1,1 эВ [3].

Наблюдаемое уменьшение E_g связано с сильным разупорядочением приповерхностного слоя и появлением большого количества дефектных состояний в запрещённой зоне. При этом часть атомов Ga и As после ионного воздействия вновь образует химические связи, что способствует сохранению относительно более высокой величины E_g при больших углах падения ионов.

Для установления роли угла падения Ar^+-ионов в изменении состава поверхности были проведены исследования при различных значениях φ. На рис. 3 представлена зависимость поверхностной концентрации As от дозы Ar^+-ионов с энергией E_0 = 1 кэВ при различных углах их падения относительно нормали к поверхности [3].

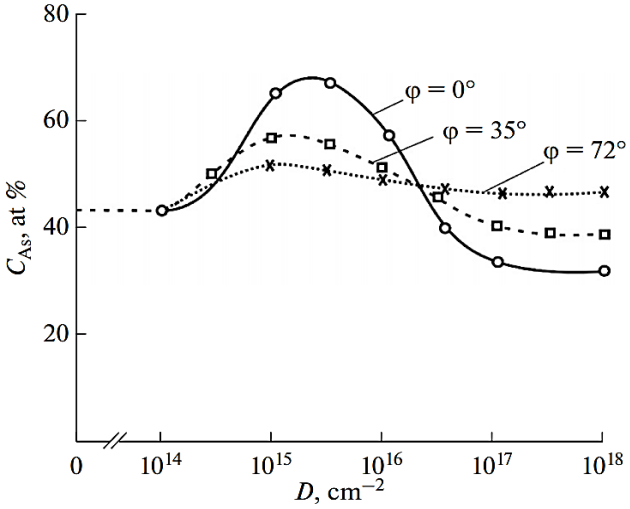


Рис. 3. Зависимость концентрации As C_{As} от дозы Ar^+-ионов с энергией E_0 = 1 кэВ при различных углах их падения относительно нормали к поверхности.

Как видно из рис. 3, увеличение угла падения ионов приводит к смещению максимума концентрации As в область меньших доз и к уменьшению величины этого максимума. Одновременно уменьшается доза, при которой концентрация As стабилизируется [3].

При φ = 72°, начиная примерно с D = $5\cdot10^{15}$ см$^{-2}$, поверхность оказывается полностью

разупорядоченной, однако концентрации Ga и As изменяются значительно слабее. Их значения устанавливаются примерно на уровне 52 и 48 ат. %, соответственно. Следовательно, при таком угле падения Ga и As распыляются с поверхности приблизительно с одинаковой интенсивностью [3].

Полученные результаты показывают, что изменение угла падения Ar^+-ионов позволяет существенно изменять характер радиационно-индуцированной перестройки поверхности GaAs. При нормальном падении ионов наблюдается наиболее выраженное изменение соотношения компонентов, тогда как при больших углах падения изменение элементного состава становится значительно менее выраженным.

Важным является также влияние последующего термического воздействия. После отжига облучённого GaAs при T = 750 K в течение 10-15 мин при φ = 72° монокристаллическая структура GaAs полностью восстанавливается. После отжига концентрации Ga и As составляют около 48 и 51 ат. %, соответственно, содержание C – около 1 ат. %, а содержание O находится ниже чувствительности метода [3].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследовано влияние угла падения низкоэнергетических Ar^+-ионов с энергией E_0 = 1 кэВ на состав, структурное состояние и ширину запрещённой зоны поверхности монокристаллического GaAs(111).

Показано, что при нормальном падении Ar^+-ионов (φ = 0°) ионная бомбардировка приводит к выраженному изменению соотношения концентраций Ga и As. При дозах до $5\cdot10^{15}$ см$^{-2}$ концентрация As возрастает примерно до 68 ат. %, тогда как при дальнейшем увеличении дозы до 10^{17} см$^{-2}$ снижается примерно до 32 ат. %. Одновременно содержание Ga возрастает до приблизительно 68 ат. %.

Установлено, что ионная бомбардировка сопровождается сильным разупорядочением приповерхностной области. При высоких дозах толщина полностью разупорядоченного слоя достигает приблизительно 80 - 100 Å.

Показано, что ионное воздействие существенно изменяет оптические свойства поверхности GaAs. Для исходного образца E_g = 1,41 эВ, тогда как после облучения дозой D = $5\cdot10^{15}$ см$^{-2}$ при φ = 0° ширина запрещённой зоны уменьшается примерно до 0,75 эВ. При увеличении угла падения до 72° изменение E_g становится менее выраженным [3].

Увеличение угла падения Ar^+-ионов приводит к уменьшению степени изменения элементного состава поверхности. При φ = 72° распыление Ga и As происходит приблизительно с одинаковой интенсивностью, вследствие чего их концентрации сохраняются на уровне около 52 и 48 ат. %, соответственно.

Таким образом, угол падения низкоэнергетических Ar^+-ионов является существенным параметром управления составом, структурным состоянием и электронно-оптическими свойствами приповерхностной области GaAs. Сочетание ионной обработки с последующим термическим отжигом позволяет восстановить исходное монокристаллическое состояние материала при определённых условиях обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mikoushkin V.M., Makarevskaya E.A., Brzhezinskaya M. // *Applied Surface Science.* 2021, V. 539, Art. 148273. DOI: 10.1016/j.apsusc.2020.148273.
2. Solonitsyna A.P., Makarevskaya E.A., Novikov D.A. et al. // *Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques.* 2022, V. 16. p. 759. DOI: 10.1134/S1027451022050196.

3. Tashmukhamedova D.A., Umirzakov B.E., Tursunmetova Z.A. Effect of the Angle of Incidence of Low-Energy Ar^+ Ion Beams on the Composition and Structure of the GaAs Surface // *Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques.* 2024, V. 18. № 6. p. 1702-1706. DOI: 10.1134/S102745102470174X.

МАГНИТНЫЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРЕМНИЯ С ПРИМЕСЯМИ МАРГАНЦА

К.А. Исмайлов[2]., Т. Б. Исмаилов[2] У.А. Эшимова[2]
[1]*Каракалпакский государственный университет им. Бердаха, 230112, г. Нукус, Узбекистан*
[2]*Национальный университет Узбекистана имена Мирза Улугбека*
e-mail: temurismoilov734@gmail.com

Большой интерес к изучению магнитных полупроводников связан с возможностью создания приборов, основанных на изменении направления спина электрона [1]. Для получения магнитных материалов на основе кремния часто используется ионная имплантация, так M. Bolduc [2], Y. H. Kwon [3], L. Hung-Ta [4] и А. Ф. Орлов [5] исследовали магнитные свойства кремния, имплантированного атомами марганца, при низких температурах. Показано в [6, 7], что внедрением атомов марганца в кремний путем ионной имплантации может быть получен материал, в котором наблюдается ферромагнитные свойства при относительно высоких (более 200 К) температурах.

Кроме того, в некоторых исследованиях [8,9], найдены ферромагнитные свойства при комнатной температуре в кремнии, содержащем бор и около 1 % атомов марганца.

Для исследования спинового состояния атомов марганца в кремнии использовался метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР, рис. 2) [10,11]. Результаты ЭПР показывают, что к кремнии *p*-типа атомы марганца могут образовывать комплексы, состоящие из четырех атомов марганца, находящихся в ближайших эквивалентных междоузельных положениях вокруг атомов бора в решетке кремния. В кремнии *n*-типа такие комплексы методом ЭПР не выявлены.

Исследования [12] кремния, легированного примесными атомами марганца методом диффузии, показали наличие в этих образцах эффекта отрицательного магнетосопротивления, в том числе при комнатной температуре. Отрицательное магнитосопротивление также наблюдается только в кремнии *p*-типа.

Мы считаем весьма вероятным, что эффект ОМС в материале *p*-типа связан с наличием нанокластеров типа BMn_4, находящихся в многозарядном состоянии. В таком материале магнитный момент ионизированного нанокластера BMn_4 может быть значительным, а обменное взаимодействие происходящее за счет наличия дырок, увеличивает вероятность ферромагнитного упорядочения.

Использовался исходный монокристаллический кремний *p*-типа, легированный бором, марки КДБ-3, выращенный методом Чохральского с удельным электрическим сопротивлениям ρ=3 Ω·cm. Все образцы кремния размером 8x4x1 мм^3 вырезали из слитка с помощью установки проволочной резки "STX-402". После резки образцы кремния травили 3 минуты в травителе HNO_3: HF (3:1), очищали кипячением в перекисно-аммиачном растворе (1:4:15), затем освежали в 10 % HF.

Электроактивная растворимость марганца, необходимая для подбора режима диффузии зависит от температуры как:

$$N = 2.5\cdot 10^{22}\exp\left(-\frac{2.1}{kT}\right),\ \text{cm}^{-3} \qquad (2)$$

Из результатов полная растворимость атомов марганца в кремнии при температуре диффузии 1085 °C составляет N_{Mn}~10^{16} cm^{-3}. Соответственно, электро-активная часть атомов марганца

составляет около 1÷2 % от полной. Это означает, что большая часть атомов марганца в кремнии находятся в электрически нейтральных состояниях. Один из вариантов такого состояния – самокомпенсация марганца – атомы марганца, находящиеся в узлах решетки – акцепторы, а атомы марганца в междоузлиях – доноры. Роль таких нейтральных состояний в магнитных свойствах пока не ясна.

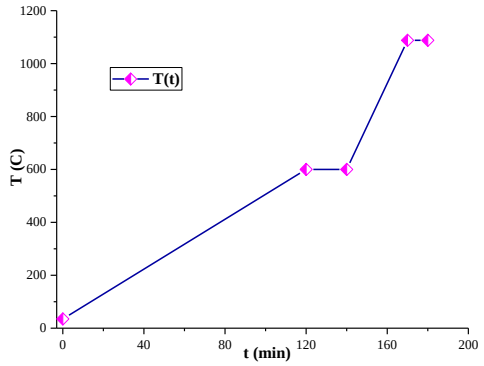


Рис. 1. Технология проведения диффузии примесных атомов марганца

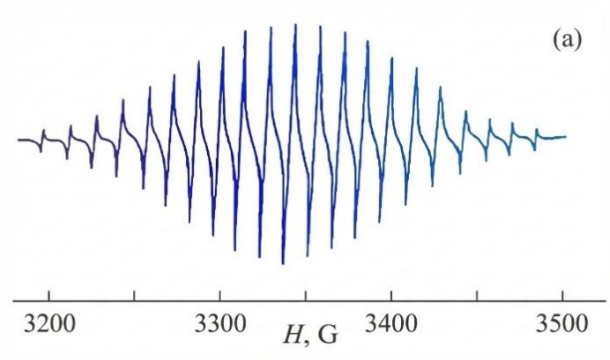


Рис. 2. ЭПР марганца в решетке кремния

После диффузии проводилась механическая шлифовка образцов карбиднокремниевым абразивом марки *М-14* (по 50 мкм со всех сторон), и химическое травление (t=3 минуты) в HF: HNO_3 (1:8), чтобы снять силициды марганца с поверхности образца и устранить дефекты шлифовки.

Электрофизические параметры полученных образцов показаны на Таблице 1.

Таблица 1 - Электрофизические параметры образцов

Образец	Температура диффузии °C	Тип проводимости	Удельное сопротивление, Ω·cm	Концентрация носителей заряда, *p, n* cm^{-3}	Подвижность, *μ*, cm/(V·s)
Исходный Si<B>	-	*p*	3	$6.7\cdot10^{15}$	300
Si<B, Mn>	1095	*n*	$2.8\cdot10^{4}$	$2.6\cdot10^{11}$	851
Si<B, Mn>	1085	*p*	$7.4\cdot10^{4}$	$1.1\cdot10^{12}$	77

Из таблицы можно видеть, что, управляя температурой и временем диффузии, можно получить образцы кремния *p*-типа проводимости, легированные марганцем с удельными сопротивлениями в диапазоне от $\rho=3\cdot10^{2}$ до $\rho=4\cdot10^{5}$ Ω·cm и *n*-типа проводимости с удельными сопротивлениями в диапазоне от $\rho=2\cdot10^{4}$ до $\rho=3\cdot10^{5}$ Ω·cm.

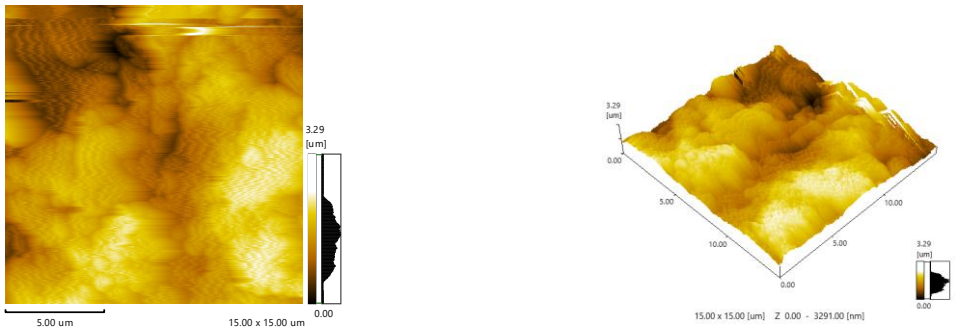


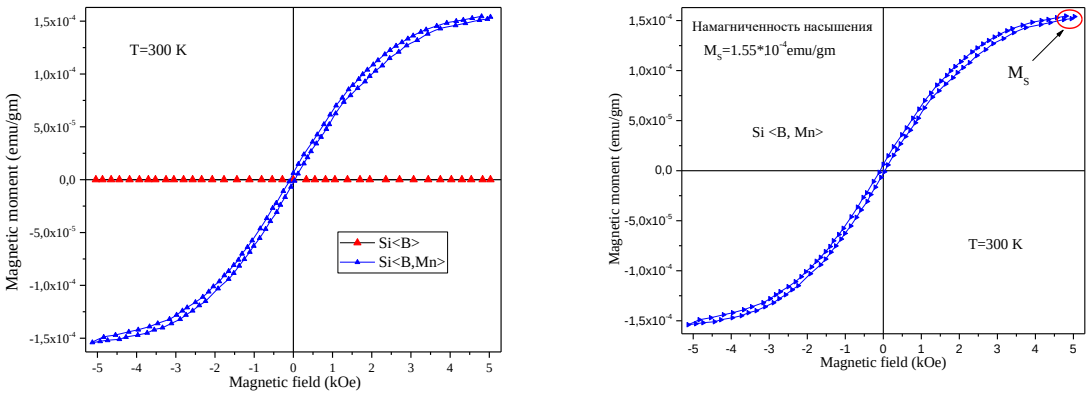
Рис. 3. АСМ изображение поверхности образца кремния, легированного примесными атомами марганца, полученного в разных точках.

Из результатов полная растворимость атомов марганца в кремнии при температуре диффузии 1090 °C составляет N_{Mn} ~ 10^{16} cm^{-3}. Соответственно, электроактивная часть атомов марганца составляет до 1÷2 % от полной.

Это означает, что фактически атомы марганца в кремнии находятся в электрически нейтральных состояниях.

Однако, хотя такая концентрация очень мало по сравнения основных атомов кремния в материале, одно образованные кластеры имеет большой положительный заряд $Z=(Mn)^{++}$, которые доходит до $+Z$. Такое заряд кластеров примесных атомов марганца приводит образования рельефа неоднородности на поверхности кремния, что ещё рад подтверждает полученных результатов с помощью атомно-силовой микроскопе (рис. 3.).

На рис. 4 показана зависимость магнитного момента при T=300 К образца кремния Si <B, Mn>, p-типа, с $\rho=4\cdot10^4$ Ω·cm от магнитного поля. В образцах с этим удельным сопротивление присутствует магнитный гистерезис и наблюдается большая величина намагниченности.



а *б*

Рис. 4. Зависимость намагниченности от магнитного поля при T=300 К, *а* - в образцах кремния Si <B, Mn>, $\rho=2\cdot10^4$ Ω·cm, p-тип (синий цвет) и исходного кремния (красный цвет), *b* , *c* – нахождение параметров M_s, M_r, H_c (намагниченность насыщения, остаточная намагниченность и коэрцитивная сила)

Полученные экспериментальные результаты показали, что в образцах кремния, легированного примесными атомами марганца p-типа (дырочной) проводимости, наблюдается ферромагнитное состояние при температуре T=300 К. В образцах n-типа проводимости во всем диапазоне удельных сопротивлений гистерезисных явлений на кривой намагничивания не наблюдалось, поэтому

требуются дополнительные исследования для изучения ферромагнитных свойства образцов кремния в зависимости от температуры и концентрации ионов бора в исходном кремнии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Review on spintronics: Principles and device applications / Atsufumi, H [et al.] // Journal of Magnetism and Magnetic Materials / –2020, –vol. 509, –no. 166711.
2. Above room temperature ferromagnetism in Mn-ion implanted Si / Bolduc, M. [et al.] // Physical Review B, –2005, –vol. 71, –№. 3.
3. Observation of crystallite formation in ferromagnetic Mn-implanted Si / Bolduc. M [et al.] // Journal of Vacuum Science and Technology A., –2006, –vol. 24, –no. 4, –p. 1644-1647.
4. Formation mechanism of ferromagnetism in $Si_{1-x}Mn_x$ diluted magnetic semiconductors / Kwon, Y.H [et al.] // Solid State Communications / –2005, vol. 136, –p. 257-261.
5. Carrier-mediated ferromagnetism in p-Si (100) by sequential ion-implantation of B and Mn / Hung-Ta, L [et al.] // Journal of Physics: Condensed Matter / –2008 –vol. 20, –no. 9.
6. Development of Ferromagnetic Semiconductors for Applications in Spin Electronics: State and Outlook / Orlov, A. F [et al.] // Russian Microelectronics / –2012, –vol. 41, –no. 8, –p. 443–452.
7. Charge Carriers Compensation in a Ferromagnetic Mn-Implanted Si / Orlov, A.F [et al.] // The Open Applied Physics Journal / –2009, –vol. 2, –p. 20-22.
8. Local structure around Mn atoms in Si crystals implanted with Mn^+ studied using x-ray absorption spectroscopy techniques / Wolska, A [et al.] // Physical review B / –2007, –vol. 75, –113201.
9. Investigation on the magnetic and electrical properties of crystalline $Mn_{0.05}Si_{0.95}$ films, Applied physics letters / Zhang, F. M [et al.] // –2004, –vol. 85, –no. 5, –p. 786-788.
10. Magnetic properties of silicon with paramagnetic impurity atoms, East european journal of physics / Zikrillayev, N.F [et al.] // –2023 –vol. 3, –p. 380-384.
11. Formation of complexes consisting of impurity Mn atoms and group VI elements in the crystal lattice of silicon, Semiconductor Physics / Ismailov, K.A [et al.] // Quantum Electronics and Optoelectronics / –2021, –vol. 24, –no. 3, –p. 488-492
12. Spin resonance of deep level impurities in germanium and silicon / Ludwig, G.W [et al.] // J. Phys. Chem. Solids / –1959. –Vol. 8. –p. 490-492.

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА И ЭЛЕКТРОННЫХ СВОЙСТВ ZnTe ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ Ar^+ И Cd^+

Умирзаков Б.Е.[1], Ташмухамедова Д.А.[1], Лобода В.В.[2], Абдувайитов А.А.[1], Хужаниёзов Ж.Б.[1], Темиров Ф.И.[3]
[1] Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова
[2] Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия
[3] Каршинский государственный технический университет
e-mail: KhujaniyozovJB@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

Полупроводниковые соединения группы $A^{II}B^{VI}$, в частности теллурид цинка ZnTe, представляют значительный интерес благодаря сочетанию электронных и оптических свойств, определяющих возможности их применения в оптоэлектронных устройствах и тонкопленочных структурах. Существенное влияние на физические свойства ZnTe оказывает состояние его поверхности и

приповерхностного слоя, поскольку именно в этой области формируются структурные дефекты, изменяется элементный состав и возникают поверхностные электронные состояния [1, 2].

Одним из эффективных способов целенаправленного изменения состава и электронных свойств полупроводников является низкоэнергетическая ионная имплантация. В зависимости от энергии и дозы ионов данный метод позволяет изменять элементный состав приповерхностной области, степень структурного упорядочения и электронную структуру материала. В настоящей работе исследовано влияние имплантации ионов Ar^+ и Cd^+ на состав и электронные свойства ZnTe(111), а также рассмотрены изменения, возникающие после последующего термического отжига.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследования использовались монокристаллический ZnTe(111) и структура ZnTe/Si(111). Имплантация проводилась ионами Ar^+ и Cd^+ с энергией E_0 = 1 кэВ. Основное внимание уделялось дозовой зависимости изменения элементного состава поверхности. Для исследуемых условий характерная доза насыщения составляла $D_н = (6\div8)\times10^{16}$ см$^{-2}$.

Изменения элементного состава поверхности и приповерхностной области исследовались методом Оже-электронной спектроскопии (ОЭС). Электронная структура исследовалась методом ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии (УФЭС). Для исследования влияния термического воздействия после имплантации Cd^+ образцы подвергались отжигу при температуре T = 850 K в течение 40 мин. В результате имплантации и последующего отжига формировался приповерхностный слой состава $Zn_{0,5}Cd_{0,5}Te$ толщиной около 30÷35 Å [3].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из основных результатов исследования является установление зависимости изменения состава приповерхностного слоя ZnTe от дозы имплантации ионов Ar^+. При увеличении дозы ионного воздействия происходит перераспределение компонентов материала и изменение поверхностной концентрации цинка.

На рис. 1 представлена зависимость поверхностной концентрации цинка в плёнке ZnTe/Si(111) от дозы облучения ионами Ar^+ с энергией E_0 = 1 кэВ.

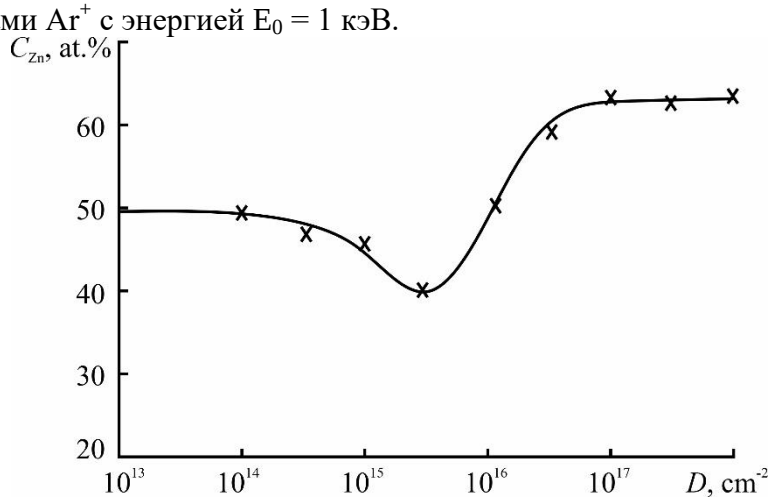


Рис. 1. Зависимость поверхностной концентрации цинка в плёнке ZnTe/Si(111) от дозы облучения ионами Ar^+ с энергией E_0 = 1 кэВ.

Как видно из рис. 1, увеличение дозы имплантации сопровождается изменением поверхностной концентрации цинка. При достижении высоких доз изменение состава постепенно замедляется, что соответствует области насыщения. Для исследованных условий насыщение достигается при дозах порядка $D_н = (6\div8)\times10^{16}$ см$^{-2}$. Полученные результаты свидетельствуют о том, что низкоэнергетическая ионная имплантация является эффективным способом управления составом приповерхностной области ZnTe.

Увеличение дозы ионного воздействия приводит не только к изменению элементного состава, но и к существенному нарушению исходного структурного состояния поверхности. При высоких дозах имплантации наблюдается значительное разупорядочение приповерхностного слоя, сопровождающееся изменением его электронных свойств. При достижении дозы насыщения поверхность ZnTe приобретает признаки металлизированного состояния. Таким образом, дозу ионной имплантации можно рассматривать как один из параметров, позволяющих управлять состоянием поверхности ZnTe.

Особый интерес представляет имплантация ионов Cd^+, поскольку в данном случае происходит не только радиационное изменение исходной структуры ZnTe, но и введение нового химического компонента. После имплантации Cd^+ при E_0 = 1 кэВ и дозе $D_н = 8\times10^{16}$ $см^{-2}$ поверхность содержит значительное количество внедрённого кадмия. Последующий отжиг способствует диффузионному перераспределению компонентов и формированию более однородного слоя.

Для анализа изменений электронной структуры использовался метод ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии. На рис. 2 представлены спектры фотоэлектронов ZnTe(111), зарегистрированные на различных этапах обработки: для исходного образца, после имплантации ионов Cd^+ и после последующего термического отжига.

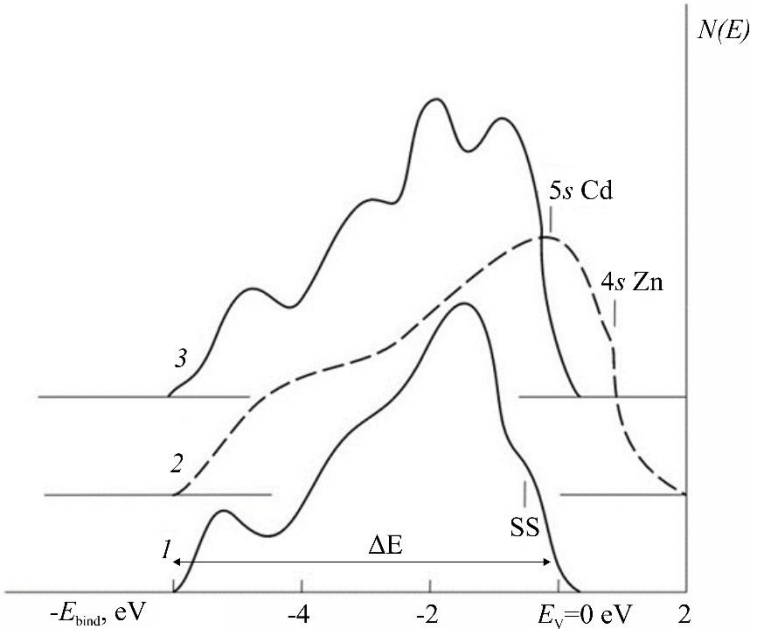


Рис. 2. Спектры фотоэлектронов ZnTe(111) на различных этапах имплантации и последующего термического отжига: 1 - исходный ZnTe(111); 2 - после имплантации Cd^+; 3 – после имплантации Cd^+ и отжига при T = 850 K.

В исходном ZnTe(111) в спектре фотоэлектронов наблюдаются основные особенности при энергиях связи около -0,5; -1,4 и -5,2 эВ. Особенность около -0,5 эВ связывается с поверхностным состоянием, тогда как структуры в области -1,4 и -5,2 эВ обусловлены электронными состояниями, связанными соответственно с гибридизированными состояниями Zn 4s и Te 5p и состояниями Te 5s. После имплантации ионов Cd^+ спектр претерпевает существенные изменения. Это проявляется в появлении новых особенностей и смещении отдельных максимумов, что свидетельствует об изменении плотности электронных состояний приповерхностной области. После последующего отжига при T = 850 K изменения становятся более выраженными. В спектре наблюдаются особенности около -0,3; -0,8; -1,8; -2,8 и -4,6 эВ.

Появление дополнительной особенности в области -1,8 эВ связывается с состояниями Cd 5s, гибридизированными с Te 5p. Одновременно изменяются положения максимумов, связанных с состояниями Zn и Te. Таким образом, введение Cd^+ и последующий термический отжиг приводят к перестройке электронной структуры исходного ZnTe.

Полученные изменения согласуются с формированием в приповерхностной области соединения $Zn_{0,5}Cd_{0,5}Te$. Согласно результатам исследования, после имплантации Cd^+ и отжига при T = 850 K формируется относительно однородный слой толщиной около 30÷35 Å. Следовательно, сочетание ионной имплантации и термического отжига позволяет сформировать модифицированный приповерхностный слой с изменённым химическим составом и электронной структурой.

Дополнительную информацию об изменении физических свойств сформированного слоя дают результаты оптических измерений. На рис. 3 приведены зависимости коэффициента пропускания света от энергии фотонов для исходного ZnTe(111) и структуры $Zn_{0,5}Cd_{0,5}Te$/ZnTe(111), полученной после имплантации Cd^+ и последующего отжига.

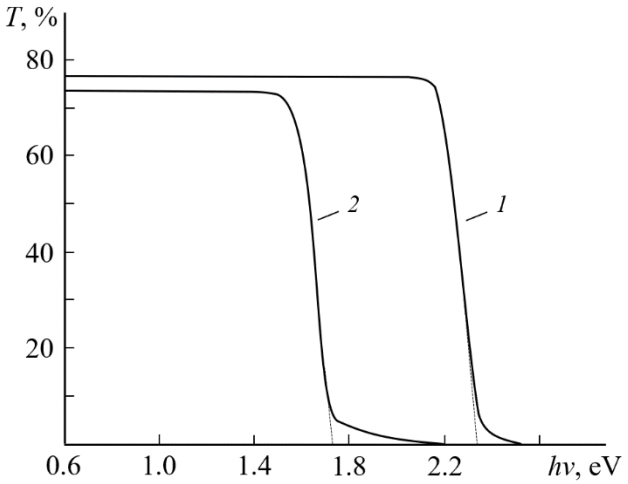


Рис. 3. Зависимость коэффициента пропускания света от энергии фотонов для исходного ZnTe(111) и плёнки $Zn_{0,5}Cd_{0,5}Te$/ZnTe(111), полученной после имплантации Cd^+ и отжига при T = 850 K.

Сравнение спектров показывает, что формирование слоя $Zn_{0,5}Cd_{0,5}Te$ приводит к изменению характера оптического поглощения по сравнению с исходным ZnTe. Это связано с изменением химического состава и электронной структуры приповерхностного слоя. Таким образом, результаты оптических исследований дополняют данные ОЭС и УФЭС и подтверждают существенное изменение физических свойств материала после имплантации Cd^+ и последующего термического воздействия.

В целом полученные результаты показывают, что характер изменений ZnTe определяется как природой имплантируемых ионов, так и дозой и последующей термической обработкой. Имплантация Ar^+ преимущественно приводит к радиационному разупорядочению и изменению состава поверхности, тогда как имплантация Cd^+ позволяет дополнительно изменить химический состав приповерхностного слоя. Последующий отжиг способствует перераспределению компонентов и формированию соединения $Zn_{0,5}Cd_{0,5}Te$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведено исследование влияния низкоэнергетической имплантации ионов Ar^+ и Cd^+ на состав и электронные свойства поверхности и приповерхностной области ZnTe.

Показано, что имплантация ионов Ar^+ с энергией E_0 = 1 кэВ приводит к изменению поверхностного состава ZnTe. При увеличении дозы ионного воздействия изменения достигают

области насыщения при $D_н$ = (6÷8)×10^{16} $см^{-2}$. При высоких дозах наблюдаются значительное разупорядочение приповерхностной области и изменение её электронного состояния вплоть до проявления металлизированного характера.

Установлено, что имплантация ионов Cd^+ с последующим отжигом при T = 850 K существенно изменяет электронную структуру ZnTe(111). В спектрах УФЭС появляются новые особенности, связанные с электронными состояниями Cd и их взаимодействием с состояниями Te, а также изменяются положения исходных максимумов.

После имплантации Cd^+ и последующего отжига формируется приповерхностный слой $Zn_{0,5}Cd_{0,5}Te$ толщиной около 30÷35 Å. Формирование данного слоя сопровождается изменением электронной и оптической структуры материала.

Таким образом, низкоэнергетическая ионная имплантация в сочетании с термическим отжигом позволяет целенаправленно изменять состав, электронные и оптические свойства приповерхностной области ZnTe. Полученные результаты показывают перспективность данного подхода для формирования модифицированных многокомпонентных полупроводниковых слоёв на основе ZnTe.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хужаниёзов Ж.Б., Умирзаков Б.Е., Ташмухамедова Д.А., Лобода В.В., Абдувайитов А.А. Влияние имплантации ионов Ar^+ и Cd^+ на состав и электронную структуру монокристаллического теллурида цинка // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. 2026, Т. 19, № 2, с. 84-97. DOI: 10.18721/JPM.19208.
2. Suthar D., Chuhadiya S., Sharma R., Himanshu, Dhaka M.S. An overview on the role of ZnTe as an efficient interface in CdTe thin film solar cells: a review // Materials Advances. 2022, V. 3, p. 8081-8107. DOI: 10.1039/D2MA00817C.
3. Zhao Y., Jia Z., Lin Q. Optoelectronic Properties and Charge Carrier Dynamics of Polycrystalline ZnTe Thin Films // The Journal of Physical Chemistry Letters. 2025, V. 16, № 24, p. 5979-5985. DOI: 10.1021/acs.jpclett.5c01253.

СОСТАВ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОРОШКОВ WO_3

Б.Е. Умирзаков, К.Б. Эгамбердиев, А.А. Абдувайитов, Х.Х. Болтаев,
Ж.Б. Хужаниёзов, Г.М. Ширинов
Ташкентский государственний технический университет им. Ислама Каримова, Ташкент, 100095 Узбекистан

В настоящее время получению и изучению физико – химических свойств пленок и порошков W и оксидов вольфрама уделяются очень большое внимание, что связано широким применением их в создание новых типов катализаторов, газовых и химических сенсоров[1-3], преобразователей солнечной энергии, многослойных МОП и ПДП структур для СВЧ транзисторов и др. [4]. Большое количество работ посвящено изготовлению из WO_3 электродов для конденсаторов [5], и продемонстрирована перспективность композитов на основе наночастиц оксида вольфрама для создания суперконденсаторов.

Функциональные характеристики оксидов вольфрама в значительной степени определяются особенностями их фазового и химического состава. В частности, для триоксида вольфрама характерен выраженный полиморфизм [6], дающий возможность получать материалы с заданными физико-химическими свойствами, в том числе с контролируемым значением ширины запрещенной зоны [7]. Наличие кислородных вакансий в структуре WO_3 определяет особенности его

взаимодействия с видимым, УФ- и ближним ИК- злучением [8], а также биологическую активность материалов на его основе [9].

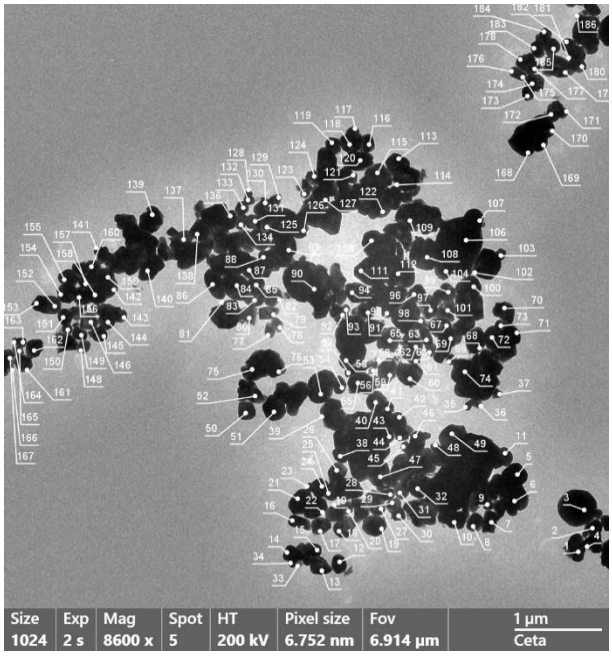
Цель данной работы посвящена получению наноразмерных частиц (порошков) W и WO_3, исследования их размеров, состава, структуры и их изменения при погружения в водной среде.

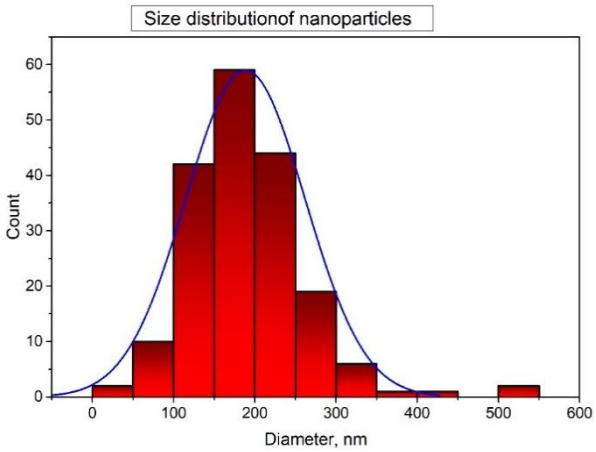
Наночастицы WO_3 получены методом дугового разряда на установке, созданного в институте Ионно-плазменной и лазерной технологии [10]. Вакуумно-дуговая установка характеризуется возможностью реализации процесса стабильного вакуумно-дугового испарения вольфрама при введении реактивного газа, синтеза паров оксида вольфрама (WO_x). Вакуумная камера изготовлена из нержавеющей стали и представляет собой цилиндрическую емкость диаметром 420 мм, высотой 400 мм. Необходимый рабочий вакуум в технологической зоне для вакуумно-дугового испарения вольфрама составляет 0.1-0.01 Па. При получении оксида вольфрама (WO_x) в камеру вводится контролируемое количество кислорода (O_2). В качестве источника W использована особо чистый вольфрамовый стержень с диаметром 13 мм. Перед началом процесса испарения вольфрама камера откачивается до базового давления (~0.01 Па). Для получения WO_3, после достижения базового давления, в камеру через регулируемый впускной клапан подается кислород до установления требуемого рабочего давления (~0,4 Па). При этомтемпература в участке образования WO_3, составляет 2200 °C [10].

Исследования размеров, состав и структуры наночастиц WO_3 проводились на сканирующем электронном мисроскопе (СЭМ) типа F200i(S) и рентгеновском дифрактограмме XPD-6100.

Распределения по размерам частиц WO_3 в водной среде выполнялись с помощью приборе NanoSight LM10 (Малверн, Великобритания), оборудованной камерой для образцов с лазером 405 нм и 642 нм с встроенным термостатом, который обеспечивает стабильность температуры в интервале 5-50 °C, и шприцевой насос [11].

На рис.1 (а) приведена СЭМ изображения поверхности наночастиц WO_3, снятия при перпендикулярном расположения луча к поверхности. На картине наблюдается как отдельные частицы, так и агломераты. Частицы имеют различные формы (сферы, четырёхугольные, много угловые), но их среднем можно охарактеризовать как сферический. Средние размеры частиц лежать в пределах от 120 до 180 Å (рис 1 (б)). Результаты элементного анализа наночастицы WO_3 показывает, что концентрация кислорода составляет ~ 76 ат.%, а W – 24 ат./%, что соответствует стехиометрическому составу WO_3.





а) б)

Рис.1. СЭМ-изображения частиц WO_3: а) СЭМ изображения поверхность б) гистограмма распределения наночастиц WO_3 по размерам.

Методом ультразвукового перемеищивания наночастиц WO_3 в воде получен наножидкость. Распределения наночастиц по размерам и анализ их траекторий определены с помощью прибора NanoSight LM10. Установлено, что наночастицы WO_3 хорошо диспергированы в водной среде и обладают относительно однородным распределением по размерам. Результаты показали, что средний размер частиц 176,1 ± 5,3 нм и стандартное отклонение 59,6 нм.

Список литературы

1. Zheng, H., Ou, J. Z., Strano, M. S., Kaner, R. B., Mitchell, A., & Kalantar-zadeh, K. (2011). Nanostructured tungsten oxide – properties, synthesis, and applications. *Adv. Funct. Mater.*, 21(12), 2175–2196.
2. Patrick T. Moseley. Meas. Sci. Technol. 28, 082001 (2017).
3. Ю.С. Гайдук, О.Г. Реутская, А.А. Савицкий, И.А. Таратын. Приборы и методы измерений 7, 41 (2016).
4. Alice Lee-Sie Eh, Alvin WeiMingTan, Xing Cheng, Shlomo Magdassi, Pooi See Lee. Energy Technol. 6, 33 (2018).
5. Zhenyin Hai, Mohammad Karbalaei Akbari, Zihan Wei, Chenyang Xue, Hongyan Xu, Jie Hu, Serge Zhuiykov. Electrochim. Acta 246, 625 (2017).
6. *Fan Y., Xi X., Liu Y. et al.* // J. Phys. Chem. Solids. 2020. V. 140. № October 2019. P. 109380. https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2020.109380
7. *Susanti D., Diputra A.A.G.P., Tananta L. et al.* // Front. Chem. Sci. Eng. 2014. V. 8. № 2. P. 179. https://doi.org/10.1007/s11705-014-1431-0
8. *Xia Z., Wang H., Su Y. et al.* // Coatings. 2020. V. 10. № 6. P. 577. https://doi.org/10.3390/coatings10060577
9. Can, F.; Courtois, X.; Duprez, D. Tungsten-Based Catalysts for Environmental Applications. Catalysts 2021, 11, 703. https://doi.org/10.3390/catal11060703

10. Khudaykulov, I. K., Ravshanov, J. R., Ashurov, K. B., Arustamov, V. N., Usmanov, D. T. //Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2022. – T. 16. – №. 4. – C. 599-604. https://doi.org/10.1134/S1027451022040280

11. Egamberdiev, K., Mirzaev, S. Z., & Kaatze, U. (2016). The Effect of Alkali Halides on the Critical Exponents of the 2, 6-Dimethylpyridine–Water System. The Journal of Physical Chemistry B, 120(48), 12379-12389.

MAGNETRON QURILMASI YORDAMIDA NANOPLYONKALAR OLISH TEXNOLOGIYASI VA ULARNING ELEKTRONIKA SOHASIDA QO'LLANILISHI

A.R. Qodirov[1], D.Q. Xoliquov[2], H.S. Sobirov[3], Davlatov M.A.[4]

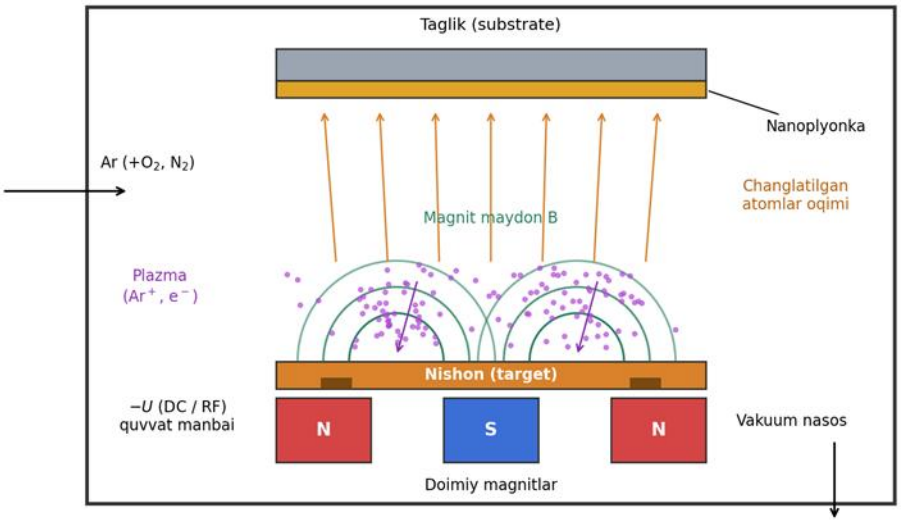
[1]QarDU Nazariy va eksperimental fizika kafedrasi tayanch doktoranti

[2]QarDU Nazariy va eksperimental fizika kafedrasi magistri, [3]TDTU talabasi, [4]QDTU o'qituvchisi

asilbekqodirov980@gmail.com

Zamonaviy elektronika qalinligi bir necha nanometrdan yuzlab nanometrgacha bo'lgan yupqa qatlamlarga tayanadi: o'tkazuvchi, dielektrik, yarimo'tkazgich va magnit nanoplyonkalar integral sxemalar, displeylar, sensorlar va xotira qurilmalarining asosini tashkil etadi [1]. Nanoplyonkalarni olishning fizik bug'dan cho'ktirish (PVD) usullari orasida magnetron changlatish eng keng tarqalgani bo'lib, u yuqori adgeziya, qatlam qalinligining bir xilligi va jarayonning yaxshi takrorlanuvchanligi bilan ajralib turadi [2, 3].

Jarayon vakuum kamerasida (boshlang'ich bosim 10^{-4}–10^{-6} Pa) olib boriladi. Kameraga ish gazi (odatda argon, 0,1–1 Pa) kiritiladi va nishonga (target) manfiy potensial beriladi. Natijada gaz razryadi hosil bo'ladi, Ar^+ ionlari elektr maydonida tezlashib nishonga uriladi va uning atomlarini urib chiqaradi. Urib chiqarilgan atomlar taglikka yetib, kondensatsiyalanadi va qatlam shakllanadi [1, 4].



1-rasm. Magnetron changlatish qurilmasining sxematik tuzilishi

Magnetron usulining mohiyati nishon orqasiga joylashtirilgan doimiy magnitlardir (1-rasm). Nishon sirtiga parallel magnit maydon va elektr maydon birgalikda elektronlarni E×B dreyfi bo'ylab nishon yaqinidagi yopiq traektoriyalarda ushlab turadi. Bu gazning ionlanish samaradorligini oshiradi, plazma

nishon yaqinida zichlashadi va razryad past bosimda ham barqaror ishlaydi. Shu sababli oddiy diod changlatishga nisbatan o'sish tezligi yuqori, taglikning qizishi esa kam bo'ladi [2].

Elektr o'tkazuvchi nishonlar (Al, Cu, Nb, Ti, Mo) uchun doimiy tokli (DC) magnetron, dielektrik va yarimo'tkazgich nishonlar (SiO_2, Al_2O_3, ZnO) uchun 13,56 MHz chastotali RF magnetron qo'llaniladi. Oksid va nitridlar (TiO_2, AlN, TiN) argon–kislorod yoki argon–azot muhitida reaktiv changlatish bilan olinadi. Yuqori quvvatli impulsli magnetron (HiPIMS) ionlanish darajasini oshirib, zichroq va silliqroq qatlamlar olish imkonini beradi [6].

Qatlamning tuzilishi va xossalari razryad quvvati, ish gazi bosimi, taglik harorati, siljitish kuchlanishi (bias), nishon–taglik masofasi va reaktiv gaz nisbati bilan boshqariladi. Past bosimda qatlam zichroq, yuqori bosimda esa g'ovakroq bo'ladi; taglik harorati va ion bombardimoni kristallanish darajasi hamda don o'lchamiga ta'sir qiladi [1, 5]. Reaktiv jarayonda kislorod yoki azot miqdori stexiometriyani, demak, qatlamning elektr va optik xossalarini belgilaydi. Qalinlik kvars mikrotarozisi, profilometr va ellipsometr, tuzilma esa XRD, SEM va AFM usullari yordamida nazorat qilinadi.

Mikroelektronikada Al, Cu, W va Ti qatlamlari metallizatsiya va kontaktlar uchun, TaN va TiN esa mis diffuziyasini to'suvchi qatlam sifatida ishlatiladi; HfO_2 va Al_2O_3 asosidagi yuqori dielektrik singdiruvchanlikli (high-k) qatlamlar tranzistorlarning zatvor dielektrigini hosil qiladi [1, 4].

Shaffof o'tkazuvchi oksidlar (ITO, AZO, FTO) suyuq kristall va OLED displeylar, sensorli ekranlar hamda quyosh elementlarida shaffof elektrod vazifasini bajaradi va asosan magnetron usulida olinadi [7]. Amorf oksidli yarimo'tkazgichlar (IGZO) asosidagi yupqa plyonkali tranzistorlar zamonaviy yassi displeylarning boshqaruv sxemalarida qo'llanadi [8].

Spintronikada Co, Fe, CoFeB va MgO ko'p qatlamli tuzilmalari qattiq disk o'qish kallaklari, magnit sensorlar va MRAM xotira uchun asos bo'lib, MgO to'siqli tunnel birikmalarida katta tunnel magnetorezistiv effekt kuzatilgan [9]. AlN va ZnO pyezoelektrik qatlamlari smartfonlardagi SAW/BAW radiochastota filtrlari va MEMS rezonatorlarda ishlatiladi [4]. TiO_2, HfO_2 va Ta_2O_5 asosidagi memristorlar yangi avlod xotira va neyromorf qurilmalar uchun istiqbolli hisoblanadi [10]. SnO_2, ZnO va WO_3 qatlamlari gaz sensorlarining sezgir elementi sifatida ham qo'llanadi.

Magnetron changlatish turli xossali nanoplyonkalarni boshqariladigan tarkib va tuzilma bilan olish imkonini beradigan, sanoatga oson joriy etiladigan usuldir. Uning kamchiliklari (nishonning faqat bir qismidan foydalanilishi, murakkab relyefli sirtlarni tekis qoplashdagi qiyinchilik) HiPIMS, ko'p nishonli changlatish va jarayonni in situ nazorat qilish usullari bilan kamaytirilmoqda. Egiluvchan va shaffof elektronika, spintronika va yangi xotira qurilmalarining rivoji bu texnologiyaning ahamiyatini yanada oshiradi.

ADABIYOTLAR

[1] Ohring M. Materials Science of Thin Films: Deposition and Structure. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 2002. 794 p.

[2] Kelly P.J., Arnell R.D. Magnetron sputtering: a review of recent developments and applications // Vacuum. 2000. Vol. 56, No. 3. P. 159–172.

[3] Greene J.E. Tracing the recorded history of thin-film sputter deposition: From the 1800s to 2017 // J. Vac. Sci. Technol. A. 2017. Vol. 35, No. 5. Art. 05C204.

[4] Wasa K., Kitabatake M., Adachi H. Thin Film Materials Technology: Sputtering of Compound Materials. Norwich: William Andrew, 2004. 518 p.

[5] Anders A. A structure zone diagram including plasma-based deposition and ion etching // Thin Solid Films. 2010. Vol. 518, No. 15. P. 4087–4090.

[6] Gudmundsson J.T., Brenning N., Lundin D., Helmersson U. High power impulse magnetron sputtering discharge // J. Vac. Sci. Technol. A. 2012. Vol. 30, No. 3. Art. 030801.

[7] Minami T. Transparent conducting oxide semiconductors for transparent electrodes // Semicond. Sci. Technol. 2005. Vol. 20, No. 4. P. S35–S44.

[8] Nomura K., Ohta H., Takagi A., Kamiya T., Hirano M., Hosono H. Room-temperature fabrication of transparent flexible thin-film transistors using amorphous oxide semiconductors // Nature. 2004. Vol. 432. P. 488–492.

[9] Yuasa S., Nagahama T., Fukushima A., Suzuki Y., Ando K. Giant room-temperature magnetoresistance in single-crystal Fe/MgO/Fe magnetic tunnel junctions // Nature Materials. 2004. Vol. 3. P. 868–871.

[10] Strukov D.B., Snider G.S., Stewart D.R., Williams R.S. The missing memristor found // Nature. 2008. Vol. 453. P. 80–83.

ЗАРЯДОВЫЕ И СПИНОВЫЕ СОСТОЯНИЯ АТОМОВ МАРГАНЦА И ХРОМА В КРЕМНИИ

Н.Ф. Зикриллаев[а], Б.К. Исмайлов[б], Г.Р. Абдреймова[б] ,Ф.Э. Уракова[а]

[а]*Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан, 100095, г. Ташкент, ул. Университетская,*

[б]*Каракалпакский государственный университет, Каракалпакстан, 230100, г. Нукус, ул. Ч. Абдирова,* e-mail: g8723180@gmail.com

Кремний, легированный переходными 3d-металлами, рассматривается как основа магнитных полупроводников для спинтроники [1]. В кремнии с нанокластерами атомами марганца обнаружены ферромагнетизм и гигантское отрицательное магнитосопротивление [2]. Показано также, что магнитные свойства кремния легированние с парамагнитными примесями Cr, Mn, Fe, Ni и Co существенно зависят от зарядового, а, следовательно, и спинового состояния этих атомов. Согласно модели Людвига–Вудбери, у междоузельных ионов 3d-металлов в кремнии все валентные электроны находятся на 3d-оболочке, поэтому спин иона определяется его зарядом: для атомов марганца (Mn_i) S = 1; 3/2; 2 и 5/2 в состояниях –, 0, + и ++, для атомов хрома (Cr_i) S = 2 (Cr^0) и 5/2 (Cr^+). Энергетические уровни атомов Mn_i: в кремнии имеет следующие значения E_c–0,12 эВ (–/0), E_c–0,42 эВ (0/+) и E_v+0,30 эВ (+/++); Примесные атомы Cr_i создаёт донорный уровень E_c–0,22 эВ (0/+) [9, 10]. Поскольку энергетический уровень хрома лежит выше уровней марганца, атомы хром и может служить как «донорые электроном», управляющим зарядовым и спиновым состоянием атомов марганца.

В данной работы приведеные результаты расчётов зарядовых и спиновых состояний атомов Mn и Cr в кремнии при совместном легировании и определение условий управления эффективным магнитным моментом.

Расчёт были выполнены для одиночных междоузельных ионов при температуре T=300 K (g = 2) без учёта образования нанокластеров и пар с атомами бора, т. е. для состояния сразу после закалки. Исходный материал был кремний марки КДБ-40 (N_B = 3,4·10^{14} см$^{-3}$), диффузия атомов марганца проводилась при 1050 °C (N_{Mn} = 2,5·10^{14} см$^{-3}$), диффузия атомов хрома проводилась в интервале температур T=1000–1200 °C; для сравнения полученных результатов использовались исходнные образцы кремния марки КЭФ-10. Расчёты выполнены в среде MATLAB (GNU Octave).

Параметры диффузии приведены в табл-1. Глубина диффузии атомов Cr за t=1 ч составляет 1,3–2,3 мм, т. е. образцы кремния я с тольшиной 1мм легируются однородно, а концентрация определяется температурой диффузии. Растворимость атомов Cr во всём диапазоне температуры диффузии несколько ниже чем растворимости атомов Mn.

Таблица-1. Параметры диффузии примесных атомов хрома и марганца в кремнии

T, °C	D_{Cr}, см^2/с	N_{Cr}, см$^{-3}$	D_{Mn}, см^2/с	N_{Mn}, см$^{-3}$	x_{Cr} (t=1 ч), мм
1000	$1{,}10\cdot10^{-6}$	$9{,}6\cdot10^{13}$	$1{,}86\cdot10^{-6}$	$1{,}2\cdot10^{14}$	1,26
1050	$1{,}55\cdot10^{-6}$	$1{,}9\cdot10^{14}$	$2{,}91\cdot10^{-6}$	$2{,}5\cdot10^{14}$	1,50
1100	$2{,}14\cdot10^{-6}$	$3{,}5\cdot10^{14}$	$4{,}40\cdot10^{-6}$	$4{,}9\cdot10^{14}$	1,75
1150	$2{,}87\cdot10^{-6}$	$6{,}3\cdot10^{14}$	$6{,}47\cdot10^{-6}$	$9{,}1\cdot10^{14}$	2,03
1200	$3{,}79\cdot10^{-6}$	$1{,}1\cdot10^{15}$	$9{,}28\cdot10^{-6}$	$1{,}6\cdot10^{15}$	2,34

Эффективный магнитный момент атомов Mn_i ступенчато уменьшается смещением уровня Ферми E_F: 5,92 → 4,90 → 3,87 → 2,83 μ_B при пересечении уровней (рис. 1а). Магнитный момент атомов Cr_i меняется лишь вблизи энергии E_c–0,22 эВ. Следовательно, во всём интервале изменение положения энергии Ферми E_v+0,3…E_c–0,22 эВ атомы хрома остаётся в состоянии Cr^+ (S = 5/2), тогда как атомы арганец проходит состояния $Mn^{++} \rightarrow Mn^+ \rightarrow Mn^0$.

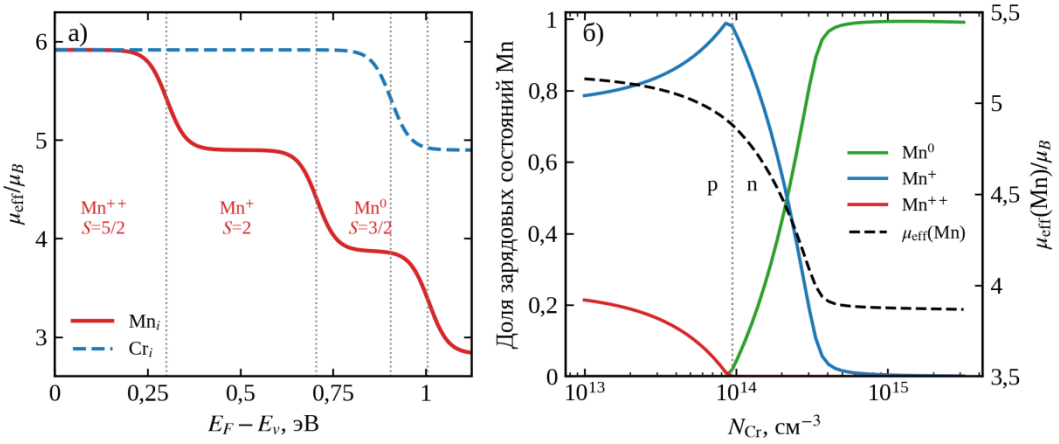


Рис. 1. а-Эффективный магнитный момент ионов Mn_i и Cr_i в зависимости от положения уровня Ферми (T=300 К); б-доли зарядовых состояний атомов Mn и средний магнитные момент Mn в образцах кремния Si<B,Mn> (КДБ-40) в зависимости от концентрации атомов Cr.

В образцах кремния Si<B,Mn> уровень Ферми находится при E_v+0,33 эВ, и атомы марганеца находится в состояниях Mn^+ (76 %) и Mn^{++} (24 %) со средним магнитним моментом 5,16 μ_B (табл-2). При введении примесных атомов хрома его электроны переходят на уровни Mn: при концентации $N_{Cr} \approx 9\cdot10^{13}$ см$^{-3}$ происходит инверсия типа проводимости p → n (рис. 1б). При концентрации атомов хрома N_{Cr} = $3{,}5\cdot10^{14}$ см$^{-3}$ (T=1100 °C) 92 % атомов марганца переходит в состояние Mn^0, а магнитный момент Mn снижается до 3,96 μ_B. При этом сам атомы хрома находится в состоянии Cr^+ с моментом 5,9 μ_B, поэтому суммарная постоянная Кюри возрастает в 1,4–6 раз. В n-Si (КЭФ-10) атомы марганеца находится в состоянии Mn^0 независимо от содержания атомов хрома.

Таблица-2. Расчётные параметры образцов при T=300 К (N_{Mn} = 2,5·10^{14} см$^{-3}$)

Образец	N_{Cr}, см$^{-3}$	Тип	E_c–E_F, эВ	Основное состояние Mn	μ_{eff}(Mn)/μ_B	ρ, Ом·см	C, 10^{-9} emu·К/см^3
Si<B,Mn> (КДБ-40)	–	p	0,80	Mn^+ (76 %)	5,16	458	1,38
Si<B,Cr>	3,5·10^{14}	n	0,38	–	–	419	2,56
Si<B,Mn,Cr>, 1000 °C	9,6·10^{13}	n	0,52	Mn^+ (97 %)	4,88	7,4·10^4	1,93
Si<B,Mn,Cr>, 1100 °C	3,5·10^{14}	n	0,36	Mn^0 (92 %)	3,96	160	3,37
Si<B,Mn,Cr>, 1200 °C	1,1·10^{15}	n	0,28	Mn^0 (99 %)	3,88	7,5	8,40
Si<P,Mn> (КЭФ-10)	–	n	0,28	Mn^0 (99 %)	3,88	10	0,78
Si<P,Mn,Cr>, 1100 °C	3,5·10^{14}	n	0,27	Mn^0 (99 %)	3,87	6,1	3,24

Расчеты показали, что значения эффективного магнитного момента равно C ~ 10^{-9} emu·К/см^3, т. е. парамагнитная восприимчивость при T=4,2 К (~10^{-9}) на два порядка меньше чем диамагнитной восприимчивости кремния. Поэтому экспериментальная проверка теоретические расчетов требует использования наблюдается метода ЭПР: в образцах Si<B,Mn> ожидаются наблюдать спектры ионов Mn^+ и Mn^{++}, а в образцах Si<B,Mn,Cr> поученные в интервале температур T=1100–1200 °C – наблюдается спектры Mn^0 и Cr^+. Следует также учитывать, что при комнатной температуре ионы Cr_i^+ и Mn_i^+ образуют пары с атомами бора (уровень CrB – E_v+0,27 эВ) [10], что со временем уменьшает долю одиночных ионов.

Таким образом, совместное легирование кремния p-типа примесними атомами марганца и хрома позволяет управлять зарядовым и спиновым состоянием атомов марганца и атомы хрома, являясь более мелким донором, переводит атомов Mn из состояний Mn^{++}/Mn^+ (S = 5/2, 2) в Mn^0 (S = 3/2), уменьшая магнитный момент Mn на 25 % при одновременном росте суммарного парамагнетизма за счёт ионов Cr^+.

Литература

1. Dietl T., Ohno H. Dilute ferromagnetic semiconductors: Physics and spintronic structures // *Rev. Mod. Phys.* — 2014. — Vol. 86. — P. 187–251.

2. Bakhadyrkhanov M.K., Iliev Kh.M., Mavlonov G.Kh. et al. Silicon with magnetic nanoclusters of manganese atoms as a new ferromagnetic material // *Tech. Phys.* — 2019. — Vol. 64, № 3. — P. 385.

ОБРАЗОВАНИЕ НАНОЧАСТИЦ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ МЕДНОЙ МИШЕНИ В ВОДЕ

[1] А.Г. Анисович, [2] М.И. Маркевич, [3] В.И. Журавлева, [4]Б.Е. Умирзаков,
[4] А.А. Абдувайитов, [4]К.Б. Эгамбердиев, [4]Х.Х. Болтаев.
[1] Институт прикладной физики НАН Беларуси
[2] Физико-технический институт НАН Беларуси
[3] Военная академия Республики Беларусь
[4] Ташкентский государственный технический университет

В настоящее время большое внимание уделяется вопросам производства наночастиц (НЦ) в процессе лвзерной абляции в жидких средах (*англ. Laser ablation in liquid*). Имеется большое количество работ химико-физического плана, создаются нанотехнологии для приложений наноэлектроники, медицине [1-3].

Безусловно, начальные стадии лазерной абляции являются определяющими при синтезе коллоидных растворов наночастиц. На этих стадиях происходит поглощение лазерного излучения, нагрев мишени и жидкости, образование плазмы, затем зарождение и осцилляции кавитационного пузырька, его схлопыванием и образованием наночастиц. На более поздних этапах протекают процессы трансформации наночастиц [4,5].

Эффективность лазерного воздействия на мишени в жидких средах зависит не только от плотности мощности лазерного излучения, но в значительной мере зависит от частоты повторения лазерных импульсов. При частотах повторения лазерных импульсов более 5 кГц происходит преимущественное образование эрозионной плазмы, которая способна экранировать мишень от последующего падающего лазерного излучения, что уменьшает энерговклад в мишень и приводит к ограничению возможности лазерной обработки. Эффективность синтеза коллоидных растворов наночастиц значительно улучшается при воздействии двух лазерных импульсов, разделенных интервалом несколько микросекунд [6]. С учетом этого нами и был выбран режим двухимпульсного лазерного воздействия на мишень меди с разделенным интервалом 3 мкс.

Для ряда металлов состав наночастиц при лазерной абляции совпадает с составом мишени. Для химически активных металлов при взаимодействии с парами жидкости формируются не только наночастицы металлов, но и их окислов. При абляции медной мишени в воде формируются не только наночастицы меди, но и наночастицы CuO или Cu_2O.

Цель работы – получение коллоидных растворов наночастиц меди и ее оксидов, исследование морфологии наночстиц и абсорбционных свойств сформированных коллоидных растворов.

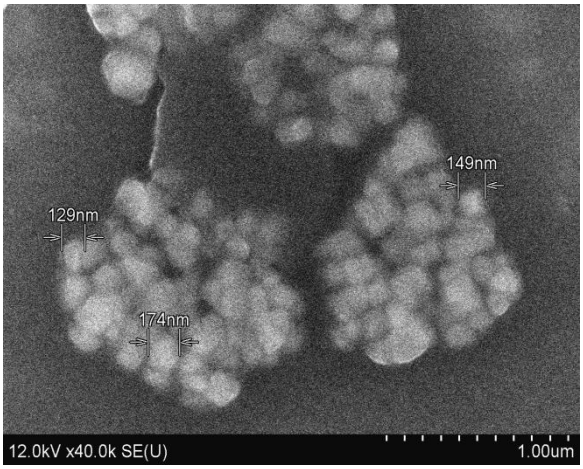
Синтез наночастиц меди производился лазером на алюмоиттриевом гранате (LS-2134D) в водной среде. В качестве мишени использовали медную пластину (20×10×10 мм). Пластина была отпалирована до шероховатости (R_a) около 600 nm и промыта деионизованной воде в ультразвуковой ванне. Пластину погружали в сосуд с дистиллированной водой, который вращался. Вращение сосуда применялось для перемешивания раствора в процессе синтеза для уменьшения рассеяния на кавитационных пузырьках и удалении наночастиц из зоны облучения. Для обработки материала использован лазер на алюмоиттриевом гранате (LS-2134D) с длиной волны 1064 нм, генерирующий в двухимпульсном режиме (импульсы разделены временным интервалом 3 мкс, длительность импульсов 10нс, частота следования импульсов 10Гц, энергия одиночного импульса~ 0,05Дж). Образованная в результате испарения материала мишени под действием первого импульса абляционная плазма создает в приповерхностном слое область с повышенной температурой и пониженной плотностью частиц материала, что приводит к более полному использованию энергии второго импульса для лазерной

абляции [6]. Мишень из меди обрабатывали лазерным излучением с плотностью мощности $3 \cdot 10^7$ Вт/см^2 при времени экспозиции 5 минут.

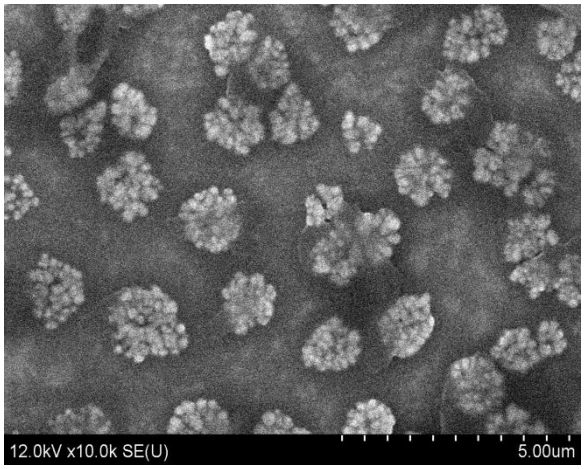
Исследования формы и размеров синтезированных наночастиц проводились на растровом электронном микроскопе S-4800 (фирма «HITACHI», Япония), исследования оптических свойств проводилось на спектрофотометре «Cary 500» (Varian, США).

Для исследования спектров поглощения коллоидных растворов использовали метод абсорбционной спектроскопии. Измерения осуществлялись на спектрофотометре «Cary 500» (Varian, США) при комнатной температуре в диапазоне длин волн от 200 до 1250 нм в кварцевой кювете.

На рисунке 1 приведены микрофотографии, наночастиц меди, полученных с помощью СЭМ при различных увеличениях.



а)

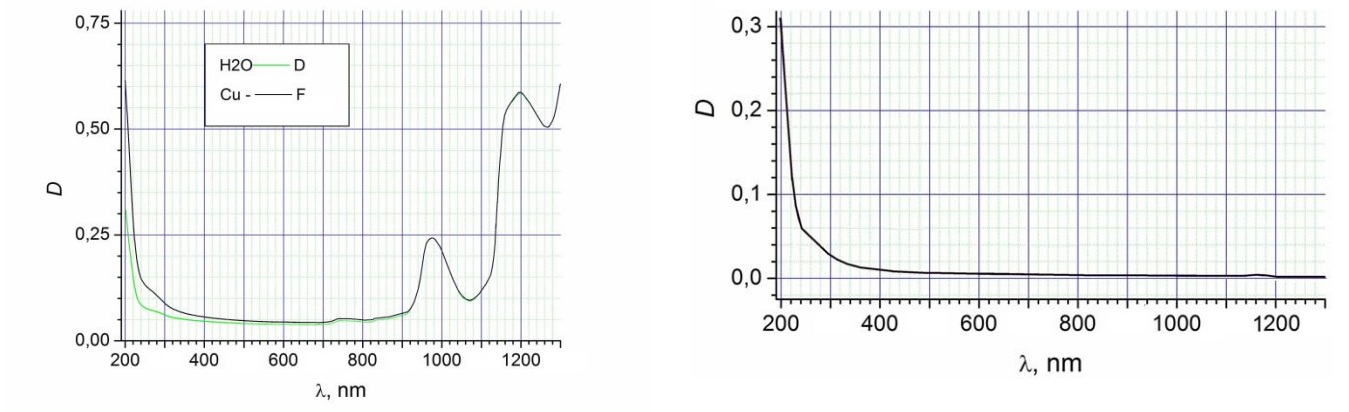


б)

Рисунок 1. Морфология поверхности наночастиц меди: время воздействия 5 мин., плотностью мощности $3 \cdot 10^7$ Вт/см^2 .

На рисунке 1 наблюдаются наночастицы анизотропной формы (несферической). Частицы имеют сложную многоугольную форму и в процессе агрегации образовали кластеры. Они могут образовываться в среде по многим причинам (ван-дер-ваальсовых сил, электростатических взаимодействий, наличия примесей и др.). В процессе формирования нанокластеров происходит снижение общей энергии системы.

Размер большей части частиц составляет в примерно 120 – 150 нм по ширине и длине. Размер отдельных кластеров варьируется от 890 нм до 1,4 мкм.



а) б)

Рисунок 2. Спектр оптической плотности коллоидного раствора наночастиц меди в воде в зависимости от длины волны. а) спектр коллоидного раствора с наночастицами меди; б) разностный спектр (вычтен спектр воды).

На рисунке 2 а) приведено изменение оптической плотности коллоидного раствора с наночастицами меди от длины волны (черная линия соответствует суммарному эффекту). На рисунке 2 б) приведено изменение оптической плотности от длины волны для наночастиц меди.

В ИК области наблюдаются максимумы в оптической плотности. Ядра молекул вдали от фиксированных положений по отношению друг к другу находятся в непрерывном колебательном состоянии.

Движения ядер при колебаниях ν_1 (OH) и ν_3 (OH) происходят почти вдоль направления связей O-H, при колебаниях ν_2 (OH) ядра водорода (H) движутся в направлении почти перпендикулярных связям O-H.

Гидроксильная группа -OH способна сильно поглощать спектр в ИК-области спектра. Вследствие свой полярности эти группы обычно взаимодействуют друг с другом или с другими полярными группами, образуя внутрии межмолекулярные водородные связи. Гидроксильные группы, не участвующие в образовании водородных связей, дают в спектре узкие полосы, а связанные группы – интенсивные широкие полосы поглощения в области 0,7- 2 мкм.

На рисунке 2 б) не наблюдается плазмонного пика от наночастиц меди (из результирующего спектра вычтен спектр воды). Отсутсвие плазмонного пика в полученном коллоидном растворе позволяет утверждать, что большинство медных частиц окислились.

Проведен синтез коллоидных растворов наночастиц при лазерной абляции медной мишени в дистиллированной воде.

Проведено исследование морфологии наночастиц меди, полученных в процессе абляции медной мишени в водной среде излучением лазера на алюмоиттриевом гранате (LS-2134D) с длиной волны 1064 нм, генерирующего в двухимпульсном режиме (импульсы разделены временным интервалом 3 мкс, длительность импульсов 10нс, частота следования импульсов 10Гц, энергия одиночного импульса~ 0,05Дж) плотность мощности составляла 3.107-108Вт/см2 при времени экспозиции 5 мин.

Показано, что в результате лазерной абляции формируются наночастицы анизотропной формы (несферической). Частицы имеют сложную многоугольную форму и в процессе агрегации образуют кластеры. Размер большей части наночастиц составляет в примерно 120 – 150 нм по ширине и длине. Размер отдельных кластеров варьируется от 890 нм до 1,4 мкм. Результаты абсорбционной спектроскопии показали отсутсвие плазмонного пика в полученном коллоидном растворе, что

позволяет утверждать, что большинство медных частиц окислились.

Литература

1. Макаров, Г.Н. Применение лазеров в нанотехнологии: получение наночастиц методом лазерной абляции /Г.Н. Макаров//Усп.физ. наук.-2013.-Т.183.-№7.-с .688.

2. Воробьев, В.С. Плазма, возникающая при взаимодействии лазерного излучения с твердыми мишенями / В.С. Воробьев // УФН. 1993. Т. 163(12). С. 51–83.

3. Симакин А. В., Воронов В. В., Шафеев Г. А. Образование наночастиц при лазерной абляции твердых тел в жидкостях // Труды института общей физики им. Прохорова, 2004. -Т. 60.- С. 83-107.

4. Иногамов, Н.А. Физические процессы при лазерной абляции в жидкость/Н.А. Иногамов, В.В. Жаховский, В.А.Хохлов//Письма в ЖЭТФ.-2022.-Т.115.-вып.1.-с.20-27.

5. Казилин, Е.Е., Маркевич, М.И., Конкин, С.В., Чапланов, А.М., Фолманис, Г.Э., Иванов, Л.И., Коваленко, Л.В. Исследование коллоидных растворов селена, созданных по лазерной технологии /Е.Е. Казилин, М.И. Маркевич, С.В. Конкин, А.М. Чапланов, Г.Э. Фолманис, Л.И. Иванов, Л.В. Коваленко // Перспективные материалы, 2008.-№3.- С. 60-63.

6. Анисович А.Г. Маркевич М.И., Журавлева В.И., Жигулин Д.В. Диагностика поверхности графлекса после лазерного воздействия //Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики, аэрокосмических технологий и физики конденсированного состояния», 22-23 мая 2025 года, Минск: НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ, 2025.-С. 382-384.

TERMOELEKTRIK MATERIALLARDA QUVVAT OMILINI KUCHAYTIRISHNING ELEKTRON-STRUKTURAVIY MEXANIZMLARI

X.M. Madaminov, F.L. Omonboyev, A.D. Abdulhamidov.
Andijon davlat universiteti, Andijon, 170100, Universitet ko‘chasi, 129.

Termoelektrik samaradorlikni ifodalovchi ZT uchta asosiy va o‘zaro bog‘langan kattalikka tayanadi: Seebeck koeffitsiyenti, elektr o‘tkazuvchanlik va issiqlik o‘tkazuvchanlik. Ushbu parametrlarning har biri materialdagi zaryad hamda issiqlik tashilish jarayonlarining muayyan tomonini ifodalaydi. Ulardan ixtiyoriy biridagi o‘zgarish ko‘pincha qolgan parametrlarning qiymatiga ham ta’sir qiladi. Masalan, zaryad tashuvchilar konsentratsiyasini o‘zgartirish elektr o‘tkazuvchanlikni oshirishi mumkin, biroq ayni vaqtda Seebeck koeffitsiyentining kamayishiga olib kelishi ehtimoli mavjud. Shu bois katta qiymatli ZT ga erishish ushbu kattaliklardan faqat bittasini yaxshilash bilan cheklanmay, ularning o‘zaro nisbatini bir vaqtning o‘zida maqbullashtirishni talab etadi [1–5].

Seebeck koeffitsiyenti va elektr o‘tkazuvchanlik, asosan, elektron transport xossalarini tavsiflasa, panjara issiqlik o‘tkazuvchanligi fononlar orqali issiqlik tashilishi bilan belgilanadi va elektron transport bilan bevosita bog‘liq emas. Shu jihatdan panjara issiqlik o‘tkazuvchanligini boshqarish termoelektrik xossalarni optimallashtirish uchun nisbatan mustaqil imkoniyat yaratadi. Amaliy jihatdan panjara hissasini kamaytirish termoelektrik samaradorlikni oshirishning samarali yo‘llaridan biridir. Bunday yondashuv, ayniqsa, sof holatda issiqlik o‘tkazuvchanligi nisbatan yuqori bo‘lgan PbTe va $CoSb_3$ kabi birikmalarda sezilarli samara beradi.

Issiqlik oqimini cheklash uchun fononlarning sochilishini kuchaytiradigan turli strukturaviy mexanizmlardan foydalaniladi. Kristall panjaradagi tarkibiy tartibsizlik, fazalararo chegaralar, nanoo‘lchamli qo‘shilmalar va donalararo chegaralar fononlarning erkin harakatiga to‘sqinlik qilib, ularning o‘rtacha erkin yo‘l uzunligini qisqartiradi. Biswas va hammualliflar PbTe da qattiq eritma tartibsizligi, nanocho‘kmalar hamda donalararo chegaralarning birgalikdagi ta’siridan foydalangan. Shu

yo‘l bilan xona haroratidagi issiqlik o‘tkazuvchanlikni ikki marta kamaytirib, 2.8 W/mK dan taxminan 1.4 W/mK gacha pasaytirishga erishilgan [6-7]. Bu natija issiqlik transportini turli uzunlik masshtablarida bir vaqtda boshqarish mumkinligini ko‘rsatadi.

PbTe uchun qayd etilgan deyarli ikki karra pasayish ZT ning ham taxminan ikki baravar ortishiga olib kelib, yuqori haroratlarda ZT ≈ 2.3 qiymatiga erishish imkonini bergan. Intermetall yarimo‘tkazgichlarda vaziyat boshqacharoq. Masalan, FeVAl da panjara issiqlik o‘tkazuvchanligi taxminan 10 W/mK bo‘lib, aynan shu kattalik termoelektrik samaradorlikni sezilarli darajada cheklaydi. Bunday tizimlarda fononlarning kristall panjara bo‘ylab samarali tarqalishi issiqlik oqimining ortishiga sabab bo‘ladi. Kristall panjaraga tartibsizlik kiritadigan qattiq eritma hosil qilish esa fononlarning sochilish ehtimolini oshirib, issiqlik tashishdagi hissasini kamaytiradi. Shu bois qattiq eritmalar hosil qilish bunday materiallarda fonon transportini susaytirishning istiqbolli usullaridan biri sanaladi [8].

$CoSb_3$ uchun yana bir imkoniyat kristall panjaradagi mavjud bo‘shliqlarga og‘ir atomlarni kiritish bilan bog‘liq. Bunday atomlar panjarada qo‘shimcha tebranish markazlarini hosil qilib, fononlarni kuchli sochadi, zaryad tashuvchilarning elektron transportiga esa nisbatan kam ta’sir ko‘rsatadi [9]. Natijada fonon va elektron transport mexanizmlarining o‘zaro bog‘liqligi ma’lum darajada susayadi. Bu esa issiqlik va elektr transportini nisbatan mustaqil ravishda boshqarish hamda termoelektrik parametrlar orasidagi odatiy murosani yumshatish imkonini beradi.

Biroq fonon sochilishini kuchaytirishga asoslangan usullarning o‘z fizik cheklovlari mavjud. Nuqsonlar panjara issiqlik o‘tkazuvchanligini kamaytirsa-da, ularning ortiqcha miqdori zaryad tashuvchilarning harakatchanligini pasaytirib, elektr o‘tkazuvchanlikni yomonlashtirishi mumkin. Chunki kristall panjaradagi tartibsizlik fononlar bilan bir qatorda elektronlar va kovaklarning sochilishini ham kuchaytirishi ehtimoli bor.

Bunday holatda issiqlik o‘tkazuvchanlikning kamayishidan olinadigan yutuq elektr transportining yomonlashuvi bilan qoplanib, ZT ortish o‘rniga kamayishi mumkin. Bundan tashqari, fononlarning erkin yo‘l uzunligi allaqachon juda kichik bo‘lgan sharoitda qo‘shimcha sochilish markazlari issiqlik transportini avvalgidek samarali susaytira olmaydi.

Fononlarning o‘rtacha erkin yo‘l uzunligi panjara parametriga yaqinlashganda [10–12], panjara issiqlik o‘tkazuvchanligining fizik quyi chegarasi namoyon bo‘ladi. Bunday holatda fonon transportini qo‘shimcha ravishda cheklash imkoniyati keskin kamayadi va strukturaviy nuqsonlar kiritishning samarasi tobora pasayib boradi. Mazkur chegara issiqlik o‘tkazuvchanlikni pasaytirish hisobiga ZT ni qanchalik oshirish mumkinligini ham belgilab beradi. Shu sababli panjara issiqlik o‘tkazuvchanligi dastlabdan kichik bo‘lgan materiallarda termoelektrik samaradorlikni yanada oshirishning asosiy zaxirasi elektron quvvat omilini, ya’ni Seebeck koeffitsiyenti va elektr o‘tkazuvchanlikning maqbul nisbatini yaxshilash bilan bog‘liq bo‘ladi.

Panjara hissasi kamaygan chegarada ZT ning mumkin bo‘lgan qiymatini baholash uchun Wiedemann-Franz qonunidan foydalanish qulay. U elektr o‘tkazuvchanlik bilan elektronlarning issiqlik o‘tkazuvchanligi orasidagi bog‘lanishni quyidagicha ifodalaydi:

$$\sigma = \frac{\kappa_e}{LT}$$

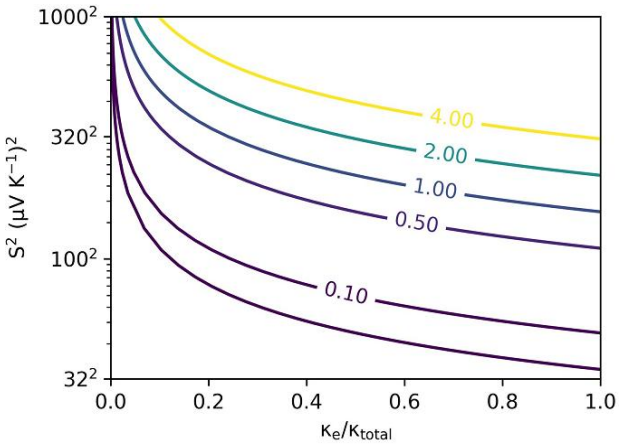
$$ZT = \frac{S^2\sigma}{\kappa}T = \frac{S^2}{\kappa}\frac{\kappa_e}{LT}T$$

$$ZT = \frac{S^2}{L}\frac{\kappa_e}{\kappa}$$

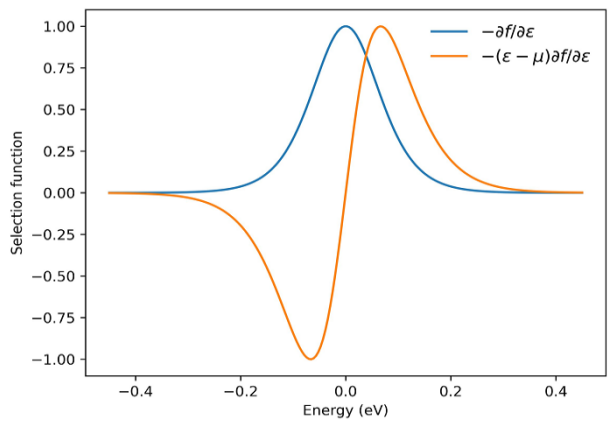
bu yerda κ_e — elektronlarning issiqlik o‘tkazuvchanligi, L — Lorens soni bo‘lib, u 2.45×10^{-8} WΩ/K^2 ga teng.

Bu munosabat ZT ning Seebeck koeffitsienti hamda elektron issiqlik o‘tkazuvchanligining umumiy issiqlik o‘tkazuvchanlikdagi ulushi bilan belgilanishini ko‘rsatadi. Metallarda mazkur ulush deyarli 1 ga teng; shu bois ularning termoelektrik samaradorligini ko‘p jihatdan Seebeck koeffitsienti chegaralaydi. Metallarda Seebeck koeffitsienti odatda kichik qiymatga ega.

Yarimo‘tkazgichlarda esa Seebeck koeffitsienti kattaroq bo‘lishi mumkin, biroq umumiy issiqlik o‘tkazuvchanlikda panjara hissasi ko‘pincha ustun turadi. Yuqoridagi ifoda asosida ZT ning Seebeck koeffitsienti va elektron issiqlik o‘tkazuvchanligi ulushiga bog‘liqligi 1-rasmda ko‘rsatilgan. $\frac{\kappa_e}{\kappa} \approx 1$ shartida ZT ni oshirishning asosiy yo‘li Seebeck koeffitsientini ko‘paytirishdan iborat. Shu nuqtada termoelektrik birikmalarda elektron quvvat omilini yaxshilash masalasi markaziy o‘ringa chiqadi.



1-rasm. Termoelektrik samaradorlik ko‘rsatkichi ZT ning Seebeck koeffitsienti va elektron issiqlik o‘tkazuvchanlik ulushiga bog‘liqligi



2-rasm. Seebeck koeffitsienti va elektr o‘tkazuvchanlikni aniqlovchi tanlov funksiyalar

Elektron quvvat omilini oshirish masalasi elektr o‘tkazuvchanlik va Seebeck koeffitsientining elektron tasma tuzilishiga turlicha bog‘lanishini hisobga olishni talab qiladi. Ikkala kattalik ham elektron holatlar spektri bilan belgilanadi, biroq transport integralida ular bir xil vazn bilan qatnashmaydi. Buni Boltsman transport tenglamasi doirasida elektr o‘tkazuvchanlik va Seebeck koeffitsienti uchun yoziladigan ifodalardan ko‘rish mumkin.

Agar elektr o‘tkazuvchanlik quyidagicha bo‘ladi deb qarasak:

$$\sigma \sim \int d\varepsilon g(\varepsilon)\left(-\frac{\partial f}{\partial \varepsilon}\right)$$

bu yerda f - Fermi–Dirak taqsimot funksiyasi. Ushbu ifoda Seebeck koeffitsienti uchun quyidagi ifodadan farq qiladi:

$$S \sim \int d\varepsilon \frac{G(\varepsilon)(\varepsilon-\mu)\frac{\partial f}{\partial \varepsilon}}{G(\varepsilon)\frac{\partial f}{\partial \varepsilon}}$$

Shuni ko‘rish mumkinki, elektr o‘tkazuvchanlik Seebeck koeffitsienti ifodasiga maxraj orqali kiradi. Bundan tashqari, holatlar zichligi $G(\varepsilon)$ ning hissasi $-\frac{\partial f}{\partial \varepsilon}$ va $(\varepsilon-\mu)\frac{\partial f}{\partial \varepsilon}$ kabi vaznlovchi funksiyalar orqali tanlab olinadi. Yuqoridagi funksiyalar 2-rasmda mos ravishda $-\frac{\partial f}{\partial \varepsilon}$ va $(\varepsilon-\mu)\frac{\partial f}{\partial \varepsilon}$ ko‘rinishida tasvirlangan.

Fermi–Dirak taqsimot funksiyasining energiya bo‘yicha hosilasi Fermi sathi atrofidagi tor energetik diapazonda eng katta qiymatga ega bo‘lib, yoyilgan δ-funksiya sifatida qaraladi. Shundan kelib chiqadiki, transport hodisasiga asosiy ulush Fermi sathiga yaqin joylashgan elektron holatlar tomonidan qo‘shiladi.

Seebeck koeffitsiyenti bilan elektr o‘tkazuvchanlikning energiya bo‘yicha tanlanish xususiyati o‘zaro bir xil emas. Elektr o‘tkazuvchanlikka Fermi sathining ikkala tomonida joylashgan tashuvchilar hissa qo‘shadi, Seebeck koeffitsiyentida esa qarama-qarshi ishorali hissalarning muayyan qismi o‘zaro qoplanadi. Yuqori Seebeck koeffitsiyentiga erishish uchun holatlar zichligi energiya bo‘yicha keskin o‘zgarishi lozim, katta elektr o‘tkazuvchanlik esa holatlar zichligining yuqori mutlaq qiymatini talab etadi.

Ushbu talablar o‘zaro qarama-qarshi xarakterga ega. Ayniqsa, zaryad tashuvchilar transporti oddiy parabolik tasma modeli asosida ifodalanadigan tizimlarda ularni bir vaqtda ta’minlash murakkab. Termoelektrik xususiyatlarni yaxshilashdagi asosiy qiyinchilik ham elektr o‘tkazuvchanlik va Seebeck koeffitsiyentiga xos ana shu qarama-qarshi yo‘nalishlar bilan bog‘liq.

Adabiyotlar ro‘yxati

1. Wenhao Zhang. Understanding and Engineering the Thermoelectric Properties of Materials based on Orbital Chemistry and Theoretical Computations. 2023.
2. Omonboyev F., Mamadalimov A., Olimov L. Charge transfer processes in granulated Mg_3Sb_2 particles. E3S Web of Conferences 413, 04013, 2023.
3. Omonboyev F., Mamadalimov A. Thermoelectric properties of granular Mg_3Sb_2 particles. E3S Web of Conferences 462, 03013 (2023) AFE-2023.
4. Omonboyev F. Some thermoelectric properties of Mg_3Sb_2 particles. Annali d’Italia. №59 2024
5. Omonboyev F., Tishabayevich A. Microstructure and morphological properties of Mg_3Sb_2 thermoelectric material. Journal of nano- and electronic physics. V. 17. N. 3, pp. 03003.
6. Biswas K., He J., Blum I. D., Wu C.-I., Hogan T. P., Seidman D. N., Dravid V. P., Kanatzidis M. G. Nature 2012, 489, 414–418.
7. Nishino Y., Deguchi S., Mizutani U. Phys. Rev. B 2006, 74, 115115.
8. Anand S., Wood M., Xia Y., Wolverton C., Snyder G. J. Joule 2019, 3, 1226–1238.
9. Shi X., Yang J., Salvador J. R., Chi M., Cho J. Y., Wang H., Bai S., Yang J., Zhang W., Chen L. J. Am. Chem. Soc. 2011, 133, 7837-7846.
10. Kittel C. Phys. Rev. 1949, 75, 972-974.
11. Zeller R. C., Pohl R. O. Phys. Rev. B 1971, 4, 2029-2041.
12. Slack G. Journal of Physics and Chemistry of Solids 1973, 34, 321-335.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПАССИВИРУЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СВИНЦОВО-БОРОСИЛИКАТНЫХ СТЁКОЛ НА ВЕЛИЧИНУ ЭФФЕКТИВНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО ЗАРЯДА ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА КРЕМНИЙ – СТЕКЛО

Парчинский П.Б.
Доцент, Национальный Университет Узбекистана им. М. Улугбека.
Насиров А.А.
Доцент, Национальный Университет Узбекистана им. М. Улугбека.
Уралова Н.
Магистр, Национальный Университет Узбекистана им. М. Улугбека.

Легкоплавкие многокомпонентные стекла (боросиликатные, свинцово-боросиликатные, алюмо-свинцовосиликатные и другие) стёкла широко применяются в полупроводниковом приборостроении для пассивации поверхностей полупроводниковых приборов и структур и их герметизации. Их широкое использование обусловлено как хорошими изолирующими свойствами и высокой химической устойчивостью по отношению к внешним атмосферным воздействиям, так и простотой и технологической доступностью процессов нанесения стекла на полупроводниковую подложку. К достоинствам пассивирующих покрытий на основе легкоплавких стекол можно отнести так же низкую плотность поверхностного заряда на границе раздела полупроводник – пассивирующее покрытие и возможность управления величиной и знаком встроенного в стекло заряда путем изменения состава стекла и режимов процесса пассивации. Ранее нами было показано, что в объеме пассивирующих покрытий на основе свинцово-боросиликатных (СБС) стёкол наблюдается эффективный отрицательный заряд. В настоящей работе приводятся результаты исследования зависимости величины эффективного поверхностного заряда в объёме СБС стекла от технологических режимов нанесения стекла на кремниевую подложку.

Исследуемые в данной работе диэлектрические слои формировалась при нанесении СБС стекла на поверхность Si при помощи электрофореза из суспензии, содержащей мелкодисперсную шихту стекла, с последующим оплавлением и отжигом. Для приготовления шихты использовались свинцово-боросиликатные стёкла следующего состава (в массовых процентах) SiO_2 – 32 ÷ 27%, PbO – 43 ÷ 49%, B_2O_3 – 14 ÷ 15%, Al_2O_3 – 2 ÷ 2,6%, Ta_2O_5 – 0,9 ÷ 1,1%. В качестве положки использовались пластины n-Si (111) с удельным сопротивлением 60 ÷ 80 Ом×см. Температура оплавления составляла 680 ÷ 710 ^{0}C, время оплавления 10 минут, температура отжига 400 ^{0}C, время отжига 30 минут. Толщина получаемого стеклянного покрытия составляла (2 ÷ 3)×10^{-4} см.

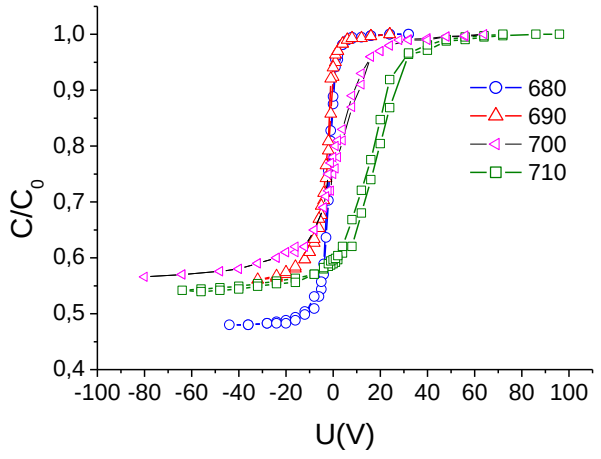


Рис. 1 Вольтфарадные характеристики МДП структур со слоем стела, полученным при различных температурах

Величина эффективного поверхностного заряда ($Q_{эф}$) определялась по сдвигу напряжения плоских зон высокочастотных вольт-фарадных (C-V) зависимостей тестовых структур Метал – СБС стекло –

Полупроводник. Тестовые структуры изготавливались путем напыления на поверхность стекла алюминиевого управляющего электрода площадью 0,01 см^2.

На рис. 1 представлены C-V зависимости исследуемых структур, измеренные в темноте, на частоте тестового сигнала 150 кГц при комнатной температуре. Из представленных зависимостей видно, что изменение температуры оплавления стекла ($T_{опл}$) существенным образом влияет на сдвиг C-V зависимостей по оси напряжений. Увеличение $T_{опл}$ ведет к сдвигу C-V зависимостей в сторону положительных напряжений, что свидетельствует об увеличении отрицательного заряда в объеме стекла.

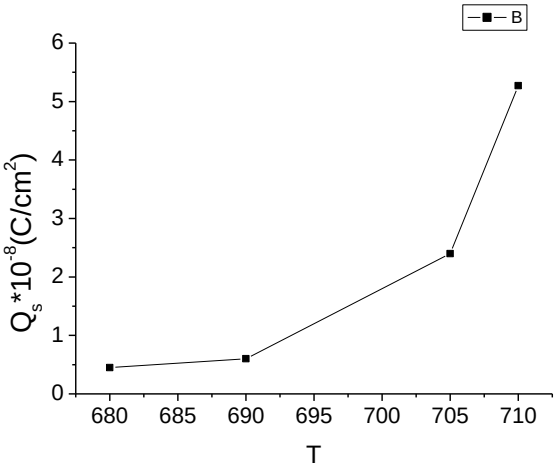


Рис. 2 Зависимость величины Q_s от температуры оплавления стекла

На рис 2 представлена зависимость величины Q_s от температуры оплавления стекла. Как следует из приведенных на рис. 2 данных, процесс формирования отрицательного заряда наиболее эффективно протекает при температурах формирования пассивирующего покрытия $T_{опл}$ >700 ^{0}C. Ранее было установлено наличие корреляции между величиной отрицательного эффективного поверхностного заряда на границе раздела Si - СБС стекло и содержанием кристаллической фазы в объеме стекла. Таким быстрый рост величины $Q_{эф}$ в структурах, полученных при температуре оплавления стекла свыше 700 ^{0}C может являться результатом повышения интенсивности процессов самопроизвольной кристаллизации стекла в процессе его оплавления.

Список литературы

1. Cong Zhong, Ao Li, Jingtao Yan, Qi Jiang, Rui Yang, Kejun Lu, Huidan Zeng Ceramics International v.48, p.32455–32463 (2022)
2. Akkasoglu, U., Sengul, S., Arslan, İ. et al. J Mater Sci: Mater Electron v.32, p.22629 (2021).
3. Parchinskiy P.B., Vlasov S.I., Nasirov A.A. Semiconductors, Vol. 38, №11, p.1304 . (2004)
4. Murakami S. J. Electrochem. Soc., v.41, №11, p.3193 (1994)
5. Parchinskiy P.B., Vlasov S.I., Turgunov U.T. Inorganic Materials, v.38, №6, p.621 (2002)
6. Vlasov S.I., Parchinskiy P.B., Olmatov B.A., Inorganic Materials, v.36, №5, p.608 (2000)

СВОЙСТВА СИНТЕТИЧЕСКИХ ПЪЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ

А.А.Мустафакулов[1], Э.А.Раббимов[2], М.Н.Мамажанова[3]
Джизакский политехнический институт, г.Джизак, Республика Узбекистан[1,2]
Студентка Корейского университети КИУТ, г.Ташкент, Узбекистан[3]

Введение: Известно, что при выращивании кристаллов кварца немаловажную роль играют и структурные особенности, физико-химические свойства затравочных материалов. Использование радиационных методов в сочетании с традиционными способами выращивания кристаллов позволяет изучить влияние структурных особенностей затравки, дефектов структуры и других факторов на физико-химические свойства выращиваемых материалов. Получение материалов с прогнозируемыми свойствами является одной из важнейших задач современной науки и техники. В связи с этим большое внимание уделяется синтезу и росту кристаллических веществ. Искусственный кварц широко применяется в современной оптике, радиотехнике и электронике. Он используется для изготовления призм спектрографов, монохроматоров, линз ультрафиолетовой оптики, а также пьезоэлектрических стабилизаторов частоты, фильтров, резонаторов и элементов ультразвуковых установок. Благодаря своим пьезоэлектрическим свойствам кристаллы кварца способны генерировать высокостабильные колебания в переменном электрическом поле, что делает их важным элементом высокочастотных генераторов и устройств связи.

Методы исследования: Синтетические кристаллы были выращены в научно-исследовательском институте синтеза минерального сырья (РНИИСИМС), в стальном автоклаве, под давлением 100 МПа, в 3% ном щелочном растворе NaOH , методом "температурного градиента", температура кристаллизации 340±10°С. Затравочные пластинки были предварительно облучены различными дозами нейтронного облучения. Затравки из кристаллов кварца, облученных флюенсом свыше 10^{20} н.$см^{-2}$ во время роста растворились. По-видимому, силная разупорядоченность структуры этих затравок не выдержали воздействия Р-Т-условий роста.

Результаты и обсуждения: Исследователям представляется интересным вопрос: имеющиеся дефекты на затравочной пластинке наследуются во время роста или нет? В [I] исследовано влияние термообработки и ориентации затравки на получения высокосовершенных кристаллов кварца. Показано, что 24-часовой отжиг при определенной температуре не влияет на получение бездислокационных кристаллов. Затравки из х-срезов дают более совершенные кристаллы, чем из Z - срезов. В [2] показано, что микродефекты наследуются эпитаксиальным слоем кремниевых структур. Отмечались, что эпитаксиальные дефекты упаковки располагаются как раз под областями свободными от микродефектов. Показана возможность того, что микродефекты служат своего рода гиттером, в поле действия, которого образуются области, свободная от центра микродефекта, приводящих к росту эпитаксиальных дефектов упаковки, если подобрать соответствующие условия. Таким образом, ростовые микродефекты могут положительно влиять на совершенство приповерхностных слоев кремниевых структур.

На вопрос о наследовании будет своеобразным ответом резко выраженная анизотропная скорость роста [2] и распределение примесей по пирамидам роста кварца , т.е. свойства быстрорастущих пирамид и способность захватить (те или иные) примеси, наследуются от затравки на наросшей кристалл. Показано, что двойники наследуются от затравочных пластин, причиной зарождения и развития двойников на монокристальной затравке является наличие крупной трещины в затравочной пластине (из малого ромбоэдра). Контуры двойников на поверхности грани полностью соответствуют направлению трещины в затравке. В [3] наоборот, показано, что бразильские двойники не наследуется от затравки, а возникают в процессе роста. Его источник находится на расстоянии 3 мм от затравки и причиной возникновения является значительное

пересыщение и низкая щелочность раствора.В [4] рассмотрено влияние наследованных дефектов, возникающих в пластической зоне - вокруг растущего включения новой фазы, на термодинамику фазового превращения. Показано, что пластическая деформация приводит к эффективному уменьшению гистерезиса лишь в том случае, когда она происходит не только в матрице, но и во включении. читанное напряженное состояние позволяет объяснить образования сферолитов при кристаллизации аморфных материалов.

В настоящее время наряду с традиционными методами широкое применение находят и методы синтеза кристаллических и других материалов под действием радиации [5] и на облученных затравках, что в раде случаев имеют бесспорные преимущества. Использование радиационных методов в сочетании с традиционными способами выращивания кристаллов позволяет изучить влияние структурных особенностей затравки, дефектов структуры и других факторов на физико-химические свойства выращиваемых материалов. Результаты этих исследований и исследований кристаллов облученных нейтронами, ионами различных энергий, производяший радиационно-индуцированного повреждения, метамиктизация, стеклообразования структуры α-кварца [6], позволяют выяснить механизм радиационно-стимулированных фазовых превращений, физических процессов и условий облучения, обеспечивающих реализацию тех или иных структурных состояний и углубляет наши представления о механизме радиационного дефектообразования в кристаллах.

В [7,8] с этой целью были выращены кристаллы кварца на затравках, облученных флюенсами нейтронов $10^{18}, 5.10^{18}, 10^{19}, 5.10^{19}$ н.см$^{-2}$ и 1.10^{20} н.см$^{-2}$. Исследование показало, что качество и совершенность кристаллов, выращенных на нейтронно-облученной флюенсом 10^{18} н.см$^{-2}$ и необлученной затравках практически не отличаются друг от друга. Однако в кристаллах, выращенных на затравках, облученных флюенсами $5.10^{18}, 10^{19}$ и 5.10^{19} н.см$^{-2}$ наблюдается образование и увеличение количества трещин, нарушение однородности с ростом флюенса нейтронов. В [8] сделано предположение, что созданные нейтронным облучением точечные дефекты приводят к несоответствию параметров кристаллической решетки затравки и наросшего на ней слоя (гетереометрии), которое обуславливает появление трещин. Однако более поздние исследования показали, что в кристаллах, облученных в указанном интервале флюенсов, наряду с образованием точечных дефектов, наблюдается образование и увеличение количества высокотемпературной β- фазе с ростом дозы облучения [7].

Поэтому для исследования возможности наследования радиационно-наведенных точечных дефектов, β - и других фаз наросшим слоем и зависимости оптических и структурных свойств выращенных кристаллов от типа наследованных дефектов структуры проведены эксперименты по выращиванию кристаллов кварца на затравочных пластинках <c>, <r> и < z> срезов, облученных флюенсами нейтронов $10^{17} \div 5.10^{20} см^{-2}$ [8-11].

На наш взгляд исследование структуры кристаллов кварца, выращенных на нейтронно-облученных затравках структурно-чувствительными методами, например рентгеноструктурным анализом, позволяет выяснить механизм α- β - перехода благодаря следующим обстоятельствам.

Если α- β - переход происходит под действием нейтронного облучения, то когда в кристаллах, выращенных на затравках, облученных флюенсами нейтронов 5.10^{18}, 10^{19} и 5.10^{19} н.см$^{-2}$, методом рентгеноструктурного анализа невозможно обнаружить β- фазу. В случае, когда фазовый α- β переход осуществляется через образования зародышей β- фазы и β - фаза наследуется наросшим слоем, то она наблюдается и в кристаллах, выращенных на затравках, облученных вышеуказанными флюенсами нейтронов. При этом должна наблюдаться зависимость количества β - фазы от дозы облучения затравки и его увеличение с ростом флюенса нейтронов.

На рис.1 приведены внешний вид кристаллов кварца, выращенных на затравках, облученных флюенсами нейтронов $10^{18} \div 5.10^{19} н.см^{-2}$. Из рис.1 видно, что качество и совершенность кристаллов, выращенных на нейтронно-облученной флюенсом 10^{18} н. $см^{-2}$ и необлученных затравках, практически не отличаются друг от друга. Однако в кристаллах, выращенных, на затравках, облученных флюенсами $5.10^{18}, 10^{19}, 5.10^{19} н.см^{-2}$ *и* 1.10 ^{20}н.$см^{-2}$ наблюдается образование и увеличение количества трещин, нарушение однородности с ростом флюенса облучения [12-15].

г в б а

(Рис.1. Общий, вид кристаллов кварца, выращенных на необлученной (а) и нейтронно облученных затравках флюенсами 10^{18},(б),10^{19}(в), $5.10^{19} н.см^{-2}$(г) кристаллов кварца.)

Выводы: Для выяснения механизма α- β - перехода и закономерностей наследования наросшим слоем радиационно-наведенной β - фазы кварца различными методами была исследована структура кристаллов кварца, выращенных на нейтронно-облученных затравках . Показано, что наличие β – фазы кварца в наросшим слое и увеличение ее количества с ростом дозы облучения затравок подтверждает предположение о том, что α - β – переход при нейтронном облучение происходит через образования зародышей β – фазы. Обнаружен эффект «радиационной наследственности» в кристаллах, выращенных на нейтронно-облученных затравках. Получена устойчивая при комнатной температуры β – фазы кварца.

Литература

1. Armington A.F., LarkinJ.J.,O’Connor J.J., Cormier J.E. et all. Effect of seed treatment of quartz dislocatins.Proc. 37 annu. Fred. Conf.symp., Philadelpha. Pa.1-3,June,1983.New York, N.Y.-1983.-pp.177-180.

2. Хаджи В.Е., Цинобер Л.И,, ШтернлихтЛ.М. и др. Синтез минералов.-Москва,: Недра, 1987.-Т.1.-486 с.

3.Кузнецов А.Ф., Новоселов В.П. Бразильские двойники в секторе роста грани пинакоида искуственных кристаллов кварца. Зап.Всесоюз.об-ва .1983.-Т.112. № 6.с.729-731.

4.Каганович И.М., Ройтбурд А.Л. Наследование дефектов в развития фазовых превращений в твердых телах. Физика твердого тела.-1987. Т.29.Вып.5. с.1399-1405.

5. Икрамов Г.И., Салахиддинов Л.Н. Яркулов Н., И Нуритдинов, Физико-химическое исследования кислородсодержащих материалов , Ташкент: ФАН, 1982.72 с.

6. Douillard L., Duraud J.P., Amorphization of α-quartz under irradiation. - Journal de Physique III, 1996 - jp3.journal de physique.org.6(12).pp/1677-1687.

7. Ashurov, M. K., Boboyarova, S. G., Ibragimov, D. D., Mustafakulov, A. A., Turdiev, R. T., Khushvakov, O. B., & Yuldashev, A. D. (1997). About the dependence of defect production processes in perfect and defect quartz and berlinite crystals on radiation type.

8. Vakhidov Sh.A., Gasanov E.&~., Ibragimov J-D-, Mustafakulov A-A-, Rakhimov E-T- and Khabibullayev P.K., Cryst. Latt. Def. Amorph. Mat. 13 (1987) 241

9. Mustafakulov A.A., Akhmadzhonova U.T. Radiation Effects in Grained Quartz (IJAAR). ISSN: 2643-9603.Vol. 4, Issue 8, August – 2020, Pages: 36-42. http:// Crystals at Neutron-Irrigited Seeds. International Journal of Academic and Applied Research www.ijeais.org/ijaar

10. Мустафакулов А. А. и др. Структура и свойства кристаллов кварца, выращенных на нейтронно-облученных затравках //Менделеев. – 2020. – №. 2. – С. 4-7.

11.Mustafakulov A., Arzikulov F. The American Journal of Engineering And Technology. September 14, 2020 | Pages: 32-36. Doi:https://doi.org/10.37547/tajet/Volume02Issue09-.

12. Mustafakulov A.A.,Olimov O., Porsaxonov A., Akhmedov A.,Nurillaev O. Study of the luminescence of SiO2 crystals. III International Conference on Metrological Support of Innovative Technologies (ICMSIT-III-2022) Russia (March 3-6, 2022).

13.Boboyarov, Sh G, Ibragimov, Zh D, Mustafakulov, A A, Nuritdinov, I, & Turdiev, R T. About multivendorness of luminescent centers near 2 eV in quartz crystals; O mnogotipichnosti tsentrov svecheniya vblizi 2 ehV v kristallakh kvartsa. Kazakstan (Kazakhstan).

14. Mustafakulov, A. (2024). Radiation modification of quartz and its spectral characteristics. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 508, p. 07011). EDP Sciences

15. Arzikulov F., Mustafakulov A., Yuldashev U., Rabbimov E.,Controlled Oxidation And Phase Engineering Of Copper.Oxide Thin Films Via Reactive Magnetron Sputtering. IJTPE Journal.www.iotpe.com June 2026 Issue 67 Volume 18 Number 2 Pages 324-333

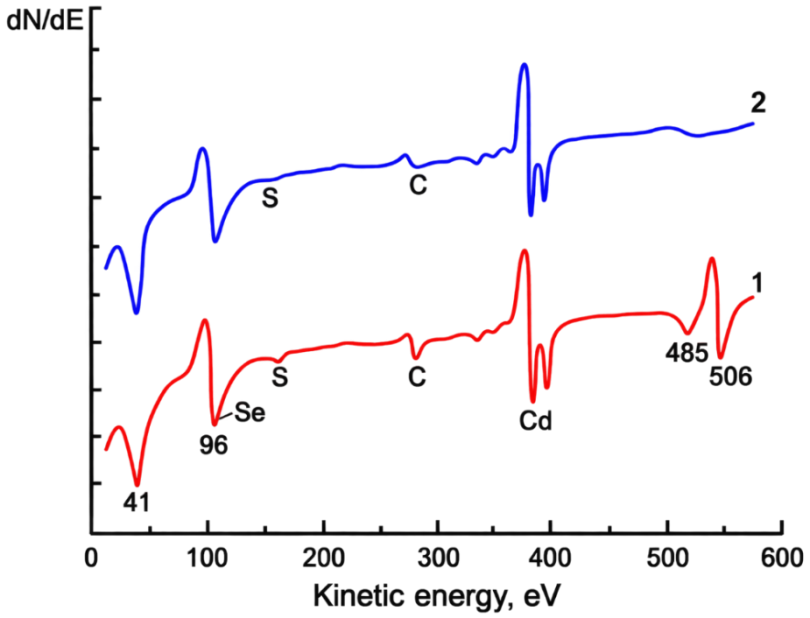
CdSe YUPQA PLYONKALARINING TARKIBI VA SIRT XOSSALARINI TERMIK HAMDA IONLI ISHLOV BERISH ORQALI MODIFIKATSIYALASH

B.E. Umirzakov., S.B. Donayev., G.M. Shirinov., R.S. Mirzayeva
Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti
e-mail: ganjimurod777@gmail.com

A^2B^6 yarimo'tkazgich birikmalarining yupqa plyonkalari va ular asosidagi ko'p komponentli materiallar elektron va optoelektron qurilmalar, sensorlar, yassi panelli displeylar, fotodiodlar hamda boshqa funksional qurilmalarni ishlab chiqishda keng istiqbolga ega. Ayniqsa, taqiqlangan zona kengligi 1,7-1,88 eV bo'lgan CdSe yupqa plyonkalari alohida qiziqish uyg'otadi. CdSe yupqa plyonkalarining strukturaviy va optik xossalarini boshqarish maqsadida tavlash usuli keng qo'llaniladi. CdSe kristallarini Cd eritmasida tavlashdan so'ng qisqa to'lqinli nurlanish intensivligi sezilarli darajada kamayadi, shu bilan birga maksimumi 710 nm atrofida joylashgan, zona chetiga xos dominant nurlanish polosasi paydo bo'ladi. Cd eritmasida tavlangan namunada fotolyuminessensiya (PL) spektrida ushbu dominant zona-chegaraviy nurlanishning paydo bo'lishi CdSe ning fon aralashmalaridan tozalanganligini ko'rsatadi.

Bundan tashqari, tavlashdan so'ng CdSe yupqa plyonkalarining kristallik tuzilishi kubik fazadan geksagonal fazaga o'zgarishi va bunda taqiqlangan zona kengligining 2,3 eV dan 1,7 eV gacha kamayishi ko'rsatilgan [1-4]. CdSe xossalarini yanada keng doirada boshqarish maqsadida $Cd_{1-x}Zn_xSe$ va $Cd_{1-x}In_xSe$ kabi uch komponentli birikmalarni sintez qilish imkoniyati mavjud. Bunday birikmalarda taqiqlangan zona kengligini (E_g) 1,7-2,8 eV oralig'ida nazorat qilinadigan tarzda o'zgartirish mumkin. Bu esa yangi turdagi quyosh elementlari, yorug'lik chiqaruvchi diodlar, fotodetektorlar va lazerlarni ishlab chiqishda muhim ahamiyatga ega. Shu bilan birga, mavjud tadqiqotlarning asosiy qismi qalinligi 50-100 nm dan katta bo'lgan CdSe plyonkalariga qaratilgan. Hozirgi vaqtgacha qalinligi 40-50 nm dan kichik bo'lgan CdSe yupqa plyonkalarining tarkibi, tuzilishi va xossalari tizimli ravishda o'rganilmagan. Shu munosabat bilan, ushbu ishning maqsadi universal o'ta yuqori vakuumli tizimda ($P = 10^{-7}$ Pa) bitta texnologik sikl doirasida magnetron purkash usuli yordamida qalinligi 50-500 Å bo'lgan CdSe yupqa plyonkalarini olish hamda

ularning tarkibi, elektron tuzilishi, energetik zona parametrlari, emissiyaviy va optik xossalarini tadqiq etishdan iborat. Tadqiqotlarni boshlashdan oldin namunalar T ≈ 600 K haroratda 2 soat davomida gazsizlantirildi. Ayrim hollarda termik ishlov berish Ar^+ ionlari bilan bombardimon qilish bilan birgalikda amalga oshirildi, bunda birlamchi ionlar energiyasi E_0 = 1 keV bo‘lib, ionlar dastasi namuna sirtiga nisbatan 10-15° burchak ostida yo‘naltirildi. AES va UPS natijalari CdSe plyonkalarida 50-60 Å gacha bo‘lgan qalinliklarda orolchali o‘sish rejimi kuzatilganini ko‘rsatdi. Eng bir tekis va uzluksiz plyonkalar 100-120 Å dan boshlangan qalinliklarda hosil bo‘ldi. 1-rasmda qalinligi d ≈ 200 Å bo‘lgan CdSe/Mo(111) plyonkasining T = 600 K haroratda tavlangandan so‘ng hamda tavlash Ar^+ ionlari bilan bombardimon qilish bilan birgalikda amalga oshirilgandan keyin olingan Oje elektron spektrlari keltirilgan.



1-rasm. Qalinligi d = 200 Å bo‘lgan CdSe plyonkasining quyidagi jarayonlardan keyin qayd etilgan Oje-elektron spektrlari: 1 - T = 600 K da qizdirish; 2 - T = 600 K da qizdirish va Ar^+ ionlari bilan bombardimon qilish.

1-spektrda asosan Cd va Se ning Oje cho‘qqilari, shuningdek, umumiy konsentratsiyasi 1-1,5 at.% dan oshmaydigan kuchsiz O va C cho‘qqilari kuzatiladi. Tavlash Ar^+ ionlari bilan bombardimon qilish bilan birgalikda amalga oshirilgandan so‘ng S va C cho‘qqilari Oje spektrometrining aniqlash chegarasi doirasida spektrdan butunlay yo‘qoladi.

Xulosa. Tadqiqotda qalinligi 50-500 Å bo‘lgan CdSe yupqa plyonkalari magnetron purkash usuli bilan olindi va ularning xossalariga qizdirish hamda Ar^+ ion bombardimonining ta’siri o‘rganildi. AES va UPS natijalariga ko‘ra, 50-60 Å gacha bo‘lgan qalinliklarda plyonkalar orolchali o‘sishi, 100-120 Å dan boshlab esa uzluksiz va bir tekis qatlamlar hosil bo‘lishi aniqlandi. 600 K haroratda qizdirish va Ar^+ ionlari bilan bombardimon qilish natijasida CdSe plyonkalarining sirt tarkibidagi begona elementlar kamayishi kuzatildi. Olingan natijalar CdSe yupqa plyonkalarining tarkibi va sirt xossalarini termik hamda ionli ishlov berish orqali boshqarish mumkinligini ko‘rsatadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. S. Rani, S. Thanka Rajan, J. Shanthi, A. Ayeshamariam, and M. Jayachandran. Review on the materials properties and photoelectrochemical (PEC) solar cells of CdSe, $Cd_{1-x}ZnxSe$, $Cd_{1-x}InxSe$, thin films. Materials Science Forum Vol. 832, (2015), pp 1-27.

2. Yu.P. Gnatenko, P.M. Bukivskij, I.O. Faryna, A.S. Opanasyuk, and M.M. Ivashchenko. Journal of Luminescence 174 (2014) 146.

3. Ailing Wang, Chunxiu Li, Jingquan Zhang, Lili Wu, Wenwu Wang and Lianghuan Feng. Annealing temperature dependence of properties of CdSe thin films by RF-sputtering. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 556 (2019) 012006.

4. Pal U, Zaldivar M H, Sathyamoorthy R, Manjuladevi V, Sudhagar P, Mohan S C and Senthilarasu S 2008 Journal of Nanoscience and Nanotechnology 8, 474-480.

ELEKTRON BOMBARDIMONI TA'SIRIDA GaP(111) SIRT XOSSALARINI MODIFIKATSIYALASH

B.E. Umirzakov[1]., B. Donayev[2]., G.M. Shirinov[1]., R.S. Mirzayeva[1]
[1]*Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti*
[2]*Qarshi davlat texnika universiteti, e-mail: ganjimurod777@gmail.com*

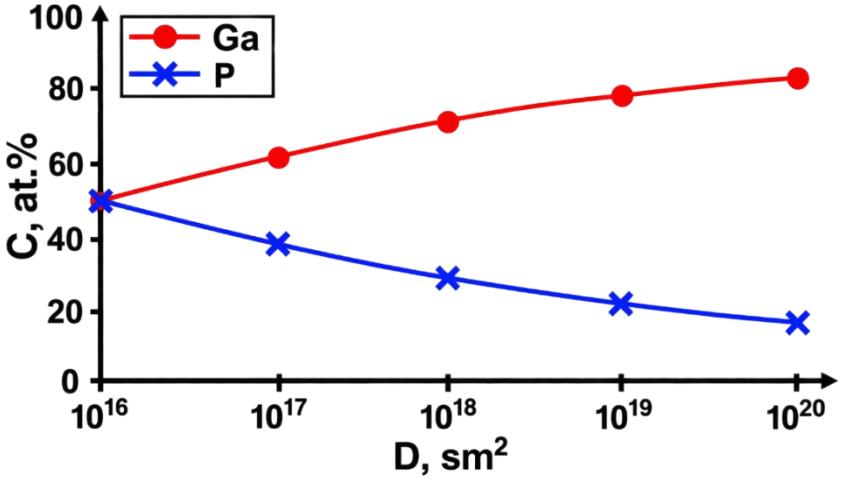
GaP asosida o'stirilgan nanoo'lchamli tuzilmalarga bo'lgan qiziqish ularning monolit optoelektron integral sxemalar (MOEIS), fotoo'zgartirgichlar (quyosh elementlari), optik va elektron nasoslashli lazerlar, o'ta yuqori chastotali (O'YCh) texnika qurilmalarini yaratishda keng qo'llanilishi va istiqbolliligi bilan bog'liq [1]. Shu sababli hozirgi vaqtda ularning elektron, optik, emissiyaviy, elektro-fizik xossalari hamda turli xil ta'sirlarning ushbu xossalarga ta'siri jadal o'rganilmoqda.

A^3B^5 ikkilik birikmalarining, xususan GaP ning fizik xossalarini modifikat-siyalash uchun turli usullardan foydalaniladi: termik qizdirish, lazer bilan ishlov berish, ion implantatsiyasi va boshqalar. Ishda o'ta yuqori vakuum sharoitida tunnel spektroskopiyasi usulidan foydalanib, g'ovakli GaP sirtining lokal elektro-fizik xossalari o'lchandi. Sirtning turli elektro-fizik xossalarga ega bo'lgan ikkita sohasi aniqlandi. Anomal maydoniy fotoemissiya effekti kuzatildi, uning eng ehtimoliy sababi yuqori zichlikka ega bo'lgan Ga_2O_3, GaP nanoklasterlari va ular bilan bog'liq akseptor tipidagi sirt holatlarining mavjudligidir. Monokristallarni elektrokimyoviy usulda yemirish ularning sirtining kimyoviy tarkibi va kristallografik xususiyatlarini o'zgartirish, dastlabki materialning nanoo'lchamli fragmentlaridan hosil bo'lgan tartibli g'ovakli tuzilmalarni yaratish imkonini beradi.

Ushbu texnologiya olinayotgan materialning taqiqlangan zona kengligini o'zgartirish, sun'iy optik anizotropiyani kiritish, shuningdek, elektron-fonon o'zaro ta'siriga samarali ta'sir ko'rsatish imkonini beradi [2-3]. A^3B^5 tipidagi tabiiy qutblanishga (A-B) ega bo'lgan ikkilik yarimo'tkazgich birikmalarining yemirilishi sirt xossalarining eng kuchli modifikatsiyasini yuzaga keltiradi. Elektrokimyoviy yemirish jarayonida g'ovak hosil bo'lish jarayoni rivojlanadi. Bunda shakllanayotgan skelet kristallida rivojlangan ichki sirt hosil bo'ladi. Elektrokimyoviy yemirish usuli yordamida g'ovakli GaP(111) olindi va tadqiqotlar o'tkazildi. So'nggi yillarda materiallar sirtida va sirtga yaqin sohada nanoo'lchamli tuzilmalarni olish uchun kam energiyali ion implantatsiyasi usulidan keng foydalanilmoqda. Xususan, [4] ishda Al ionlarini GaP(111) va GaAs(111) ga implantatsiya qilish orqali GaAlP va GaAlAs nanofazalari hamda nanoqatlamlari olindi.

GaAlP nanofazalarining sirt o'lchamlari 35-40 nm dan kichik va qalinligi 3,5-4 nm bo'lgan hollarda kvant-o'lchamli effektlar namoyon bo'lishi aniqlangan. [5] ish mualliflari In^+ ionlari bilan bombardimon qilishning GaP(111) tarkibi va elektron tuzilishiga ta'sirini o'rganganlar. Implantatsiyadan keyingi tavlash natijasida GaInP tipidagi nanofazalar va nanoqatlamlar hosil bo'lishi aniqlangan. GaInP nanofazalarida sirt o'lchamlari $d \leq 25$-30 nm bo'lganda kvant-o'lchamli effektlarga xos xususiyatlar namoyon bo'lishi aniqlangan. Biroq hozirgi vaqtgacha elektron bombardimonining GaP monokristalining tarkibi va tuzilishiga ta'siri deyarli tadqiq etilmagan. Mazkur ishda birinchi marta kam

energiyali elektron bombardimoni va undan keyingi tavlashning GaP(111) monokristalining tarkibi hamda elektron tuzilishiga ta’siri o‘rganildi. Elektron bombardimoni 3 dan 10 keV gacha bo‘lgan energiyalarda, D dozani ~ 10^{17}-10^{20} sm^{-2} oralig‘ida o‘zgartirish orqali amalga oshirildi. Tok zichligi j ~ $5\cdot10^{16}$ el/sm² ni tashkil etdi. D ≈ 10^{18} sm^{-2} gacha GaP sirtining tarkibi va tuzilishida sezilarli o‘zgarish kuzatilmadi. 1-rasmda 3 va 10 keV energiyali elektronlar bilan bombardimon qilingan GaP uchun galliy atomlarining sirt konsentratsiyasi C_{Ga} ning nurlanish dozasi D ga bog‘liqligi keltirilgan.



1-rasm. Elektronlar bilan bombardimon qilingan GaP uchun Ga atomlarining sirt konsentratsiyasining elektronlar nurlanish dozasiga bog‘liqligi:
elektronlar energiyasi, keV: 1 - 3; 2 - 10

Ko‘rinib turibdiki, E_e = 3 keV holatda D = 10^{17}-10^{19} sm^{-2} oralig‘ida galliyning sirt konsentratsiyasi C_{Ga} monoton ravishda 8-10 at.% ga kamayadi, ya’ni sirt fosfor atomlari bilan boyiydi. E_e = 10 keV holatda esa dozaning 10^{17} dan $5\cdot10^{19}$ sm^{-2} gacha oshishi bilan C_{Ga} 12-15 at.% ga ortadi. Har ikkala holatda ham dozaning keyingi oshirilishi C_{Ga} ning o‘zgarishiga olib kelmaydi, ya’ni to‘yinish jarayoni yuz beradi. E_e = 3 keV da to‘yinish dozasi D_n = 10^{19} sm^{-2}, E_e = 10 keV da esa D_n ≈ $5\cdot10^{19}$ sm^{-2} ni tashkil etadi. Shunday qilib, D = D_n bo‘lganda, E_e energiyasiga bog‘liq holda sirt galliy konsentratsiyasi C_{Ga} kamayishi yoki ortishi mumkin.

GaP(111) sirtining tarkibi va kristallik tuzilishiga E_e = 3-10 keV energiya oralig‘idagi elektron bombardimonining ta’siri ilk bor o‘rganildi. Ga va P atomlarining sirtidagi konsentratsiyasi o‘zgarishi hamda ularning chuqurlik bo‘yicha taqsimlanish profillarining elektronlar energiyasi va dozasiga bog‘liqligi aniqlandi. E_e ≤ 5-6 keV bo‘lganda GaP ning sirt sohasi P atomlari bilan, E_e ≥ 5-6 keV bo‘lganda esa Ga atomlari bilan boyishi ko‘rsatildi.

Xulosa: GaP(111) monokristalli sirtining 3-10 keV energiyali elektron bombardimoni ta’sirida tarkibi va kristallik tuzilishidagi o‘zgarishlar o‘rganildi. Past energiyalarda sirt P atomlari bilan, yuqori energiyalarda esa Ga atomlari bilan boyishi ko‘rsatildi. Olingan natijalar elektron bombardimoni orqali GaP(111) sirtining fizik-kimyoviy xossalarini maqsadli modifikatsiyalash imkonini beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. A.A. Lazarenko, E.V. Nikitina, E.V. Pirogov, M.S. Sobolev, & A.Yu. Egorov. 48. No. 4, pp. 392-396. 2014.
2. A.I. Belogorokhov, V.A. Karavanskii, A.N. Obraztsov, V.Yu. Timoshenko. JETP Lett. 1994. V. 60. P. 274.
3. I.M. Tiginyanu, G. Irmer, J. Monecke, H.L. Hartnagel. Phys. Rev. B. 1997. V. 55. P. 6739.

4. М.А. Ладугин, А.Ю. Андреев, И.В. Яроцкая, Ю.Л. Рябоштан, Т.А. Багаев, А.А. Падалица, А.А. Мармалюк, М.Г. Васильев. Сравнительный анализ квантовых ям GaAs/GaInP и GaAs/ALGaAs, полученных в условиях мос-гидридной эпитаксии. неорганические материалы, 2019, том 55, № 4. С. 345-349.

5. M. Razeghi. Technology of Quantum Devices. Boston: Springer, 210. 560 p.

ФОРМИРОВАНИЕ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ФАЗ NiSi И NiS В КРЕМНИЕВОЙ МАТРИЦЕ

Б.К. Исмайлов, З.Т. Кенжаев, А.К. Сапаров, Г.А. Абдреймова, П.К. Нурниязов, П.К. Дилимбетов, Д.Е. Ембергенов

Каракалпакский государственный университет имени Бердаха, Нукус, Узбекистан

E-mail: *i.bairam@bk.ru*

Композиционные материалы на основе кремния, содержащие переходные металлы и халькогены, представляют значительный интерес для современной микро- и наноэлектроники. Введение никеля и серы в кремниевую матрицу сопровождается перераспределением примесных компонентов и может приводить к формированию локальных соединений, способных изменять структурные и электрофизические характеристики материала. Поэтому установление взаимосвязи между морфологией поверхности, элементным распределением и фазовым составом системы Si–S–Ni является актуальной задачей.

Цель работы — исследование особенностей формирования и локализации никельсодержащих нанокристаллических фаз в композиционном материале Si–S–Ni методами растровой электронной микроскопии (РЭМ), энергодисперсионного рентгеновского анализа (ЭДС) и рентгеновской дифрактометрии (РФА).

Морфологию поверхности и локальный элементный состав исследовали с использованием системы энергодисперсионного рентгеновского микроанализа EDAX APEX. РЭМ-изображения регистрировали в режиме вторичных электронов при ускоряющем напряжении 25 кВ. Количественный анализ выполняли методом eZAF с автоматической коррекцией матричных эффектов; дополнительно строили карты пространственного распределения Si, S и Ni.

Рентгеноструктурный анализ проводили на дифрактометре D8 Advance (Bruker, Германия) с CuKα-излучением (λ = 0,15406 нм) при 40 кВ и 40 мА. Сканирование выполняли в диапазоне 2θ = 20–80° с шагом 0,02°. Фазы идентифицировали по базе PDF-2 (ICDD), а количественный фазовый анализ проводили методом Ритвельда в программе TOPAS 5.0.

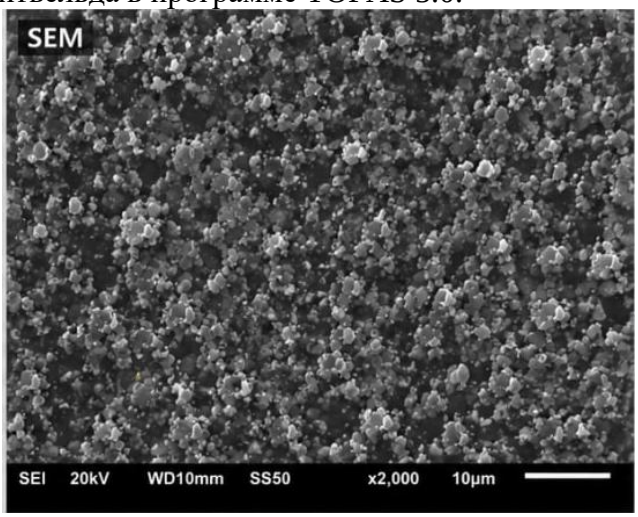


Рис. 1. РЭМ-изображение поверхности композиционного материала Si–S–Ni

РЭМ-исследования показали развитый рельеф и выраженную структурную неоднородность поверхности. Наряду с относительно плотными участками наблюдаются области повышенной шероховатости и локальные образования различной формы и размеров (рис. 1). Контраст отдельных микрообластей связан с изменением локального химического состава и плотности материала, что указывает на неоднородный характер формирования композиционного слоя.

Элементное картирование подтвердило, что кремний формирует непрерывную матрицу исследуемого материала. В то же время сигналы серы и никеля локализованы преимущественно в отдельных микрообластях. Частичное совпадение областей повышенного содержания Ni и S указывает на совместное участие этих элементов в формировании вторичных структурных образований. Такая локализация согласуется с возможностью образования никельсодержащих силицидных и сульфидных фаз.

Суммарный ЭДС-спектр содержит интенсивные характеристические линии кремния, серы и никеля. Для одного из локальных участков определены значения 39,21 вес.% Si, 48,35 вес.% S и 12,44 вес.% Ni. Средние результаты трех локальных измерений составили 39,47 вес.% Si, 48,47 вес.% S и 12,07 вес.% Ni. Эти величины относятся к выбранным микрообластям и подтверждают выраженную химическую неоднородность материала.

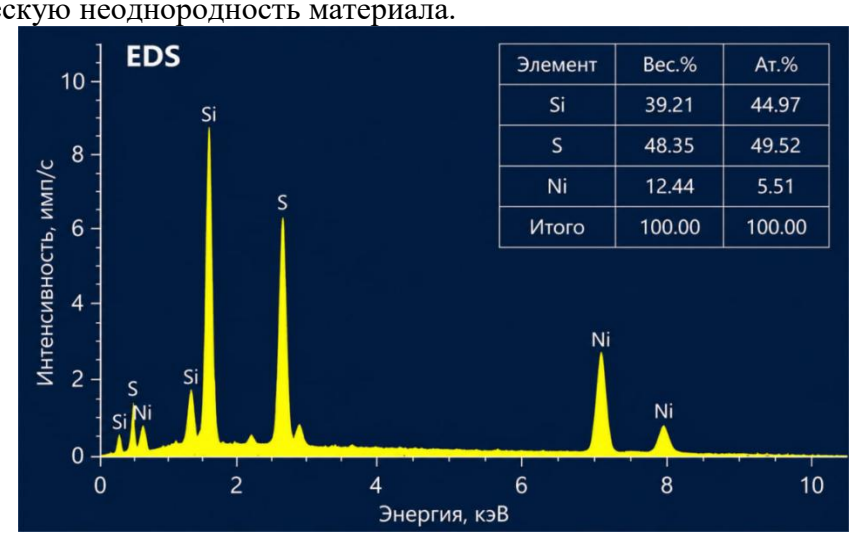


Рис. 2. Энергодисперсионный рентгеновский спектр локальной области Si–S–Ni

Наиболее важные сведения о природе сформированных соединений получены методом РФА. На дифрактограмме идентифицированы три кристаллические фазы. Основной фазой является кремний с кубической алмазной структурой $Fd\bar{3}m$. Интенсивный рефлекс при $2\theta = 28{,}44°$ соответствует плоскости Si(111); также фиксируются рефлексы Si(220), Si(311), Si(400) и Si(331). Рассчитанный параметр элементарной ячейки кремния $a = 5{,}431 \pm 0{,}002$ Å.

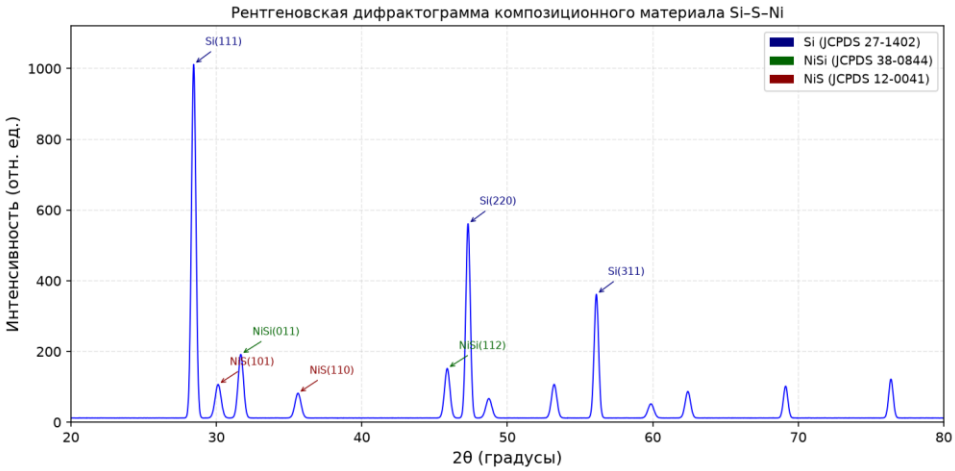


Рис. 3. Рентгеновская дифрактограмма композиционного материала Si–S–Ni

Наряду с кремнием обнаружена фаза моносилицида никеля NiSi с орторомбической структурой Pnma. Ее характерные рефлексы наблюдаются при 2θ = 31,68° (011), 45,87° (112), 53,22° (211) и 62,41° (020). Формирование NiSi свидетельствует о взаимодействии никеля с кремниевой матрицей в процессе получения материала.

Также идентифицирован сульфид никеля NiS (миллерит, пространственная группа R3m). Его рефлексы зарегистрированы при 2θ = 30,12° (101), 35,61° (110), 48,73° (202) и 59,87° (300). Совместное присутствие NiSi и NiS объясняет наблюдаемое на ЭДС-картах частичное совпадение областей локализации никеля и серы и свидетельствует о протекании процессов силицидирования и сульфидирования никеля.

По результатам количественного анализа методом Ритвельда основной фазой является Si — 86,4 ± 1,2 мас.%. Содержание NiSi составляет 8,7 ± 0,8 мас.%, NiS — 4,9 ± 0,6 мас.%. Размер областей когерентного рассеяния составляет 48 ± 3 нм для Si, 22 ± 4 нм для NiSi и 18 ± 5 нм для NiS. Таким образом, вторичные никельсодержащие фазы имеют нанокристаллический характер.

Полученные результаты показывают, что формирование композиционного материала Si–S–Ni сопровождается пространственным перераспределением примесных компонентов и образованием локальных нанокристаллических включений NiSi и NiS. Комплексное применение РЭМ, ЭДС и РФА позволяет связать особенности микрорельефа с химической неоднородностью и фазовой структурой материала. Установленные закономерности представляют интерес при разработке функциональных кремниевых материалов для микро- и наноэлектроники.

Ключевые слова: кремний, никель, сера, Si–S–Ni, NiSi, NiS, РЭМ, ЭДС, рентгеновская дифрактометрия, нанокристаллические фазы.

Литература

1. Goldstein J., Newbury D., Joy D. et al. Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis. 4th ed. New York: Springer, 2018.

2. Williams D. B., Carter C. B. Transmission Electron Microscopy: A Textbook for Materials Science. 2nd ed. New York: Springer, 2009.

3. Оджаев В. Б., Поклонский Н. А. Дефектно-примесная инженерия в полупроводниковых материалах и приборных структурах. Минск: БГУ, 2020.

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОПЛЁНОК

Шохимардонов Ж.М., Алланазарова С.Ш., Бердиева С.А., Саидов С.А., Жуманов Ш.Э.
Каршинский государственный университет, г. Карши
shjmadu@gmail.com

Тонкие плёнки нанометровой толщины (нанопленки) представляют собой один из ключевых объектов современной нанотехнологии. Благодаря особым электрическим, оптическим, механическим и каталитическим свойствам, обусловленным малой толщиной и развитой поверхностью, нанопленки находят широкое применение в микроэлектронике, оптоэлектронике, солнечной энергетике, сенсорике и защитных покрытиях.

Все методы получения нанопленок принято разделять на физические и химические. Физические методы, объединяемые общим термином «физическое осаждение из газовой фазы», основаны на переносе материала из твёрдой или жидкой фазы источника в паровую фазу и последующей конденсации на подложке без протекания химических реакций между компонентами. К физическим методам относятся термическое испарение, магнетронное распыление, импульсное лазерное осаждение и молекулярно-лучевая эпитаксия-каждый из них обладает своей физической природой формирования плёнки и своей областью оптимального применения.

1. Термическое испарение-один из наиболее простых физических методов получения тонких плёнок. Материал-источник помещается в вакуумную камеру и нагревается (резистивным нагревом либо электронным лучом) до температуры, при которой давление его насыщенных паров становится достаточным для интенсивного испарения. Пары материала распространяются в вакууме и конденсируются на более холодной подложке, формируя тонкий слой. Достоинствами метода являются простота технологической схемы, невысокая стоимость оборудования и высокая скорость осаждения. Основные ограничения связаны со сложностью точного воспроизведения стехиометрического состава многокомпонентных материалов (из-за различной упругости паров компонентов), а также сравнительно невысокой адгезией и плотностью получаемых плёнок по сравнению с плазменными методами [1]. Термическое испарение остаётся наиболее доступным и быстрым способом получения простых металлических и диэлектрических плёнок, однако уступает плазменным методам по адгезии и плотности покрытия.

2. Магнетронное распыление относится к числу наиболее востребованных промышленных ФОГ-методов. В основе процесса лежит бомбардировка мишени ионами инертного газа (как правило, аргона), ускоренными в плазме тлеющего разряда; в результате столкновений атомы мишени выбиваются с её поверхности и осаждаются на подложке. Наложение магнитного поля вблизи мишени удерживает электроны вблизи её поверхности, повышая степень ионизации плазмы и, соответственно, скорость распыления [2]. Метод обеспечивает высокую однородность толщины плёнки по большой площади, хорошую адгезию к подложке и возможность получения широкого спектра материалов металлов, оксидов, нитридов и композитных покрытий, в том числе методом реактивного распыления. Разновидностью метода является высокомощное импульсное магнетронное распыление, обеспечивающее повышенную степень ионизации распыляемого материала и, как следствие, более плотную структуру плёнок, поскольку традиционное магнетронное распыление на постоянном токе характеризуется сравнительно низкой степенью ионизации при получении металлических плёнок. Магнетронное распыление активно применяется для получения гидрофобных, износостойких и функциональных покрытий на основе оксидов, нитридов переходных металлов и алмазоподобного углерода [3]. Магнетронное распыление сочетает умеренную стоимость оборудования с высокой воспроизводимостью и масштабируемостью, что обусловило его широкое промышленное применение для функциональных и защитных покрытий.

3. Импульсное лазерное осаждение(ИЛО). При импульсном лазерном осаждении сфокусированный импульсный лазерный луч высокой энергии направляется на поверхность мишени, вызывая локальный нагрев, испарение и ионизацию материала с образованием плазменного облака (плюма), которое затем конденсируется на подложке. Метод позволяет управлять контролируемым ростом сложных оксидных плёнок за счёт варьирования параметров роста, влияющих на структурные, химические и функциональные свойства получаемых плёнок.

Ключевым преимуществом ИЛО является возможность сохранения стехиометрии сложного многокомпонентного материала мишени в получаемой плёнке, что делает метод незаменимым при синтезе сложных оксидов, включая высокотемпературные сверхпроводники и магнитооптические материалы. В частности, метод активно используется для формирования магнитооптических плёнок на основе железо-иттриевого граната, а также для эпитаксиального роста слоистых гетероструктур на различных подложках. К недостаткам метода относят возможное образование капельной фазы на поверхности плёнки и ограниченную площадь равномерного осаждения [4]. Импульсное лазерное осаждение обеспечивает наилучшее сохранение стехиометрии сложных многокомпонентных материалов, но ограничено небольшой площадью равномерного осаждения.

4. Молекулярно-лучевая эпитаксия наиболее прецизионный физический метод получения нанопленок, при котором атомарные или молекулярные пучки элементов, генерируемые эффузионными ячейками, направляются на нагретую монокристаллическую подложку в условиях сверхвысокого вакуума. Процесс осуществляется при остаточном давлении порядка 10^{-10} торр, что позволяет выращивать эпитаксиальные плёнки высокой чистоты и превосходного кристаллического качества при относительно низких температурах подложки [5].

Метод обеспечивает контроль роста плёнки на уровне отдельных атомных слоёв, что делает его незаменимым при создании полупроводниковых гетероструктур, квантовых ям и квантовых точек. Разновидностью метода является гибридная молекулярно-лучевая эпитаксия, сочетающая элементы МЛЭ и элементы химического осаждения для получения сложных функциональных оксидов. Основными ограничениями МЛЭ являются высокая стоимость оборудования, низкая скорость роста и сложность технологического обслуживания сверхвысоковакуумной системы. Молекулярно-лучевая эпитаксия занимает особое место как метод, дающий максимальную точность контроля толщины и кристаллической структуры, но требующий наибольших капитальных и эксплуатационных затрат. Таким образом, выбор конкретного физического метода определяется требуемыми характеристиками плёнки, типом подложки, площадью покрытия и экономическими возможностями производства.

Проведённый анализ показывает, что физические методы получения нанопленок термическое испарение, магнетронное распыление, импульсное лазерное осаждение и молекулярно-лучевая эпитаксия образуют взаимодополняющий набор технологий, каждая из которых оптимальна для определённого круга задач. Термическое испарение целесообразно применять при получении простых плёнок в условиях ограниченного бюджета; магнетронное распыление при необходимости масштабируемого промышленного производства однородных функциональных покрытий; импульсное лазерное осаждение для синтеза сложных стехиометрических оксидных систем; молекулярно лучевая эпитаксия при создании прецизионных полупроводниковых гетероструктур и квантово-размерных объектов

Список литературы

1. Ju Y., Ai L., Qi X., Li J., Song W. Review on Hydrophobic Thin Films Prepared Using Thermic Deposition // Materials. -2023. -Vol. 16, No. 10. -Art. 3764.

2. Li J., Ren G.K., Chen J. et al. Facilitating Complex Thin Film Deposition by Using Magnetron Sputtering: A Review // JOM. -2022. -Vol. 74. -P. 3069-3081.

3. Liu S., Li X., Hao Y., Li X., Liu F. Effect of Magnetron Sputtering Process Parameters on the Conductivity of Thin Metal Film // AIP Advances. -2023. -Vol. 13, No. 9. -Art. 095326.

4. Shepelin N.A. et al. A Practical Guide to Pulsed Laser Deposition // Chemical Society Reviews. -2023. -Vol. 52. -P. 229–262.

5. Yu J., Han W., Suleiman A.A., Han S., Miao N., Ling F.C.-C. Recent Advances on Pulsed Laser Deposition of Large-Scale Thin Films // Small Methods. -2024. -Vol. 8, No. 7. -Art. e2301282.

ВОЛЬТ-АМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОП СТРУКТУРЫ Al-Al_2O_3-*p*-CdTe-Mo –В ПРЯМОМ НАПРАВЛЕНИИ ТОКА

А.К.Утениязов, Э.С.Есенбаева
Каракалпакский государственный университет им. Бердаха, Нукус, Узбекистан
e-mail: abat-62@mail.ru

Исследуемая структура было получена как в работе [1]. Полученную Al-Al_2O_3-p-CdTe-Mo–структуру можно представить как $R_{ом}$–n^+-*p*-$R_{ом}$– структуру с длинной *p*-базой, схема которой показана на рис.1.

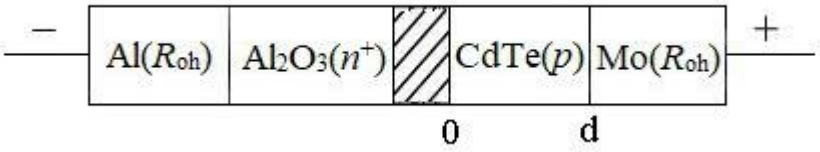


Рис.1. Схема Al-Al_2O_3-p-CdTe-Mo – структуры.

Для изучения механизмов транспорта тока исследована вольт-амперная характеристика (ВАХ) структуры как в прямом, так и в обратном направлениях в широких пределах изменения тока и напряжения. Прямым считалось когда “+” прикладывался к Mo. На рис. 1a и 1b показаны прямые ветви ВАХ для двух образцов с толщиной базы ~8 μm и 10 μm.

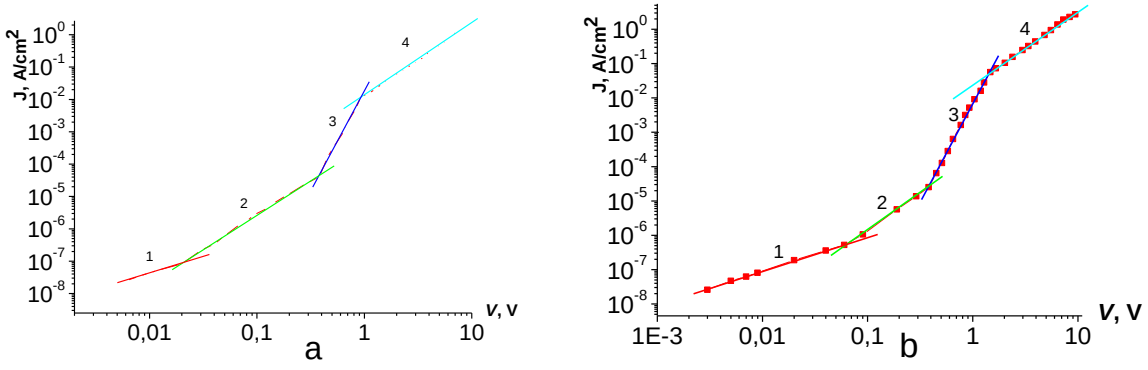


Рис.2. Прямая ветвь ВАХ структуры Al-p-CdTe-Mo в двойном логарифмическом масштабе в темноте при T=300K. Образец №1: 1-1, 2-2, 3-6.43, 4-2; (a-*d*=8 μm), образец №2: 1-1, 2-2, 3-5.71, 4-2; (b-*d*=10 μm).

Из этого рисунка видно, что темновая ВАХ имеет четыре участка, которые описываются степенными зависимостями тока от напряжения вида $J \sim V^{\alpha}$ с различными значениями показателя степени α. При небольших напряжениях (V<0.1 В) имеет место участок линейной зависимости $J \sim V$, потом $J \sim V^2$, за ним участок резкого роста тока, где α >2 и, наконец, второй квадратичный участок $J \sim V^2$.

Поскольку обе эти ВАХ начинаются с закона Ома $J \sim V$, а затем следует степенная зависимость $J \sim V^2$, можно сделать вывод о том, что n^+-p-переход не вносит существенный вклад, в основном падение напряжения приходится на базу. А поскольку в нашем случае оценки дают отношение $\frac{d}{L_n} \approx 5-10$, на первый взгляд подходить теория дрейфовых токов Ламперта, которая объясняет зависимость $J \sim V^2$ режимом омической релаксации объёмного заряда. Однако последующие ВАХ в рамки этой модели никак не укладываются. По-видимому, начинает играть роль сложная система примесей и дефектов, которая является причиной изменения законов рекомбинации и, как следствие, изменения закономерностей транспорта тока, как в прямом, так и в обратном направлениях. Далее мы попытаемся проанализировать эту ситуацию с теоретической точки зрения.

Поскольку CdTe, как и другие полупроводники группы A^2B^6, содержит много примесей и дефектов различного рода, рассмотрим рекомбинацию неравновесных носителей, происходящую не через простую одноуровневую ловушку Шокли-Рида, а через парный рекомбинационный комплекс. Попытки создания статистики рекомбинации такого рода предпринимались неоднократно для различных моделей рекомбинационных комплексов. Это могут быть донорно-акцепторные пары, комплексы типа примесь+вакансия, примесь+междоузельный дефект или дефекты типа пар Френкеля, возникающие в результате рекомбинационно-стимулированных процессов. В [2] собраны различные модели таких комплексов. При этом схема рекомбинации, происходящей через такой двухуровневый комплекс, будет примерно одинаковой для всех моделей. Она показана на рис.2.

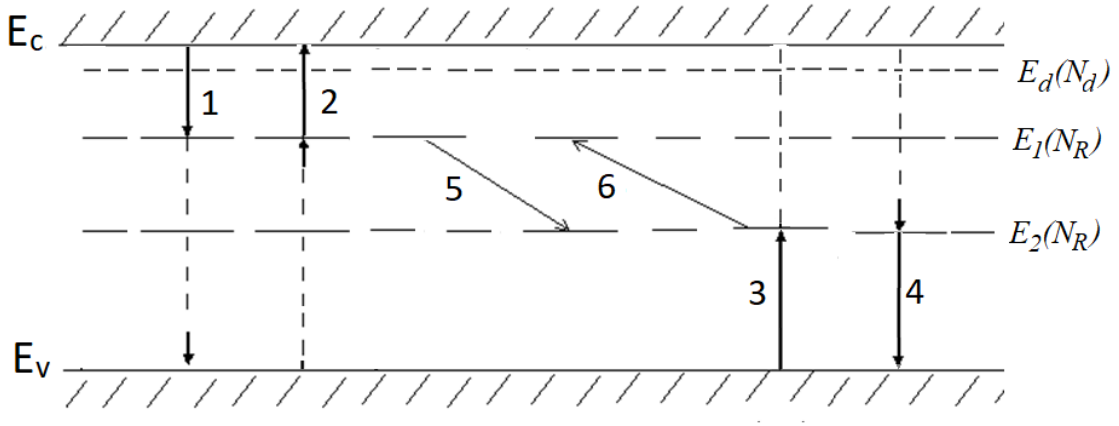


Рис.3. Схема рекомбинации через парный рекомбинационный комплекс. Пунктирами показаны не учтенные переходы

$1-c_{n1}N_R(1-f_1)$; $2-cn_1N_R f_1 n_{11}-$ обмен уровня E_1 с зоной проводимости. $3-c_{p2}N_R f_2 p$; $4-c_{p2}N_R(1-f_2)p_{12}-$ обмен уровня E_2 с валентной зоной. $5-c_{12}N_R f_1(1-f_2)$; $6-c_{12}N_R f_2(1-f_1)e^{\frac{E_2-E_1}{kT}}$ – обмен между уровнями E_1 и E_2, где $(c_{12})^{-1}=\tau_{ii}$ – время

внутрикомплексного обмена. Предполагается, что разница $E_1 - E_2$ очень мала, так что $e^{[\frac{(E_2-E_1)}{kT}]}$ можно не учитывать.

В [2, 3] показано также, что для всех таких моделей скорость рекомбинации U может быть записана в виде:

$$U = N_R \frac{c_{n1}c_{p2}(pn - n_i^2)}{c_{n1}(n + n_{11}) + c_{p2}(p + p_{12}) + \tau_{ii}c_{n1}c_{p2}pn}, \quad (1)$$

где N_R – концентрация примесей на уровнях E_1 и E_2 (она предполагается одинаковой), n и p – концентрации свободных электронов и дырок, соответственно; c_{n1} - коэффициент захвата электрона на уровень E_1, c_{p_2} - коэффициент захвата дырки на уровень E_2, n_i – собственная концентрация, n_{11} и p_{12} – аналоги статистических факторов Шокли-Рида для уровней E_1 и E_1:

$$n_{11} = N_c e^{-\frac{E_c - E_1}{kT}}, \quad (2)$$

$$p_{12} = N_\upsilon e^{\frac{E_\upsilon - E_2}{kT}}, \quad (3)$$

$\tau_{ii} = \frac{1}{c_{12}}$ время внутри комплексного обмена электронами между уровнями E_1 и E_2, т.е. время, определяющее инерционность внутрикомплексного обмена.

Рассмотрение рекомбинационных процессов, идущих через двухуровневый рекомбинационный комплекс, позволяющий учесть инерционность электронного обмена, приводит нас к принципиально новому результату – с ростом уровня возбуждения, когда процессы внутри комплексного обмена носителями начинают играть существенную роль, скорость рекомбинации неравновесных носителей выходит на полное насыщение, а время жизни носителей линейно растёт с ростом уровня возбуждения. Напомним, что в классической статистике Шокли-Рида скорость рекомбинации линейно растёт с ростом уровня возбуждения, а время жизни остаётся постоянным.

Итак, выбранный нами дрейфовый режим омической релаксации при рекомбинации, идущей через парный комплекс, с ростом уровня инжекции проходит через три основные зависимости тока от напряжения: $J \sim V^2$, затем резкий рост тока и опять $J \sim V^2$.

Таким образом, предположение о рекомбинации, идущей не через простые одноуровневые ловушки Шокли-Рида, а через сложные парные рекомбинационные комплексы, инерционность внутрикомплексного обмена которых растёт с ростом уровня возбуждения, хорошо объясняет смену ВАХ, наблюдаемую на Al-Al_2O_3-pCdTe-Mo- структуре.

Проведённые исследования показывают, что Al-Al_2O_3-pCdTe-Mo (металл Al, окисел Al_2O_3, полупроводник p-CdTe, Mo-играет роль омического контакта) структура может рассматриваться как n^+-p- диодная структура с длинной базой, процессы токопрохождения в которой определяются дрейфовым режимом омической релаксации в условиях рекомбинации неравновесных носителей, идущей через сложный двухуровневый рекомбинационный комплекс. Принимая во внимание инерционность процессов электронного обмена внутри этого комплекса, удаётся объяснить последовательную смену ВАХ $J \sim V^2$, участок резкого роста тока, где $\alpha > 2$ и опять $J \sim V^2$.

Литература

[1]. A.K.Uteniyazov, K.A.Ismailov,A.S.Muratov, B.K.Dauletmuratov, A.B.Kamalov. Amplification of photoelectric injection in the photodiode based on large-grain cadmium telluride films. // Semiconductor

Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics, 2022. V. 25, No 2. P. 157-163. https://doi.org/10.15407/spqeo25.02.157

[2]. А.Ю.Лейдерман, М.К.Минбаева. Механизм быстрого роста прямого тока в полупроводниковых диодных структурах. // ФТП, 1996, том 30, вып.11. –С. 1729-1738.

[3]. А.Ю.Лейдерман, М.М.Каршаев. Особенности рекомбинации в полупроводниках $A^{III}B^{V}$. //Доклады Академии наук РУз. № 3, стр. 22-24, 2012.

ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ РЕКУРСОРОВ Cu/Sn/Ni НА ГИБКОЙ ТИТАНОВОЙ ОСНОВЕ

Ш.Б. Утамурадова[1], К.М. Файзуллаев[1], А.В. Станчик[2]

[1]*Научно-исследовательский институт физики полупроводников и микроэлектроники при Национальном университете Узбекистана, Узбекистан, Ташкент, 100057, ул. Янги Олмазор 20*

[2]*ГО «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению», Республика Беларусь, Минск 220072, ул. П. Бровки 19*

Формирование тонкопленочных светопоглощающих гетероструктур на гибких подложках выступает перспективным направлением в области создания эффективных фотовольтаических устройств [1-2]. Использование титановой фольги обеспечивает высокую термическую и механическую устойчивость гибких гетероструктур. В кестеритных соединениях полная замена цинка никелем с образованием $Cu_2NiSn(S,Se)_4$ позволяет эффективно модифицировать ширину запрещенной зоны и улучшать характеристики разделения носителей заряда [3]. Для получения таких слоев критически важен прецизионный контроль стехиометрии по всей поверхности. В связи с этим последовательное магнетронное напыление является оптимальным методом осаждения благодаря высокой адгезии и однородности.

В работе исследована микроструктура и распределение элементов в тонкопленочных системах Ti/Cu/Sn/Ni, синтезированных поочередным магнетронным осаждением металлических мишеней на гибкую титановую фольгу. Анализ морфологии поверхности и локальный элементный количественный анализ проводились с использованием сканирующего электронного микроскопа PV-150+ (Module Science) с интегрированным модулем энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДС).

На микрофотографиях СЭМ установлено, что напыленный металлический массив Cu/Sn/Ni формирует сплошную поликристаллическую пленку с плотной упаковкой глобулярных зерен размером 200–600 нм [4]. Покрытие характеризуется высокой конформностью, точно повторяя микрорельеф проката титановой подложки. На границах зерен зафиксированы незначительные локальные микротрещины, обусловленные термомеханическими напряжениями из-за различия коэффициентов линейного расширения напыляемых металлов.

Данные ЭДС спектрометрии подтверждают формирование заданного многокомпонентного профиля. Выход сигнала титана (31.24 at.%, Kα ≈ 4.51 кэВ) обусловлен зондированием металлической подложки, что указывает на толщину напыленного покрытия в пределах микронного диапазона. Соотношение основных функциональных элементов покрытия составило: Cu — 18.46 at.%, Ni — 13.46 at.% и Sn — 8.88 at.%. Фиксация углерода (15.72 at.%) связана с адсорбционными процессами в вакуумной камере, тогда как присутствие кислорода (12.25 at.%) указывает на поверхностную окислительную трансформацию металлов (Таблица 1).

Таблица 1. Элементный состав многослойного прекурсора Ti/Cu/Sn/Ni

Элемент	Атомная доля (at.%)	Массовая доля (wt.%)
Углерод (C)	15.72	3.86
Кислород (O)	12.25	4.00
Титан (Ti)	31.24	30.53
Никель (Ni)	13.46	16.13
Медь (Cu)	18.46	23.95
Олово (Sn)	8.88	21.53
Всего	100.00%	100.00%

Метод магнетронного распыления позволяет синтезировать однородные многокомпонентные прекурсоры Ti/Cu/Sn/Ni с высоким уровнем адгезии, стехиометрически пригодные для последующего термического синтеза четверных полупроводниковых соединений $Cu_2NiSn(S,Se)_4$.

Данная работа выполнена при поддержке Фонда финансирования науки и инноваций Республики Узбекистан (грант № FL-8824063350) и Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № Ф25УЗБ-097).

Литература:

1. Rosmi M.S. et al. Solar Energy. – 2020. – Vol. 211. – P. 614–633.
2. Salome P.M.P. et al. Materials Science in Semiconductor Processing. – 2016. – Vol. 54. – P. 32–39.
3. Yüksel Ö.F. et al. Physica B: Condensed Matter. – 2022. – Vol. 625. – P. 413530.
4. Stanchik A.V. Coatings. – 2022. – Vol. 12, № 8. – P. 1198.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ НЕСТАБИЛЬНЫХ ЯДЕР ^{8}Be И ^{9}B В ^{16}O–p-СОУДАРЕНИЯХ ПРИ ИМПУЛЬСЕ 3.25 А ГэВ/с

Олимов Косим, Абдисалимов Бекзод
Физико-технический институт имени С. А. Азимова Академии наук Республики Узбекистан

Аннотация. В работе исследуется образование нестабильных промежуточных ядер ^{8}Be и ^{9}B при взаимодействии ядер ^{16}O с протонами при импульсе 3.25 А ГэВ/с. Основное внимание уделяется изучению азимутальной коллинеарности α-частиц, образующихся в процессе фрагментации ядер. Для анализа экспериментальных данных используется модифицированная феноменологическая модель изотропного фазового пространства с учётом образования и распада промежуточных нестабильных ядер. Моделирование выполняется методом Монте-Карло.

Показано, что учёт промежуточных ядер ^{8}Be и ^{9}B позволяет улучшить описание экспериментальных распределений по парному азимутальному углу и параметру коллинеарности α-частиц. Получены оценки вероятностей образования ^{8}Be в основном и первом возбуждённом состояниях, а также ^{9}B, которые составили 15.4%, 6.6% и 19% соответственно.

Ключевые слова: ядерная фрагментация, α-частицы, кластеризация ядер, нестабильные ядра, ^{8}Be, ^{9}B, метод Монте-Карло.

Введение

Исследование фрагментации релятивистских ядер позволяет изучать структуру ядерной материи, механизмы ядерных взаимодействий и процессы образования кластерных конфигураций. Особый интерес представляют реакции с образованием нескольких α-частиц, поскольку их угловые корреляции могут содержать информацию о промежуточных ядерных состояниях.

В исследованиях ^{16}O–p-соударений при импульсе 3.25 А ГэВ/с была обнаружена азимутальная коллинеарность импульсов α-частиц. Одним из возможных механизмов возникновения этих корреляций является образование и последующий распад нестабильных ядер ^{8}Be и ^{9}B.

Методика исследования

Для моделирования процессов фрагментации использовалась модифицированная феноменологическая модель изотропного фазового пространства. В расчётах учитывались кинематические ограничения, законы сохранения энергии и импульса, конечный размер сталкивающихся ядер и ферми-движение нуклонов.

Рассматривались следующие каналы распада:

^{8}Be→α+α — распад ядра ^{8}Be на две α-частицы;

^{9}B→α+α+p — распад ядра ^{9}B с выходом двух α-частиц и протона.

Для ядра ^{8}Be учитывались основное состояние с энерговыделением 0.1 МэВ и первое возбуждённое состояние с энерговыделением 3.04 МэВ. Моделирование выполнялось методом Монте-Карло с последующим сравнением расчётных распределений с экспериментальными данными.

Результаты и обсуждение

Сравнение результатов моделирования показало, что модель без учёта промежуточных нестабильных ядер не позволяет удовлетворительно описать наблюдаемые азимутальные корреляции α-частиц. Включение каналов образования и распада ^{8}Be и ^{9}B улучшает согласие расчётных распределений с экспериментальными данными. Получены следующие оценки вероятностей образования промежуточных ядер:

Промежуточное ядро	Состояние	Вероятность образования
^{8}Be	Основное 0.1 МэВ	15.4%
^{8}Be	Возбужденное 3.04 МэВ	6.6%
^{9}B	Состояние с энерговыделением 0.3 МэВ	19%

Результаты свидетельствуют о существенном вкладе промежуточных нестабильных ядер в формирование наблюдаемых корреляций α-частиц.

Заключение

Исследовано влияние образования промежуточных нестабильных ядер ^{8}Be и ^{9}B на азимутальную коллинеарность α-частиц в ^{16}O–p-соударениях при импульсе 3,25 А ГэВ/с.

Показано, что учёт промежуточных ядер позволяет улучшить описание экспериментальных распределений. Полученные результаты указывают на важную роль кластерных конфигураций и нестабильных ядерных состояний в процессах фрагментации лёгких ядер.

Литература

1. Базаров Э. Х., Глаголев В. В., Гуламов К. Г. и др. Исследование каналов образования α-частиц в ^{16}O–p-соударениях при высоких энергиях // Ядерная физика. 2004. Т. 67. С. 730.
2. Ajzenberg-Selove F. Energy Levels of Light Nuclei A = 8, 9, and 10 // Nuclear Physics A. 1984. Vol. 413. P. 1.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ n-ТИПА В ТОНКИХ ПЛЁНКАХ $TiSi_2$ МЕТОДОМ ЭФФЕКТА ХОЛЛА

доц.И.Р. Бекпулатов[1], с.н.с. Б.Д. Игамов[2], докторант. А.М. Нормаматов[1] ,
с.н.с.А.И. Камардин[2], магистр. А.М. Нормаматов[3]
[1]*Каршинский государственный университет, Узбекистан, bekpulatov85@rambler.ru*
[2]*УзР ФА Конструкторское бюро и Опытно-производственный научно-технический центр, ул. Дормон, 33, Ташкент, Узбекистан,E-mail: igamov_bd@mail.ru*
[3]*Магистрант Термезского государственного университета.*

Дисилицид титана ($TiSi_2$) является одним из наиболее перспективных функциональных материалов, широко применяемых в микроэлектронике, оптоэлектронике и сенсорных устройствах благодаря высокой электропроводности, низкому удельному электрическому сопротивлению и высокой совместимости с кремниевой технологией [1]. Одним из наиболее информативных экспериментальных методов исследования механизмов электрического транспорта в полупроводниковых материалах является эффект Холла. Измерения эффекта Холла позволяют определить тип основных носителей заряда, их концентрацию, подвижность, а также установить особенности механизма переноса заряда. Кроме того, температурная зависимость коэффициента Холла предоставляет важную информацию о механизмах рассеяния носителей заряда, положении уровня Ферми и особенностях электронного транспорта в исследуемом материале [2–4]. Несмотря на значительное количество исследований, посвящённых электрофизическим свойствам $TiSi_2$, взаимосвязь между температурной зависимостью коэффициента Холла и кинетикой носителей заряда, особенно в тонких плёнках, до настоящего времени изучена недостаточно полно [5–8].

В связи с этим в настоящей работе проведено комплексное исследование температурных зависимостей коэффициента Холла и концентрации носителей заряда в тонких плёнках $TiSi_2$ в диапазоне температур 100–300 К. На основе полученных экспериментальных данных проанализированы особенности электронного транспорта, подтверждено существование стабильной электронной проводимости (n-типа) и выявлены закономерности термически индуцированной перестройки кинетических параметров носителей заряда. Полученные результаты расширяют современные представления о механизмах переноса заряда в тонких плёнках $TiSi_2$ и обосновывают перспективность их применения при создании датчиков Холла, сенсорных систем и высокостабильных электронных устройств.

Тонкие плёнки $TiSi_2$ были получены с использованием вакуумной установки УВН-75Р**.** Измерения эффекта Холла выполнены на установке HMS-7000 в температурном диапазоне 100–300 К**.**

Экспериментальные результаты показали, что коэффициент Холла (RH) сохраняет отрицательное значение во всём исследованном диапазоне температур. Это свидетельствует о том, что электрическая проводимость тонких плёнок $TiSi_2$ во всём диапазоне температур определяется преимущественно электронами, то есть материал характеризуется стабильной электронной проводимостью (n-типа). Постоянство знака коэффициента Холла указывает на расположение уровня Ферми вблизи зоны проводимости и подтверждает неизменность типа основных носителей заряда при изменении температуры. Полученные результаты свидетельствуют о высокой стабильности электронного транспорта в тонких плёнках $TiSi_2$.

Установлено, что с повышением температуры коэффициент Холла и концентрация носителей заряда изменяются в ограниченных пределах. Данное поведение обусловлено термически индуцированным перераспределением кинетических параметров электронов, прежде всего их концентрации и подвижности. При этом фундаментальный механизм переноса заряда сохраняется

неизменным, тогда как процессы рассеяния электронов, их взаимодействие с дефектными центрами и перенос через межзеренные границы подвергаются определённой перестройке. Следовательно, повышение температуры оказывает влияние на транспортные параметры электронов, однако не приводит к изменению природы основных носителей заряда.

Экспериментально установлено, что во всём исследованном температурном диапазоне выполняется классическое соотношение Холла RH=1/qn,

где q — элементарный заряд, а n — концентрация носителей заряда.

Кроме того, линейная зависимость коэффициента Холла от величины 1/n, подтверждает применимость классической модели Холла к тонким плёнкам $TiSi_2$. Следовательно, температурная зависимость коэффициента Холла определяется главным образом изменением концентрации носителей заряда.

Таким образом, повышение температуры вызывает перераспределение концентрации и подвижности электронов, однако электроны остаются доминирующими носителями заряда во всём исследованном диапазоне температур. Это подтверждает наличие стабильной электронной проводимости (n-типа) и неизменность механизма электрического транспорта в тонких плёнках $TiSi_2$ в интервале 100–300 К (рис. 1).

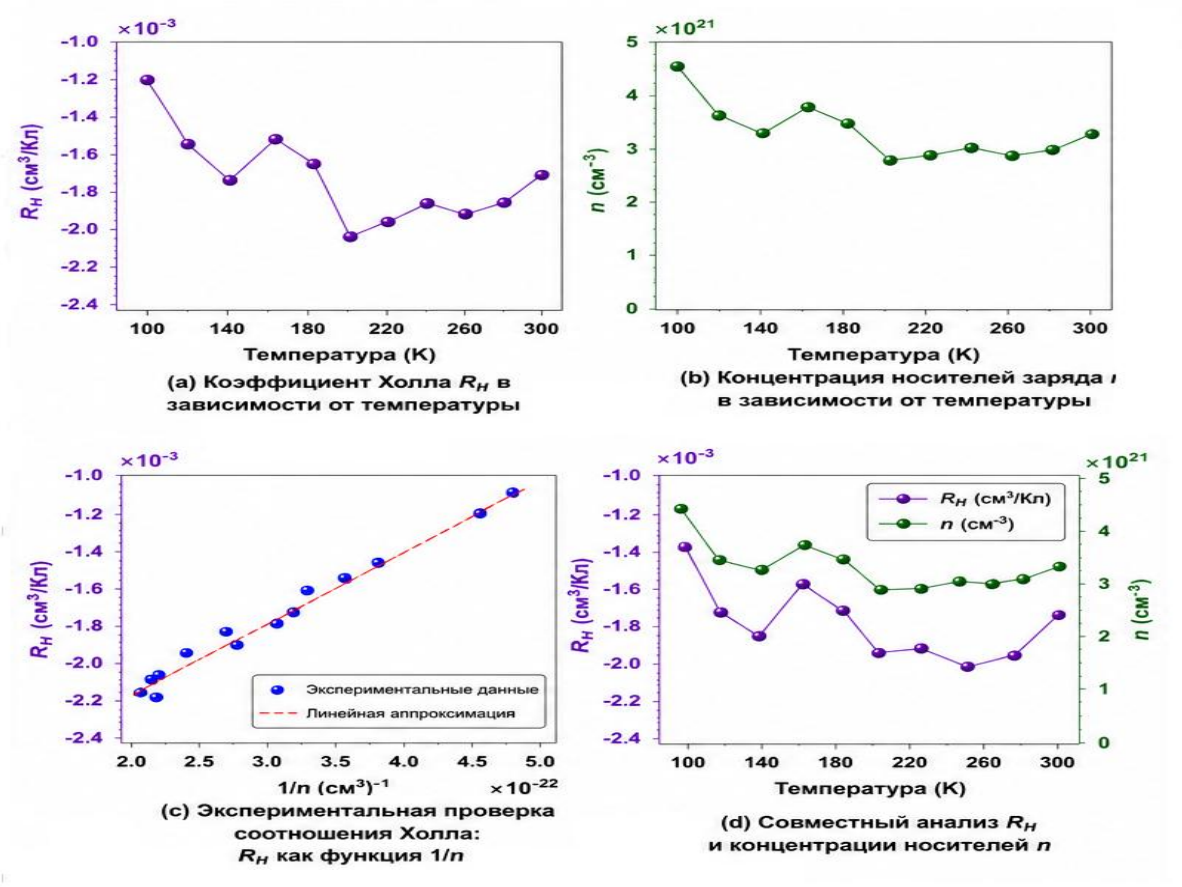


Рис. 1. Анализ температурных зависимостей коэффициента Холла и концентрации носителей заряда в тонких плёнках $TiSi_2$ в диапазоне 100–300 К.

Рис. 1(a). Температурная зависимость коэффициента Холла RH тонких плёнок $TiSi_2$. Отрицательное значение коэффициента Холла во всём исследованном диапазоне температур свидетельствует о доминировании электронной проводимости (n-типа).

Рис. 1(b). Температурная зависимость концентрации носителей заряда в тонких плёнках $TiSi_2$. Незначительное изменение концентрации электронов при повышении температуры обусловлено их термической активацией и изменением механизмов рассеяния.

Рис. 1(c). Зависимость коэффициента Холла RH от величины 1/n. Линейный характер полученной зависимости подтверждает выполнение классического соотношения Холла RH=1/(qn), что свидетельствует о высокой достоверности экспериментальных результатов и корректности определения концентрации носителей заряда.

Рис. 1(d). Сравнительный анализ температурных зависимостей коэффициента Холла и концентрации носителей заряда. Несмотря на изменение концентрации электронов при повышении температуры, коэффициент Холла сохраняет отрицательное значение, что подтверждает стабильность электронной проводимости (n-типа) и неизменность механизма переноса заряда в тонких плёнках $TiSi_2$.

Научная новизна

Впервые в диапазоне температур 100–300 К экспериментально установлено, что коэффициент Холла тонких плёнок $TiSi_2$ сохраняет отрицательное значение во всём исследованном температурном интервале, что подтверждает существование стабильной электронной проводимости (n-типа).

Впервые выявлено, что температурное изменение коэффициента Холла обусловлено термически индуцированной перестройкой кинетических параметров электронов, тогда как тип основных носителей заряда остаётся неизменным.

Полученные результаты демонстрируют высокую стабильность электротранспортных свойств тонких плёнок $TiSi_2$ и обосновывают перспективность их использования при разработке высокочувствительных датчиков Холла, а также современных микро- и оптоэлектронных устройств.

Литература

1. Nava F., Tu K. N., Mazzega E., *et al.* Electrical transport properties of transition-metal disilicide films. *Journal of Applied Physics*, 1987.
2. Affronte M., Laborde O., Lasjaunias J. C., *et al.* Electronic properties of $TiSi_2$ single crystals at low temperatures. *Physical Review B*, 1996.
3. Lee K., *et al.* Electrical size effects of thin C54-$TiSi_2$ films grown on silicon substrates. *Solid State Communications*, 1988.
4. Ellmer K. Hall Effect and Conductivity Measurements in Semiconductor Crystals and Thin Films. Wiley, 2012.
5. Look D. C. Electrical Characterization of GaAs Materials and Devices. Wiley, 1989. (Hall effekti bo‘yicha klassik manba.)
6. B.D. Igamov [a], I.R. Bekpulatov [b], A.M. Normamatov [b],Gunel Imanova, A.I. Kamardin[a].| Correlation between thickness-dependent morphology, phase structure, and vibrational properties of TiO_2 thin fims deposited via DC magnetron sputtering: A multi-technique characterization approach\\Next Materials 9 (2025) 101354. https://doi.org/10.1016/j.nxmate.2025.101354.
7. B.D. Igamov , I.R. Bekpulatov , A.M. Normamatov , A.I. Kamardin , D. Kh. Nabiev ,Gunel Imanova ./ Microstructural, phase and electrophysical properties of TiSi2 alloy synthesized by Spark Plasma Sintering// Journal of Alloys and Compounds 1062 (2026) 187564. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2026.187564
8. Kittel C. Introduction to Solid State Physics. 8th ed., Wiley, 2005.

TEXNIK UGLEROD TO'LDIRUVCHILI SHLAK-ISHQORIY KOMPOZITLARNING ELEKTR XUSUSIYATLARI

M. Karabayeva, Sh. Komilov, U. Abdurahmanov,
O'zbekiston Milliy universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Dielektrik matritsali elektr o'tkazuvchan kompozitlar va o'tkazuvchan to'ldiruvchi ishlab chiqarishda to'ldiruvchi zarrachalarining xususiy o'tkazuvchanligi, purkaladigan to'ldiruvchi miqdori, shuningdek to'ldiruvchi zarrachalarining shakli alohida ahamiyatga ega. Hozirda tadqiq qilmoqdaman.

Yuqori unumli kompozitsion materiallarni yaratish uchun asosiy materialning xususiyatlarini yaxshilaydigan yoki ularni o'zgarishsiz saqlaydigan qo'shimchalarni kiritish zarur. Shuning uchun eng yaxshi samaraga erishish uchun kompozitlarga yangi xususiyatlarni beradigan qo'shimchalarning minimal miqdorini kiritish kerak. Ushbu ishda texnik uglerod bilan to'ldirilgan shlak-ishqorli kompozit materiallarning elektrofizik xususiyatlarini ishlab chiqish va tadqiq etishga hamda geterogen tizimlar nazariyasi doirasida ularning model tuzilishini aniqlashga bag'ishlangan.

Tadqiqot obyekti sifatida elektr po'lat-eritish shlaki, eruvchan suyuq shisha va zarrachalarining o'lchami 10 mkm bo'lgan texnik ugleroddan foydalanilgan.

To'ldiruvchi hajmiy ulushini 0,02 dan 0,6 gacha o'zgartirgan holda bog'lovchi bilan sharsimon agat tegirmonida 7 soat davomida aralashtirish orqali kompozit tayyorlandi. Shlak massasiga nisbatan 3-5% eruvchan suyuq shisha qo'shib, 3 MPa bosim ostida diametri 15 mm va balandligi 2 mm bo'lgan namunalar tayyorlandi. Namunalarga $t = 90 \pm 5^0\ C$ haroratda va $3 + 6 + 3$ soat rejimda issiqlik-namlik ishlovi berildi.

Kompozitsion materiallarda σ asosan to'ldiruvchining kontaktdagi zarrachalari orasidagi izolyatsiyalovchi plyonkalarning xususiyatlari bilan belgilanadi. Bunday tizimlarda oquvchanlik nazariyasi masa- lalarida ko'rib chiqiladigan model tizimlardan farqli o'laroq, o'tkazuvchi zarrachalarning tegib turgan elementlari orasidagi kontakt qarshiligi hisobga olinmaydi, "kontakt oquvchanlik" deb ataladigan holat kuzatiladi. Bu holda ikki komponentli sistemalarning oqish chegarasi yaqinida $\sigma(V_1)$ quyidagi darajali formulalar bilan tavsiflanadi:

$$V_1 < V_c \quad \text{bo'lganida} \quad \sigma(V_1) = \sigma_2 \left(\frac{V_c - V_1}{V_c}\right)^{-q} \qquad (1)$$

$$V_1 > V_c \quad \text{bo'lganida} \quad \sigma(V_1) = \sigma_1 \left(\frac{V_1 - V_c}{1 - V_c}\right)^{t} \qquad (2)$$

$$V_1 = V_c \quad \text{bo'lganida} \quad \sigma(V_1) = h^s \sigma_1 \qquad (3)$$

bu yerda σ_1-to'ldiruvchining o'tkazuvchanligi, σ_2-bog'lovchining o'tkazuvchanligi, $h = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$. (1), (2), (3) dagi t, q va s daraja ko'rsatkichlari, fazaviy o'tishlar nazariyasidagi kabi kritik indekslar deb atalib, uch o'lchamli tizimlar uchun mos holda 1,7; 0,98; 0,62 ga tengdir. Kritik indekslar o'rtasida o'zaro

$$q = t\left(\frac{1}{s} - 1\right) \qquad (4)$$

bog'liqlik mavjud. Kritik indekslarning eksperimental qiymatlarining hisoblangan qiymatlarga yaqinligi shuni ko'rsatadiki, cheksiz klaster topologiyasi haqidagi tasavvurlarni [1] kontaktli oqim holatida ham qo'llash mumkin.

1-jadvalda $P(V_1)$ ning (5) formula bo'yicha hisoblangan qiymatlari keltirilgan bo'lib,

$$P(V_1) = D\left(\frac{V_1 - V_c}{1 - V_c}\right)^{\beta} \qquad (5)$$

bu yerda D - birlik tartibining sonli koeffitsiyenti, β - kritik indeks, uch o'lchovli tizimlar uchun 0,4 ga teng bo'lib, cheksiz klaster (ChK) ning hajmiy ulushi qiymati V_1 ga bog'liq holda quyidagi formula bo'yicha hisoblangan.

$$V_1{}' = \frac{V_1 - V_c}{1 - V_c} \quad (6)$$

$P(V_1)$ ning qiymati oqim chegarasidan uzoqlashgan sari katta V_1 tomon ortib boradi. Bu esa texnik uglerod zarrachalari orasida hosil bo‘lgan chekli klasterlarni asta-sekin qo‘shib, cheksiz klaster yanada "quyuq" bo‘lib borishini anglatadi. Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, V_1 kattalik oqish bo‘sag‘asi yaqinida V_1 ning juda kichik qismini tashkil etadi.

1-jadval. Texnik uglerod bilan to‘ldirilgan shlak-ishqorli bog‘lovchi asosidagi kompozitsiyalar uchun cheksiz klaster tuzilishini tavsiflovchi parametrlarning to‘ldiruvchi hajmiy ulushi V_1 ga bog‘liqligi.

V_1	$V_1{}'$	$P(V_1)$	Z/R	l'	$s_1{}'$	$V_1{}''$	$V_1{}'''$
0,22	0,025	0,23	6,3	1,26	$1{,}05 \cdot 10^{-3}$	$3{,}8 \cdot 10^{-3}$	$2{,}12 \cdot 10^{-2}$
0,27	0,068	0,34	3,8	0,76	$9{,}7 \cdot 10^{-3}$	$6{,}53 \cdot 10^{-2}$	$2{,}7 \cdot 10^{-2}$
0,3	0,13	0,44	2,7	0,554	$1{,}7 \cdot 10^{-2}$	$9{,}97 \cdot 10^{-2}$	$3{,}03 \cdot 10^{-2}$
0,35	0,19	0,51	2,29	0,46	$1{,}06 \cdot 10^{-1}$	$1{,}59 \cdot 10^{-1}$	$3{,}15 \cdot 10^{-2}$
0,37	0,21	0,54	2,18	0,44	$1{,}4 \cdot 10^{-1}$	$1{,}75 \cdot 10^{-1}$	$3{,}5 \cdot 10^{-2}$
0,4	0,29	0,61	1,85	0,37	$2{,}33 \cdot 10^{-1}$	$2{,}49 \cdot 10^{-1}$	$4{,}1 \cdot 10^{-2}$
0,47	0,34	0,65	1,71	0,34	$3{,}4 \cdot 10^{-1}$	$2{,}98 \cdot 10^{-1}$	$4{,}16 \cdot 10^{-2}$
0,5	0,38	0,68	1,62	0,32	$7{,}4 \cdot 10^{-1}$	$3{,}36 \cdot 10^{-1}$	$4{,}4 \cdot 10^{-2}$

Z/R ning qiymati

$$\frac{Z}{R} = \left(\frac{V_1 - V_c}{1 - V_c}\right)^{-(\xi - \nu)} \quad (7)$$

formula bilan hisoblangan bo‘lib, bu yerda bu yerda $= t - \nu,\ t = 2{,}3$ va $\nu = 0{,}9$ bo‘lib, oqim bo‘sag‘asi yaqinida cheksiz klaster juda egri-bugri ekanligini ko‘rsatadi. Skelet uzunligi L va $\sigma_1$kompozitsiyalar qarshiligini bilgan holda, $s' = \frac{1}{L}\frac{l'}{\sigma_1}$ formula bo‘yicha ChK ning o‘rtacha kesimi (bu yerda $l' = \frac{Z}{R} l$;($l = 2\ mm$ -namuna qalinligi) va sl hajmdagi (bu yerda s-namuna kesimi) skeletning hajmiy ulushi $V_1{}''$ hisoblandi. Namunalar uchun skelet hajmiy ulushining birlik hajmdagi qiymati $V_1{}''$va o‘lik uchlar ulushi $V_1{}''' = V_1{}' - V_1{}''$ jadvalda keltirilgan. Oqish chegarasi yaqinida cheksiz klasterga tegishli skeletning hajmiy ulushi o‘lik uchlar ulushiga nisbatan atigi 1-5% ni tashkil etadi. Polimer kompozitsiyalar uchun ham shunga o‘xshash natijalar olingan [2].

Литература

1. Д. Саиткулов, М. Карабаева, Я. Рахимова, Ш. Камилов, У. Абдурахмонов. Перенос носителей заряда в гетерогенных материалах содержащих электропроводящие наночастицы. O‘zMU xabarlari NUUz FIZIKA 3/2 2024, стр. 556-558.

2. Д.Саиткулов, У. Абдурахманов, Я. Рахимова, Ш. Камилов Электропроводность композиционных полимерных материалов на основе полиэтилена содержащих наночастицы меди. O‘zMU xabarlari ACTA NUUz FIZIKA 3/2 2025., стр. 483-486

НЕОДИМ БИЛАН ЛЕГИРЛАНГАН КРЕМНИЙНИНГ ХУСУСИЯТЛАРИНИ ЎРГАНИШ

[1]Далиев Х.С., [2]Хамиджонов И.Х., [2]Каримбаев Е.А.
[1]“МЭИ миллий тадқиқот университети” Федерал давлат бюджети олий таълим муассасасининг Тошкент шаҳридаги филиали, Ўзбекистон, Тошкент
[2]Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги Яримўтказгичлар физикаси ва микроэлектроника илмий - тадқиқот институти, Ўзбекистон, Тошкент
islomjon_xx@mail.ru

Кремний замонавий яримўтказгич электроникаси ва микроэлектрониканинг асосий материалларидан бири ҳисобланади. Унинг электр ва оптик хусусиятларини назорат қилиш учун турли хил донор ва акцептор аралашмалардан фойдаланилади. Анъанавий равишда кремний фосфор, мишьяк ва бор каби элементлар билан легирланади. Шу билан бирга, ноёб ер элементлари билан легирлаш натижасида кремний материалларига ҳам катта қизиқиш мавжуд. Шу сабабли кремнийнинг тақиқланган соҳасида чуқур энергетик сатҳ хосил қилувчи ва унинг хоссаларини ўзгариш имконини берувчи нодир ер элементларини легирлаб, уларнинг хусусиятлари ўрганилган [1]. Олиб борилган илмий – тадқиқот ишларининг таҳлили шуни кўрсатдики, кремнийга неодим элементини легирлаб, неодим атомларининг кремнийдаги хусусиятлари жуда кам ўрганилган [2-9]. Кремнийни ўстириш жараёнида хосил бўладиган технологик нуқсонлар билан неодим атомларининг таъсирлашиши бўйича жуда кам маълумотлар мавжуд.

Ушбу илмий ишда кремнийга неодим атомларини диффузия усули билан легирлаб, монокристалл кремнийни ўстириш жараёнида хосил бўладиган технологик нуқсонлар билан неодим атомларининг таъсирлашув ва неодим атомларининг кремнийдаги хусусиятлари ҳамда солиштирма қаршилигини ўзгаришини ўрганишга бағишланган. Тадқиқот учун, солиштирма қаршилиги 48 Ом·см бўлган, Чохраль усулида ўстирилган p-типли монокристалл кремнийдан фойдаланилган. Киришма элементи сифатида, тозалиги 99.999 % бўлган неодим элементи олинди. Монокристалл кремний намуналарнинг ўлчами 12x6x1,8 мм га тенг.

Диффузиядан олдин монокристалл кремний намуналарига механик ва кимёвий ишлов берилган. Шу намуналар сиртига ВУП-4 қурилмаси ёрдамида неодим атомлари юқори вакуум (10^{-6} мм. сим. уст.) остида пуркалди. Ушбу намуналар кварц шишадан тайёрланган ампулаларга жойлаштирилди. Ампула ичидаги ҳаво сўриб олиниб, юқори вакуум хосил қилинди. Диффузия жараёни СУОЛ-4 печи ёрдамида T=1300°C температурада t=10 соат вақт давомида олиб борилди. Диффузиядан кейин, намуналар тез совитилди.

Олинган натижаларни таққослаш учун, солиштирма қаршилиги 48 Ом·см бўлган p-типли монокристалл кремний (киришмасиз, контроль) намуналарини ҳам кварц шишадан тайёрланган ампулаларга жойлаштирилди. Ампулалар ичидаги ҳаво сўриб олинди ва юқори вакуум хосил қилинди. Контрол намуналарга ҳам диффузия печи ёрдамида T=1300°C температурада t=10 соат вақт давомида термик ишлов берилди. Неодим билан легирланган кремний ва контроль намуналарнинг солиштирма қаршилиги тўрт зондли усул ёрдамида ўлчанди. Диффузиядан кейинги солиштирма қаршиликнинг қийматлари ва термик ишлов берилган контроль намуналарнинг дастлабки қийматлар билан таққосланди.

Неодим билан легирланган кремний намуналарининг дастлабки солиштирма қаршилиги 48 Ом·см бўлган бўлса, диффузиядан сўнг, намуналарнинг солиштирма қаршилиги 90-115 Ом·см га

ўзгариши ва намуналарнинг ўтказувчанлик типи эса ўзгармай қолгани кузатилди. Термик ишлов берилган контроль намуналарнинг солиштирма қаршилиги қийматлари 29 Ом·см га ўзгариши ва намуналарнинг ўтказувчанлик типи эса ўзгармай қолгани кузатилди.

Монокристалл кремнийни ўстириш жараёнида хосил бўладиган технологик нуқсонлар (оптик фаол кислород ва оптик фаол углерод) билан киришма атомларининг ўзаро таъсирини ҳам ўрганилди. Оптик фаол кислород $N_o^{опт}$ ва оптик фаол углерод $N_c^{опт}$ концентрацияларини хона температурасида аниқлаш учун 370÷7800 см$^{-1}$ диапазонида ишлайдиган ФСМ-2201 инфрақизил спектрометридан фойдаланилди [10]. Кислород учун 1106 см$^{-1}$ (9,1 мкм) ораликда ИҚ - ютилиш спектрлари ўлчанди. Углерод учун эса 607 - 620 см$^{-1}$ ораликда ИҚ - ютилиш спектрлари ўлчанди.

Кремний кристалл панжарасидаги назорат қилиб бўлмайдиган технологик нуқсонлар билан неодим киришма атомларининг ўзаро таъсирлашиши ҳам ўрганилди. Монокристалл кремний (эталон) намунасининг дастлабки оптик фаол кислород концентрацияси $N_o^{опт} = 0{,}804 \cdot 10^{17}$ см$^{-3}$ ва оптик фаол углерод концентрацияси $N_c^{опт}$ = 4,691·10^{17} см$^{-3}$ га тенг эканлиги тадқиқот натижалари асосида аниқланди. Кремнийдаги мавжуд технологик нуқсонлар кислород ва углерод атомлари бўлиб, уларнинг концентрациялари кремний кристалл панжарасида 10^{17}-10^{18} см$^{-3}$ гача мавжуд бўлади.

Контрол намуналарни T=1300°C температурада t=10 соат вақт давомида термик ишлов берилгандан кейин оптик фаол кислород концентрацияси $N_o^{опт} = 1{,}247 \cdot 10^{17}$ см$^{-3}$ ва оптик фаол углерод концентрацияси $N_c^{опт}$ = 9,055·10^{17} см$^{-3}$ қийматга ўзгарди. Кремнийга неодим атомларини T=1300°C температурада t=10 соат вақт давомида диффузия қилинган ва тез совитилган намуналарда эса оптик фаол кислород концентрацияси $N_o^{опт} = 0{,}037 \cdot 10^{17}$ см$^{-3}$ ва оптик фаол углерод концентрацияси $N_c^{опт}$ = 4,293·10^{17} см$^{-3}$ қийматга тенг бўлиб қолган.

Бундан кўриниб турибдики, неодим атомлари кислород билан комплекс хосил қилар экан деган хулосага келиш мумкин. Термик ишлов берилган намуналарда эса оптик фаол кислород концентрацияси ортиши кузатилди. Кремнийдаги мавжуд технологик нуқсонлар кислород ва углерод атомлари бўлиб, уларнинг концентрациялари кремний кристалл панжарасида 10^{17}-10^{18} см$^{-3}$ гача мавжуд бўлади. Бундан ташқари кремний монокристалини нодир ер элементлари билан легирланганда ковалент радиусларининг фарқи туфайли ички эластик кучларнинг пайдо бўлишига олиб келади.

ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ:

1. Н.В.Латухина, В.М.Лебедев. Диффузионное легирование кремния редкоземельными элементами. Материалы электронной техники. 2011 г. №1. с. 7-12.

2. Nd-doping effects on properties of amorphous silicon films prepared by electron beam evaporations. *Materials Letters*, 32(2–3), 91–95, 1997. DOI: 10.1016/S0167-577X(97)00012-8.

3. Effect of the Nd content on the structural and photoluminescence properties of silicon-rich silicon dioxide thin films. *Nanoscale Research Letters*, 6, 161, 2011.

4. Effect of the Si excess on the structure and the optical properties of Nd-doped Si-rich silicon oxide. *Journal of Luminescence*, 132(12), 3118–3121, 2012. DOI: 10.1016/j.jlumin.2012.01.046.

5. Study of photoluminescence properties of Nd-O$^+$-codoped Si-based thin film. *Asia Communications and Photonics Conference*, 2009, WL37.

6. Improvement in the structural, morphological and optical properties of porous Si after doping with Nd_2O_3. *Ceramics International*, 51(18), 25899–25918, 2025.

7. Runjin Gan [a], Fengmin Liu [a], Li Qi [a], Jizheng Wang [b]. Nd-doping effects on properties of amorphous silicon films prepared by electron beam evaporations. Department of Basic Science Courses, BIM, Beijing

100085, China b Department of Physics, Lmzhou Uniuersity, Lanzhou 730000, China Received 31 May 1996; revised 16 December 1996; accepted 17 December 1996. https://doi.org/10.1016/S0167-577X(97)00012-8

8. Larysa Khomenkova, Christophe Labbé, Xavier Portier, Marzia Carrada, Fabrice Gourbilleau. Undoped and Nd^{3+} doped Si-based single layers and superlattices for photonic applications. 14 November 2012, revised 4 February 2013, accepted 28 February 2013 Published online 26 June 2013. https://doi.org/10.1002/pssa.201200942

9. S. Duhan [a], P. Aghamkar [a b], Bhajan Lal [b c]. Influence of temperature and time on Nd-doped silica powder prepared by the solgel process. Journal of Alloys and Compounds. Volume 474, Issues 1–2, 17 April 2009, Pages 301-305. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2008.06.095

10. Фурье-спектрометры инфракрасные ФСМ. Санкт – Петербург. 2021 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АТОМОВ Mn В КРЕМНИИ МЕТОДОМ ТЕОРИИ ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ

О. Э. Саттаров, А.Р.Тошев, Ш. Хайтбаев, Б.Б.Носиров
Ташкентский государственный технический университет,
Ташкент, Узбекистан
e-mail: olmossattarov1974@gmail.com

Кремний является одним из основных материалов современной микро- и наноэлектроники, однако его собственные магнитные свойства ограничены. Введение переходных металлов в кремниевую матрицу представляет интерес для формирования материалов, в которых электронные и магнитные свойства могут управляться концентрацией и локальным окружением примесных атомов [1].

Особый интерес представляет марганец, поскольку частично заполненные 3d-состояния Mn способны формировать локальные магнитные моменты и изменять спиновую структуру электронной системы кремния. При наличии нескольких атомов Mn дополнительно возникает возможность их прямого или опосредованного магнитного взаимодействия через кристаллическую матрицу.

В данной работе рассматривается система $Si_{64}Mn_2$ с двумя атомами Mn. В отличие от анализа одиночной примеси, наличие двух магнитных центров позволяет непосредственно сравнить различные взаимные ориентации их спинов. Для этого были исследованы две предельные конфигурации — ферромагнитная (FM), при которой магнитные моменты ориентированы параллельно, и антиферромагнитная (AFM), характеризующаяся противоположной ориентацией локальных спинов.

Целью работы являлось определение энергетического различия между двумя магнитными состояниями и анализ распределения магнитного момента между атомами Mn и окружающей кремниевой матрицей.

Для моделирования использовалась кремниевая сверхъячейка, содержащая 64 атома Si и два атома Mn. Расчёты выполнялись в рамках спин-поляризованной теории функционала плотности [2,3]. Для FM- и AFM-конфигураций использовалась одна и та же атомная геометрия, что позволяет связывать различие полной энергии преимущественно с различием спинового состояния.

Электронная структура рассчитывалась с использованием плоских волн и псевдопотенциалов. Энергия обрезания для волновых функций составляла 50 Ry, а для плотности заряда — 480 Ry. Для

описания двух магнитных конфигураций задавалось соответствующее начальное распределение спиновой поляризации атомов Mn.

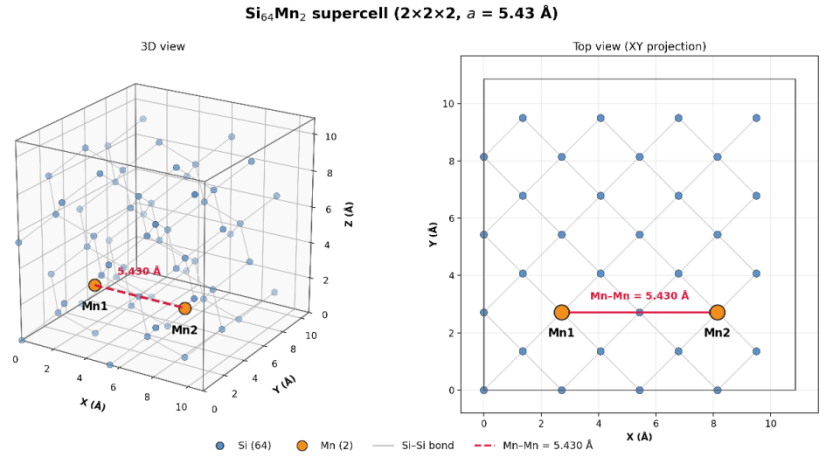


Рис. 1 - Геометрическая модель сверхъячейки $Si_{64}Mn_2$ с двумя атомами Mn.

Размещение двух магнитных центров в одной сверхъячейке позволяет исследовать не только локальные магнитные свойства Mn, но и изменение общей спиновой структуры системы при смене взаимной ориентации магнитных моментов.

При анализе результатов использовались полная энергия системы, суммарная магнитизация и абсолютная магнитизация. Дополнительно рассматривались локальные магнитные моменты, определяемые интегрированием магнитной плотности в атомных сферах.

Для ферромагнитной конфигурации после самосогласованного расчёта получена полная энергия E(FM) = −3563.26014362 Ry.

Суммарная магнитизация системы составляет 4.00 μ_B на сверхъячейку, а абсолютная магнитизация — 5.45 μ_B. Таким образом, магнитная поляризация не ограничивается только суммарным моментом двух Mn, а сопровождается дополнительным распределением спиновой плотности в окружающей кремниевой матрице.

Особенно важным является анализ локальных магнитных моментов. Для первого атома Mn получен локальный момент около +2.45 μ_B, а для второго — около +1.35 μ_B. Неравенство этих значений показывает, что два магнитных центра находятся в неэквивалентном электронном окружении и их вклад в общую магнитизацию различается.

Для антиферромагнитной конфигурации получена полная энергия порядка E(AFM) = −3562.86577971 Ry.

При этом суммарная магнитизация практически равна нулю, тогда как абсолютная магнитизация составляет около 6.88 μ_B. Такое сочетание величин указывает на наличие локально поляризованных областей с взаимной компенсацией противоположных спиновых вкладов.

Энергетическое различие между рассматриваемыми конфигурациями определяется выражением $\Delta E = E(AFM) - E(FM)$.

На основании рассчитанных значений получено $\Delta E \approx 0.39436$ Ry ≈ 5.37 eV ≈ 5366 meV на сверхъячейку $Si_{64}Mn_2$.

Таким образом, две исследованные спиновые конфигурации характеризуются существенно различающейся полной энергией. При этом данную величину корректно рассматривать именно как разность полных энергий двух рассчитанных магнитных состояний. Для интерпретации её как

количественной обменной константы требуется дополнительное сопоставление с соответствующей моделью обменного взаимодействия и определение эффективного гамильтониана.

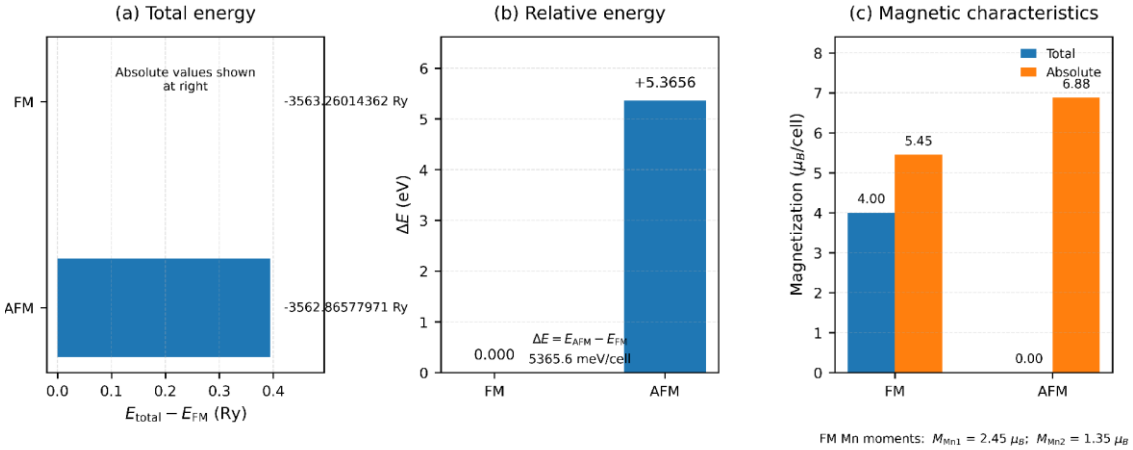


Рис. 2 - Сравнение FM- и AFM-конфигураций $Si_{64}Mn_2$ по полной энергии и магнитным характеристикам.

Полученные значения магнитизации показывают, что изменение взаимной ориентации спинов Mn приводит к существенному изменению макроскопического магнитного момента сверхъячейки. В FM-состоянии магнитные вклады дают ненулевую суммарную магнитизацию, тогда как в AFM-состоянии они практически компенсируются.

Отдельного внимания заслуживает различие между суммарной и абсолютной магнитизацией. Нулевая или близкая к нулю суммарная магнитизация не означает отсутствия локальной спиновой поляризации. Напротив, величина абсолютной магнитизации для AFM-состояния показывает наличие значительных локальных противоположно ориентированных магнитных вкладов.

В рамках спин-поляризованных DFT-расчётов исследованы FM- и AFM-состояния системы $Si_{64}Mn_2$ при одинаковой атомной геометрии. Для FM-конфигурации получена суммарная магнитизация 4.00 μ_B, а абсолютная магнитизация составила 5.45 μ_B. Локальные моменты двух атомов Mn имеют значения около 2.45 и 1.35 μ_B, соответственно.

Для AFM-конфигурации суммарная магнитизация практически компенсируется, тогда как абсолютная магнитизация достигает 6.88 μ_B, что подтверждает наличие локальной спиновой поляризации при противоположной ориентации магнитных вкладов.

Разность полных энергий двух состояний составляет около 5.37 eV на сверхъячейку. Данный результат демонстрирует сильную зависимость электронной и магнитной структуры $Si_{64}Mn_2$ от спиновой конфигурации атомов Mn.

Полученные результаты являются основой для дальнейшего исследования Mn-содержащего кремния с учётом взаимодействия Mn с акцепторной примесью бора (B). В частности, представляет интерес установить, каким образом присутствие бора изменяет локальные магнитные моменты Mn, распределение спиновой плотности и энергетическое предпочтение различных магнитных конфигураций. Такой анализ позволит связать атомно-электронную модель с экспериментально наблюдаемыми магнитными свойствами Mn-диффундированного бор-легированного кремния.

Литература

1. Sattarov O.É., Mavlyanov A.S., An A. Effect of manganese atoms on the magnetic properties of silicon. Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2023, 59(2), p. 216. https://doi.org/10.3103/S106837552302014X

2. P.Giannozzi et al. Advanced capabilities for materials modelling with Quantum ESPRESSO // J. Phys.: Condens. Matter. 2017. Vol. 29. 465901. https://doi.org/10.1088/1361-648X/aa8f79

3. Giannozzi et al. QUANTUM ESPRESSO toward the exascale // J. Chem. Phys. 2020. Vol. 152. 154105. https://doi.org/10.1063/5.0005082

ULTRASONIC SPRAY PYROLYSIS GROWTH AND X-RAY DIFFRACTION ANALYSIS OF C-AXIS TEXTURED ZnO FILMS ON p-Si

A.K. Soatov,
[1]*Center for Nanotechnologies Development, National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan*
e-mail:soatovazim36@gmail.com

Zinc oxide is a wide-bandgap (≈3.37 eV) semiconductor whose wurtzite lattice is piezoelectric along the polar c-axis [1, 2]. For piezotronic and pressure-sensitive devices on silicon, ZnO films with a strong (002) texture must be obtained by a simple and scalable method. Here we report the growth of such films by ultrasonic spray pyrolysis (USP) and a quantitative XRD analysis of their texture, lattice parameters and residual stress.

ZnO films were deposited on p-Si(100) (1×1 cm^2, $\rho \approx 10$ Ω·cm) cleaned in acetone, ethanol and deionized water. The precursor was a 0.5 M aqueous solution of $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ stirred at 60 °C for 2 h. The solution was atomized by a 2.4 MHz ultrasonic nebulizer, and the aerosol was carried into a quartz chamber onto the substrate heated to 400 °C (nozzle–substrate distance 30 cm, flow rate 2 mL/min, deposition time 10 min). XRD was measured on a Shimadzu XRD-7000 (Cu Kα, 2θ = 20–60°).

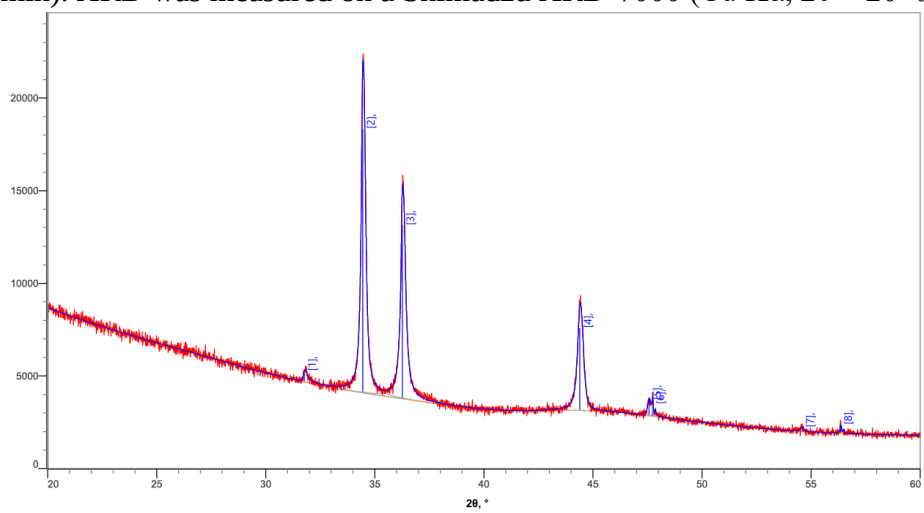


Fig. 1. XRD pattern of the USP-grown ZnO film on p-Si(100).

The pattern (Fig. 1) contains the (100), (002), (101), (102) and (110) reflections of wurtzite ZnO (JCPDS 36-1451) at 31.76°, 34.44°, 36.25°, 47.56° and 56.33°. The (002) peak dominates. Three weak additional peaks (44.39°, 47.73°, 54.58°) do not belong to ZnO and are attributed to extrinsic (holder/substrate) reflections. The texture coefficient $TC = (I/I_0)/[N^{-1}\Sigma(I/I_0)]$ [3] is 3.39 for (002) and below 1 for all other planes (Table 1). About two thirds of the maximum possible texture ($TC_{max} = 5$) is therefore concentrated along the c-axis, which reflects the lowest surface energy of the (0001) plane.

Table 1. Structural parameters of the ZnO film

hkl	2θ, °	d, Å	FWHM, °	D, nm	TC
(100)	31.76	2.815	0.14	63	0.11
(002)	34.44	2.602	0.18	48	3.39
(101)	36.25	2.476	0.18	47	0.98
(102)	47.56	1.910	0.14	65	0.38
(110)	56.33	1.632	0.07	132	0.15

The lattice parameters are $c = 2d_{002} = 5.205$ Å and $a = 2d_{100}/\sqrt{3} = 3.251$ Å ($c/a = 1.601$), close to the bulk values 5.207 Å and 3.250 Å. The out-of-plane strain $\varepsilon_{zz} = -3.8\cdot10^{-4}$ corresponds to an in-plane tensile stress of ≈0.17 GPa ($\sigma = -453.6\cdot\varepsilon_{zz}$ GPa), consistent with the thermal mismatch between ZnO and Si. The Scherrer domain size along [0001] is ≈48 nm, and the dislocation density is $\approx4.3\cdot10^{14}$ m^{-2}.

Thus, USP at 400 °C gives nanocrystalline wurtzite ZnO films on Si with a strong c-axis texture and a low residual stress. Such films are suitable for piezotronic and pressure-modulated heterostructures [4]. The structural parameters obtained from peak fitting are listed in Table 2. The interplanar spacing corresponding to the dominant (002) reflection was determined to be 2.602 Å, which is in good agreement with the reported value for bulk hexagonal ZnO. The average crystallite size was estimated using the Scherrer equation and was found to be approximately 48 nm for the (002) reflection. Crystallite sizes derived from the remaining reflections range from approximately 35 to 65 nm, indicating the formation of a nanocrystalline polycrystalline ZnO film. It should be noted that Scherrer-based calculations provide an estimate of coherent diffraction domain size and do not account for instrumental broadening or lattice strain effects. The relatively narrow full-width-at-half-maximum (FWHM) values observed for the principal reflections indicate a satisfactory degree of crystallinity throughout the deposited layer. Furthermore, the strong c-axis texture revealed by XRD provides an important structural basis for the pressure-dependent electrical behavior discussed in subsequent sections. Under external mechanical loading, polarization charges generated along the preferentially oriented ZnO crystallites can modify the local electrostatic potential distribution at the Ag/ZnO interface and thereby influence carrier transport across the Ag/ZnO/SiO_2/p-Si heterostructure.

References

1. Özgür Ü. et al. A comprehensive review of ZnO materials and devices, J. Appl. Phys. 2005. V. 98. 041301.

2. Morkoç H., Özgür Ü. Zinc Oxide: Fundamentals, Materials and Device Technology. Weinheim: Wiley-VCH, 2009.

3. Harris G.B. Quantitative measurement of preferred orientation in rolled uranium bars, Philos. Mag. 1952. V. 43. P. 113–123.

4. Soatov A.K., Yuldashev S.U., Arslanov A.O. ACS Appl. Electron. Mater. 2026. https://doi.org/10.1021/acsaelm.6c00837.

RUX OKSIDI PLYONKALARINING TUZILMAVIY XUSUSIYATLARIGA MAGNIY KIRISHMA ATOMLARINING TA’SIRI

Zaynabidinov S.Z., Qo‘chkarova M.O., Rasulova M.B.
Andijon davlat universiteti
e-mail:rasulovamarhabo@gmail.com.

Bugungi kunda mikro va nanoelektronikaning jadal rivojlanishi yangi avlod yarimo‘tkazgich materiallarini yaratish, ularning tuzilmaviy va fizik xususiyatlarini boshqarish hamda kichik o‘lchamli elektron qurilmalarda qo‘llash imkoniyatlarini kengaytirishni talab etmoqda. Ayniqsa, yupqa plyonkalar, nanotuzilmali materiallar va funksional oksidli yarimo‘tkazgichlar asosida yangi elektron va optoelektron qurilmalarni ishlab chiqish zamonaviy materialshunoslikning muhim yo‘nalishlaridan hisoblanadi.

Rux oksidi (ZnO) keng taqiqlangan energetik zonaga ega bo‘lgan II-VI guruh metall oksidli yarimo‘tkazgich bo‘lib, yuqori optik shaffofligi, nisbatan katta eksiton bog‘lanish energiyasi, kimyoviy barqarorligi va elektr xususiyatlarini boshqarish imkoniyati bilan mikro va nanoelektronika uchun istiqbolli materiallardan biridir. ZnO asosidagi yupqa plyonkalar shaffof o‘tkazuvchi qatlamlar, fotodetektorlar, gaz sensorlari, yorug‘lik chiqaruvchi va quyosh energetikasi qurilmalarida qo‘llanilishi mumkin.

Yarimo‘tkazgich materiallarning xususiyatlarini boshqarishda ularning tarkibiga kirishma atomlarini kiritish muhim ahamiyatga ega. Xususan, ZnO tarkibiga magniy (Mg) atomlarini kiritish orqali uning kristall tuzilishi va tuzilmaviy parametrlarini modifikatsiyalash mumkin. Mg^{2+} ionlarining Zn^{2+} ionlaridan farqli ion radiusiga ega ekanligi ZnO kristall panjarasida lokal deformatsiyalarni yuzaga keltirishi va natijada kristall panjara parametrlari, kristallit o‘lchami, ichki kuchlanish kabi ko‘rsatkichlarning o‘zgarishiga olib keladi[1,2].

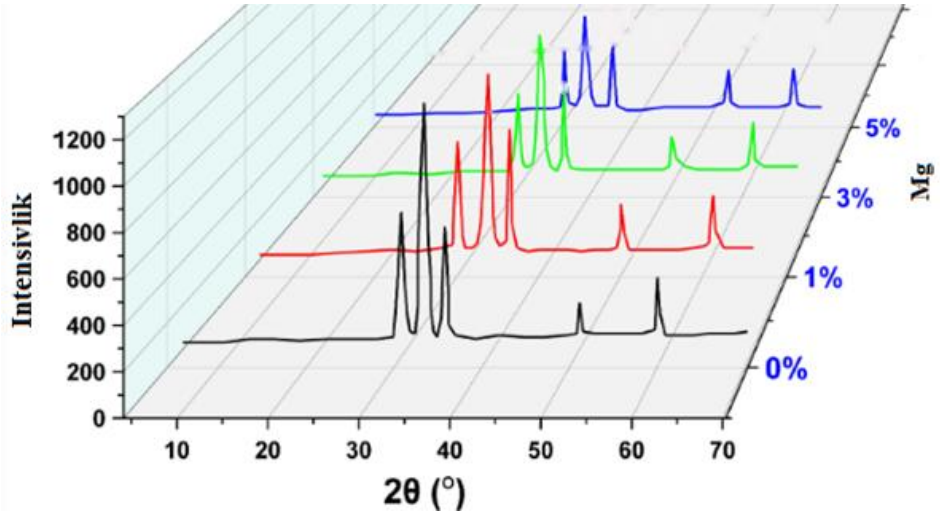
ZnO va Mg qo‘shilgan ZnO yupqa plyonkalarini olishda zol-gel usulidan foydalanish mumkin. Bunda dastlab rux asetat digidrat [$Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$] asosiy prekursor sifatida olinadi. Erituvchi sifatida izopropil spirti, stabilizator sifatida esa dietilamin ishlatilishi mumkin. Mg manbai sifatida magniy asetat qo‘shiladi. Tadqiqot uchun Mg miqdori turlicha bo‘lgan namunalar shartli ravishda quyidagicha belgilanadi: ZnO — Mg qo‘shilmagan; ZnO:Mg1-1 at.% Mg; ZnO:Mg-3 — 3 at.% Mg; ZnO:Mg 5- 5 at.% Mg. Olingan plyonkalarning kristall tuzilishi X-nurli difraksiya (XRD) usuli yordamida o‘rganiladi. XRD spektrlaridagi difraksion maksimumlarning holati, intensivligi va yarim kengligi asosida kristall panjara parametrlari hamda kristallit o‘lchamlari aniqlanishi mumkin. Kristallitlarning o‘rtacha o‘lchami Debay–Sherrer formulasi yordamida baholanadi[3,4]:

$$D = K\lambda/(\beta \cos\theta)$$

bu yerda, D - kristallit o‘lchami, K- koeffitsiyenti, λ -rentgen nurlanishining to‘lqin uzunligi, β- difraksion maksimumning yarim kengligi, θ — Bragg burchagi

1-grafikda 0-5% Mg oralig‘ida ZnO ga xos asosiy akslanishlarning saqlanib qolishi Mg qo‘shilishi ZnO ning asosiy wurtzit kristall tuzilmasini keskin buzmaganligini ko‘rsatadi. Shu bilan birga, pik intensivligi va kengligidagi o‘zgarishlar kristallik sifati hamda kristallit o‘lchamining Mg konsentratsiyasiga bog‘liq ravishda o‘zgarishini ko‘rsatishi mumkin.

XRD natijalaridan ko‘rinadiki, barcha namunalar uchun ZnO ning geksagonal vyurtzit kristall tuzilmasiga xos (100), (002), (101), (102) va (110) kristallografik tekisliklarga tegishli difraksion maksimumlar kuzatiladi. Mg konsentratsiyasining ortishi bilan difraksion maksimumlarning intensivligi va shaklida ma’lum o‘zgarishlar yuzaga keladi. Bu holat Mg atomlarining ZnO kristall panjarasiga kirishi natijasida kristall panjarada deformatsiya va ichki kuchlanishlarning paydo bo‘lishi bilan izohlanadi. Biroq, 0–5% Mg konsentratsiya oralig‘ida ZnO ga xos asosiy reflekslarning saqlanib qolishi kristall tuzilmaning asosiy vyurtzit fazasi saqlanganligini ko‘rsatadi.



1-rasm. ZnO:Mg yupqa qatlamlarining 0–5% Mg konsentratsiyalaridagi XRD spektrlari.

ZnO yupqa plyonkalarining XRD difraktogrammasida odatda geksagonal vyurtzit tuzilmaga tegishli (100), (002) va (101) kristallografik tekisliklarga mos difraksion maksimumlar kuzatiladi. Ayniqsa, (002) refleksining yuqori intensivlikka ega bo‘lishi plyonkalarda ma’lum kristallografik yo‘nalish bo‘yicha akslanish mavjudligini ko‘rsatishi mumkin. Mg atomlarining ZnO kristall panjarasiga kirishi natijasida difraksion maksimumlarning holati o‘zgarishi kutiladi. Buning asosiy sababi Mg^{2+} va Zn^{2+} ionlari o‘lchamlarining farqidir. Mg miqdori ortishi bilan kristall panjaraning geometrik parametrlari o‘zgarib, Bragg qonuniga muvofiq difraksion maksimumlarning burchak holatida siljish yuz berishi mumkin. Quyidagi 1- jadval namunaviy hisoblangan qiymatlar asosida keltirilgan.

1-jadval. Mg konsentratsiyasining ZnO plyonkalarining tuzilmaviy parametrlariga ta’siri

Namuna	Mg, at.%	2θ(002), °	Kristallit o‘lchami, nm
ZnO	0	34,42	31,5
ZnO:Mg-1	1	34,46	30,2
ZnO:Mg-3	3	34,51	28,7
ZnO:Mg-5	5	34,57	26,9

Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, Mg konsentratsiyasining ortishi bilan (002) difraksion maksimumining holati o‘zgarishi va kristallitlarning o‘rtacha o‘lchami kamayishi mumkin. Bunday o‘zgarishlar Mg atomlarining kristallanish jarayoniga ta’siri bilan izohlanadi.

Mg qo‘shilishi faqat kristallit o‘lchamiga emas, balki ZnO plyonkalarining teksturasiga ham ta’sir qilishi mumkin. Past konsentratsiyalarda Mg atomlari Zn^{2+} ionlarining o‘rnini egallab, ZnO ning wurtzit tuzilmasini saqlab qolishi mumkin. Mg miqdori ortishi bilan esa kristall panjaradagi deformatsiya va nuqsonlar konsentratsiyasining o‘zgarishi ehtimoli ortadi.[5]

ZnO kristall panjarasida Zn^{2+} ionlari va O^{2-} ionlari o‘zaro bog‘langan bo‘lib, Mg^{2+} ionlari Zn^{2+} ionlarining ayrim kristallografik o‘rinlarini egallashi mumkin. Ion radiuslarining farqi kristall panjarada lokal deformatsiyalar hosil qiladi.

Mg atomlarining kiritilishi natijasida quyidagi jarayonlar kuzatilishi mumkin:

1. kristall panjara parametrlarining o‘zgarishi;
2. ichki kuchlanishlarning paydo bo‘lishi yoki qayta taqsimlanishi;

3. kristallitlarning o'sish jarayonining o'zgarishi;
4. kristallik darajasining o'zgarishi;
5. kristall nuqsonlari konsentratsiyasining o'zgarishi.

Mg konsentratsiyasi juda yuqori bo'lganda esa ZnO kristall panjarasining barqarorligi buzilishi yoki qo'shimcha fazalar paydo bo'lishi ehtimolini ham hisobga olish lozim. Shu sababli Mg konsentratsiyasining optimal qiymatini aniqlash muhim ilmiy-amaliy masala hisoblanadi.

Mg konsentratsiyasining ortishi bilan ZnO plyonkalarining XRD difraktogrammasidagi asosiy maksimumlarning burchak holati o'zgarishi, kristallit o'lchami va kristallik darajasi esa ma'lum tendensiya bo'yicha o'zgarishi mumkin. Past Mg konsentratsiyalarida ZnO ning geksagonal wurtzit tuzilmasi saqlanib qolishi kutiladi.

Shunday qilib, ZnO:Mg yupqa plyonkalarining tuzilmaviy xususiyatlarini Mg konsentratsiyasi orqali boshqarish ularni optoelektron qurilmalar, quyosh elementlari, ultrabinafsha detektorlar va sensor tizimlarida qo'llash uchun muhim imkoniyat yaratadi. Bunda optimal Mg konsentratsiyasini tajribaviy ravishda aniqlash materialning tuzilmaviy, optik va elektr xususiyatlarini kompleks o'rganishni talab qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Özgür Ü., Alivov Ya.I., Liu C., et al. A comprehensive review of ZnO materials and devices. *Journal of Applied Physics*, 2005, 98, 041301.
2. Klingshirn C. ZnO: From basics towards application. *Physica Status Solidi (b)*, 2007, 244, 3027–3073.
3. Pearton S.J., Norton D.P., Ip K., Heo Y.W., Steiner T. Recent progress in processing and properties of ZnO. *Progress in Materials Science*, 2005, 50, 293–340.
4. Cullity B.D., Stock S.R. *Elements of X-Ray Diffraction*. 3rd ed. Prentice Hall, 2001.
5. Sharma P., et al. Mg-doped ZnO thin films: structural and optical properties.

Si/C NANOKOMPOZIT MATERIALLARINI OLISHDA Si NANOZARRACHALARINING STRUKTURAVIY VA MORFOLOGIK XUSUSIYATLARI

I.J. Abdisaidov, M.M. Adilov

Qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan samarali foydalanish, energiyani elktr energiyasiga samarali aylantirish hamda energiya samaradorligini oshirish zamonaviy ilm-fan va texnologiyaning muhim yo'nalishlaridan biridir. Ayniqsa, issiqlik energiyasini bevosita elektr energiyasiga aylantirish imkonini beruvchi termoelektrik materiallarni yaratish va ularning funksional xususiyatlarini yaxshilash bo'yicha tadqiqotlar katta ilmiy va amaliy ahamiyatga ega.

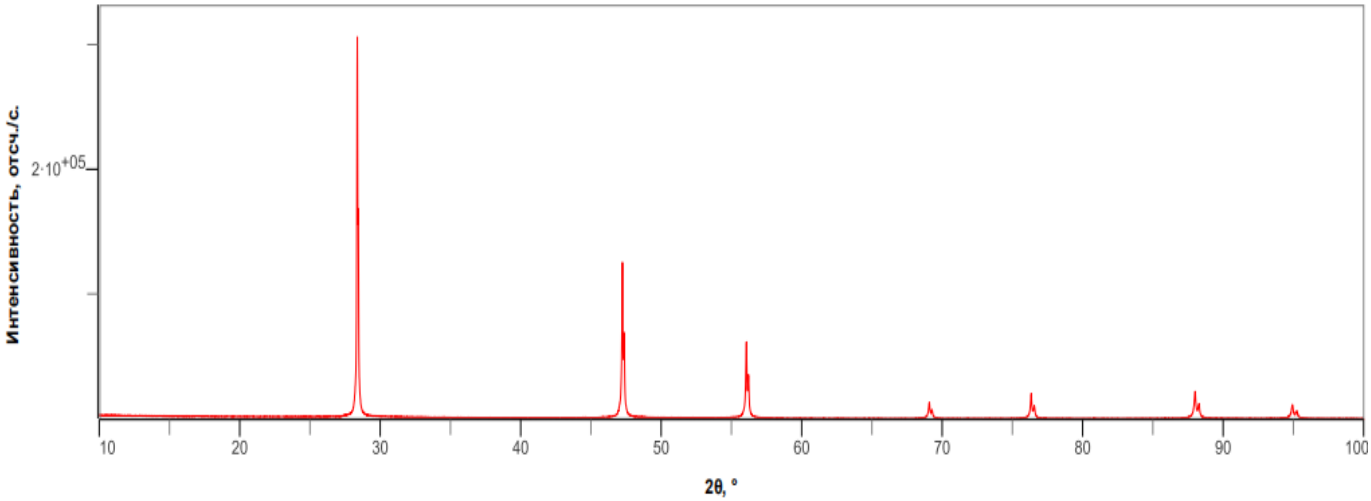
Termoelektrik materiallarning samaradorligi ularning elektr va issiqlik transport xususiyatlari bilan belgilanadi. Bunday materiallarda yuqori elektr o'tkazuvchanlik, yetarlicha katta Zeebek koeffitsienti va past issiqlik o'tkazuvchanlikni birgalikda ta'minlash muhim hisoblanadi. Shu sababli nanostrukturali va kompozit materiallardan foydalanish orqali ularning elektr, issiqlik va termoelektrik xususiyatlarini boshqarish istiqbolli yo'nalishlardan biri hisoblanadi [1].

Kremniy (Si) yuqori haroratlarda barqarorligi, keng tarqalganligi va yarimo'tkazgich xususiyatlari bilan termoelektrik materiallar uchun istiqbolli komponentlardan biridir [2]. Biroq sof kremniyning nisbatan yuqori issiqlik o'tkazuvchanligi uning termoelektrik samaradorligini cheklovchi omillardan biri hisoblanadi. Kremniyni uglerod asosidagi nanomateriallar, xususan, uglerod nanonaychalari (UNN) bilan kompozitlash orqali materialning elektr va issiqlik transport jarayonlarini boshqarish, shuningdek, Si/C interfeyslar va nanostrukturaviy chegaralar sonini oshirish imkoniyati paydo bo'ladi.

Si/C nanokompozit materiallarining xususiyatlari, avvalo, boshlang‘ich Si nanozarrachalarining o‘lchami, kristallik darajasi, morfologiyasi, zarracha o‘lchamlari taqsimoti hamda uglerod komponentining Si matritsasida bir tekis taqsimlanishiga bog‘liq. Shu sababli Si nanozarrachalarini olish va ularning strukturaviy hamda morfologik xususiyatlarini aniqlash Si/C nanokompozitlarini shakllantirishning muhim bosqichlaridan biridir.

Mazkur tadqiqotning maqsadi Si/C nanokompozit materiallarini tayyorlash uchun foydalaniladigan kremniy nanozarrachalarini olish hamda ularning kristall strukturasi va zarracha o‘lchamlari bo‘yicha taqsimlanishini o‘rganishdan iborat.

Kukun holatidagi kremniy (Si) nanozarralari “Retsch PM400” sharli tegirmon yordamida, 350 ayl/min tezlik bilan alyuminiy (Al) sharchalardan foydalangan holda tayyorlab olindi. Bu jarayonda Si va Al sharchalarining hajmiy nisbati mos ravishda 1:2 bo’ladi. Mexanik maydalash natijasida olingan Si kukunining kristall strukturasi rentgen difraksiyasi (XRD) usuli yordamida tekshirildi va olingan natijalar quyidagi 1-rasmda ko’rsatilgan.

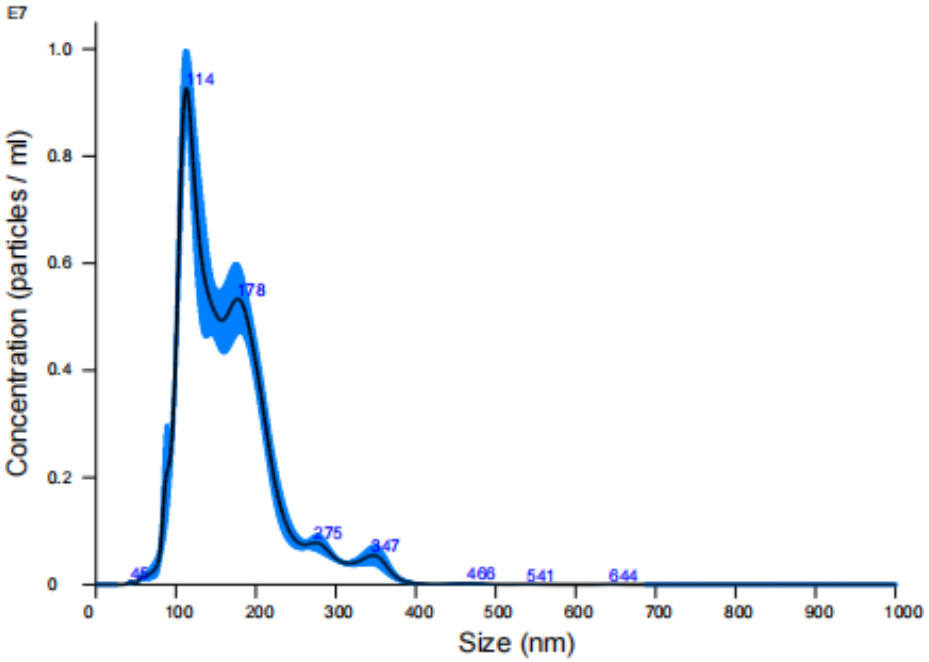


1-rasm. Tayyorlangan Si nanozarrachalarining XRD diffraktogrammasi.

1-rasmda Si nanozarrachalarining XRD natijalari keltirilgan. Difraktogrammada 2θ ≈ 28,4° sohada yuqori intensivlikka ega asosiy difraksion maksimum kuzatiladi. Shuningdek, 2θ ≈ 47,3°, 56,1°, 69,1°, 76,4°, 88° va 95° sohalarda qo‘shimcha difraksion maksimumlar mavjud. Ushbu reflekslarning joylashuvi kristall kremniyga xos difraksiya tekisliklariga mos keladi. Xususan, taxminan 28,4° dagi kuchli maksimum Si(111), 47,3° dagi refleks Si(220), 56,1° dagi refleks Si(311) kristallografik tekisliklari bilan bog‘lanadi. Yuqori burchaklardagi qo‘shimcha reflekslar ham kristall kremniyning boshqa tekisliklariga tegishli.

Difraktogrammada Si ga tegishli asosiy piklarning aniq va yuqori intensivlikda namoyon bo‘lishi namunada kristall kremniy fazasi mavjudligini ko‘rsatadi. Shu bilan birga, qo‘shimcha intensiv fazalarga tegishli yaqqol piklarning kuzatilmasligi namunaning asosiy fazasi Si ekanligini ko‘rsatadi. XRD natijalari Si nanozarrachalarining kristall strukturaga ega ekanligini tasdiqlaydi.

Shuningdek, Si nanozarrachalarining o‘lchamlari bo‘yicha taqsimlanishi Nanosight qurilmasi yordamida o‘rganildi (2-rasm).



2-rasm. Si nanozarrachalarining o‘lcham bo‘yicha konsentratsion taqsimlanishi

2-rasmda Si nanozarrachalarining o‘lcham bo‘yicha konsentratsion taqsimoti keltirilgan. Grafikdan ko‘rinishicha, asosiy intensivlik maksimumlari taxminan 114 va 178 nm o‘lchamlarda kuzatilgan. 114 nm atrofidagi pik namunada ushbu o‘lchamdagi zarrachalar konsentratsiyasi yuqoriligini ko‘rsatadi. 178 nm sohasidagi ikkilamchi maksimum esa namunada kattaroq o‘lchamli zarrachalar fraksiyasi ham mavjudligini bildiradi. Bundan tashqari, 275 va 347 nm atrofida nisbatan kichik intensivlikdagi maksimumlar bilan birgalikda 466, 541 va 644 nm sohalarida esa yirikroq zarrachalar yoki nanozarrachalarning agregatsiyalangan fraksiyalari mavjudligi ham kuzatilgan. Asosiy zarracha fraksiyasi 100÷200 nm oralig‘ida joylashgan bo‘lib, zarrachalarning bir qismi yirikroq agregatlar shaklida mavjud bo‘lgan.

Mazkur tadqiqotda olingan Si nanozarrachalarining strukturaviy va o‘lcham xususiyatlari keyingi bosqichda Si/C nanokompozit termoelektrik materiallarini yaratish va ularning energiya o‘zgartirish samaradorligini tadqiq qilish uchun asos bo‘lib xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

[1] Liu, W., Yan, X., Chen, G., & Ren, Z. (2012). Recent advances in thermoelectric nanocomposites. Nano Energy, 1(1), 42–56.

[2] Schierning, G. (2014). Silicon nanostructures for thermoelectric devices: A review of the current state of the art. physica status solidi (a), 211(6), 1235-1249.

1. Abdisaidov Ilyos Jo’rayevich
2. Katta ilmiy xodim
3. Si/C nanokompozit materiallarini olishda Si nanozarrachalarining strukturaviy va morfologik xususiyatlari

ALOHIDA MANBALI BUG’ TRANSPORT USULI YORDAMIDA O’STIRILGAN Sb_2Se_3 YUPQA QATLAMLARINING OPTIK XOSSALARI TAHLILI

K.M. Kuchkarov[1,2], B.A. Ergashev[1], M.P. Pirimmatov[1], A.S. Matmurodov[1], X.Z.To’liboyeva[1,2*]
[1]*O‘zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi S.A Azimov nomidagi Fizika Texnika Insituti, 100212, O‘zbekiston, Toshkent sh.Chingiz Aytmatov ko‘chasi 2B-uy.*
[2]*Mirzo Ulug’bek nomidagi O’zbekiston Milliy Universiteti, 100174, O‘zbekiston, Toshkent shahri, Talabalar shaharchasi, Universitet ko‘chasi 4-uy.*

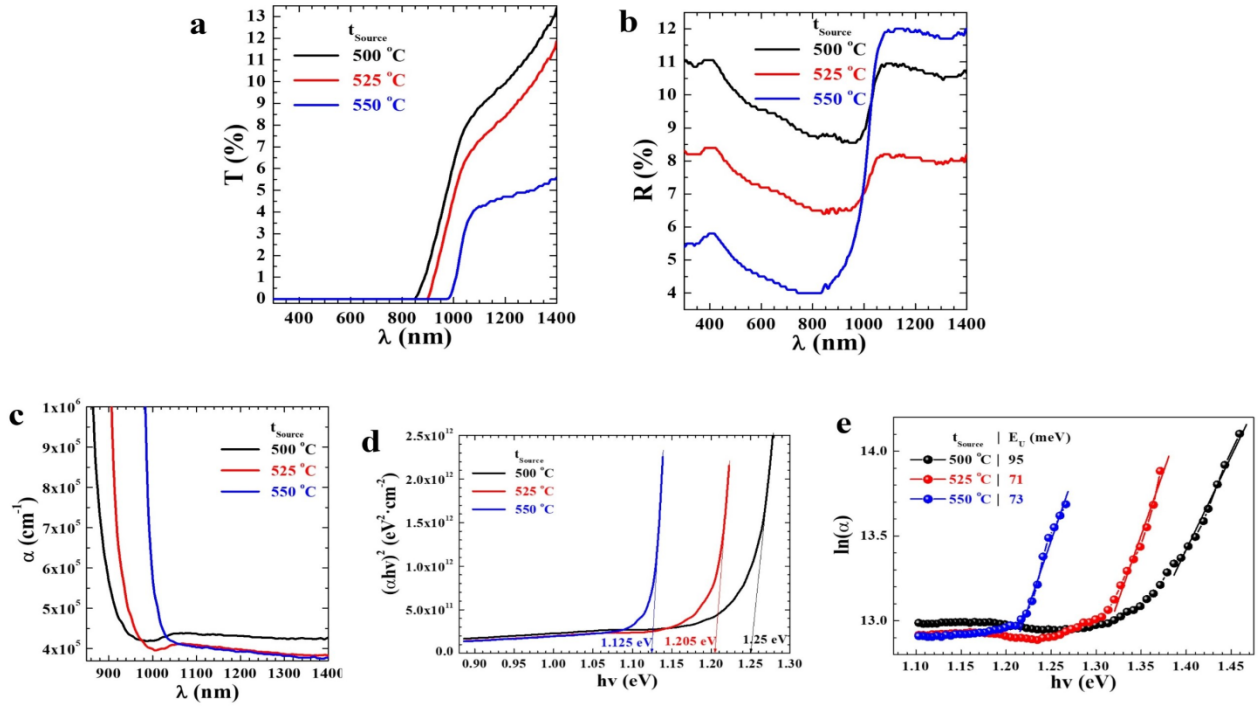
Hozirgi kunda fotovoltaika bozorida Si, $Cu(In,Ga)Se_2$ va CdTe asosidagi quyosh elementlari yetakchi o'rin egallamoqda [1]. Biroq bu materiallarda bir qator kamchiliklar mavjud: Si ning taqiqlangan zona kengligi (1,1 eV) optimal qiymatdan (1,4–1,6 eV) kichik bo'lib, past yutilish koeffitsiyenti (~10^2 sm^{-1}) sababli qalin (200–300 μm) qatlamlar talab etiladi [2]; CdTe va $Cu(In,Ga)Se_2$ tarkibidagi Te va In ning tabiatda kamligi, Ga ning esa qimmatligi ularni keng miqyosda ishlab chiqarishni cheklaydi [2]. Shu sababli, Sb_2Se_3 asosidagi yupqa qatlamlar p-tip o'tkazuvchanligi, taqiqlangan soha kengligi (E_g=1,1–1,3 eV), yuqori yutilish koeffitsiyenti (α>10^5 sm^{-1}) hamda tarkibiy elementlarining arzonligi va ekologik xavfsizligi tufayli istiqbolli material sifatida tadqiq etilmoqda [3,4].

Mazkur tadqiqotda alohida manbali bug' transporti usuli bilan turli manba haroratlarida (500, 525 va 550 ^{0}C, taglik harorati 400 ^{0}C da o'zgarmas) o'stirilgan Sb_2Se_3 yupqa qatlamlarining optik xususiyatlari va ularga texnologik parametrlarning ta'siri o'rganildi. Manba harorati ortishi bilan bug'lanuvchi modda massasi ortib, qatlam qalinligi ~1,7 μm dan ~6,3 μm gacha oshgani aniqlandi (1-jadval).

Jadval 1. Sb_xSe_y yupqa qatlamining turli manbaa haroratlaridagi tarkibiy (EDS) natijalari

№	Taglik harorati (^{o}C)	Manbaa harorati (^{o}C)	Bug‘langan manbaa massasi (mg)	Qalinligi (μm)	Taqiqlangan soha kengligi (eV)	Tarkibi		
						Sb (%)	Se (%)	Sb/Se
M54	400	500	143,6	1,732	1,250	33,7	66,3	0,5083
M55		525	224,2	3,276	1,205	40,1	59,9	0,6694
M53		550	363,6	6,291	1,125	45,2	54,8	0,8248

Bunga sabab Sb va Se elementlarining bug' bosimlari farqidir Se yuqori uchuvchan bo'lib, harorat ortishi bilan uning bug' bosimi tezroq ortadi, Sb esa kam uchuvchan hisoblanadi. Shu sababli past haroratda Se ga boy, optimal haroratda stexiometrik, yuqori haroratda esa Sb ga boy qatlamlar hosil bo'ladi. Qatlam qalinligining manba harorati ortishi bilan muntazam oshishi bug'lanish tezligi va modda oqimi zichligining ortishiga bog'liq.



Rasm 1. Sb_xSe_y yupqa qatlamlarining a – optik o‘tkazish va b – optik aks ettirish koeffitsiyentlari yordamida aniqlangan c – yorug‘lik yutish koeffitsiyenti. c – Tauc grafigi asosida topilgan taqiqlangan soha kengligi (E_g). d – yorug‘lik yutilish koeffitsiyentining dum qismidan hisoblangan Urbach energiyasi

Sb_2Se_3 yupqa qatlamlarining optik o'tkazuvchanlik va aks ettirish koeffitsiyentlari 300–1400 nm diapazonda o'lchandi (1a,b-rasm). Qatlam qalinligi ortishi bilan optik o'tkazuvchanlik chegarasi uzun to'lqin tomonga siljidi — bu kristall donachalarning yiriklashishi bilan izohlanib, taqiqlangan soha kengligining kamayishiga olib keldi [5]. Aks ettirish koeffitsiyenti esa sirt g'adir-budurligiga bog'liq ravishda farqlandi: sirti g'adir-budur M53-namunada eng past, sirti silliq M54-namunada eng yuqori, M55-namunada esa o'rtacha qiymatlarni tashkil etdi.

Turli manbaa haroratida olingan namunalar uchun o‘lchangan yutilish spektrlari ko‘rinadigan diapazonda (λ<1000 nm) kuchli yutilishni namoyon qilgan. Namunalarining optik yutilish ko‘rsatkichlari (α) eksperimental akslantirish va o‘tkazuvchanlik koeffitsiyentlari orqali (1) tenglama bilan hisoblangan [6]:

$$\alpha = -\frac{1}{d} ln\left(\frac{\sqrt{(1-R)^4 + 4T^2R^2} - (1-R)^2}{2TR^2}\right) \qquad (1)$$

bu yerda *d* – namuna qalinligi, *R* – aks ettirish koeffitsienti, *T* – o‘tkazuvchanlik koeffitsienti.

Yutilish koeffitsienti $\alpha=10^5$ sm^{-1} tartibida bo‘lib (1c-rasm), yorug‘likni samarali yutish qobiliyatini ko‘rsatgan. Yutilish ko‘rsatkichining to‘lqin uzunligiga bog‘liq ravishda elektronlarning zona o‘tishlariga mos keladigan asosiy yutilish sohasi aniqlangan. α(hν) grafigi asosida, to‘g‘ri optik yutilishlar mavjudligi kuzatilgan va yupqa qatlamlar uchun optik taqiqlangan soha kengligi E_g Tauc tenglamasi (2) orqali hisoblangan [7]:

$$(\alpha h\nu)^2 = A(h\nu - E_g) \qquad (2)$$

bu yerda *hν* — tushayotgan foton energiyasi, *A* — doimiy koeffitsiyent.

Taqiqlangan soha kengligi Tauc metodi — $(\alpha h\nu)^2$ ning hν ga bog'liqlik grafigini absissa o'qiga ekstrapolyatsiya qilish — asosida aniqlandi (1d-rasm). Hisoblangan E_g qiymatlari 1,18–1,27 eV oralig'ida

bo'lib, adabiyot ma'lumotlari bilan mos keldi [5]. Se miqdori ortishi bilan E_g ham ortdi (1,125 eV → 1,25 eV, 1-jadval). Bu o'zgarish qatlamlarning Sb/Se tarkibiy nisbati va sintez haroratiga bog'liq bo'lib, mikrotuzilma va donachalar o'lchami valentlik hamda o'tkazuvchanlik zonalari energetikasiga ta'sir ko'rsatgan. Tarkib ideal stexiometriyadan (Sb/Se=2:3) chetlashib Sb ga boylashgan sari, Eg qiymati torayib borgan — bu qisman nuqson holatlari bilan ham izohlanadi [8].

Taqiqlangan soha yaqinidagi eksponensial optik yutilish strukturaviy tartibsizlik bilan bog'liq bo'lib, Urbach energiyasi (E_U) orqali tavsiflanadi [9,10]. Urbach qonuniga ko'ra, yutilish koeffitsiyenti eksponensial munosabat (3) bilan ifodalanadi [11].

$$\alpha(h\nu) = \alpha_0 \cdot e^{\frac{h\nu - E_0}{E_U}} \qquad (3)$$

bu yerda E_U — Urbach energiyasi, E_0 — optik o‘tish boshlanadigan energiya, α_0 esa materialga xos doimiy kattalikdir. Tenglamani logarifmik ko‘rinishga keltirish orqali $\ln(\alpha)$ ning foton energiyasi $(h\nu)$ ga bog‘liqligi grafigi chizilib (1e-rasm), past energiya sohasidagi chiziqli qismining gorizontga nisbatan qiyaligi asosida Urbach energiyasi $E_U = 1/slope$ munosabat orqali aniqlangan [30].

Optik tahlil natijalariga ko‘ra, barcha namunalarning ln(α) ~ hν grafigida taqiqlangan zonadan past energiyalar sohasida aniq eksponential xususiyat kuzatilgan va ushbu sohada o‘tkazilgan chiziqli regressiya asosida Urbach energiyasi qiymatlari hisoblab chiqilgan. M55, M53 va M54 namunalar uchun Urbach energiyasi mos ravishda 0,097 eV, 0,106 eV va 0,266 eV ni tashkil etgan.

Adabiyot ma’lumotlariga ko‘ra, yaxshi kristallangan Sb_2Se_3 asosidagi yupqa qatlamlar uchun Urbach energiyasining qiymatlari 0,05–0,12 eV oralig‘ida joylashadi [10]. Shu bois, M55 va M53 namunalarida aniqlangan qiymatlar materialning yuqori kristall sifati va past defekt konsentratsiyasini ko‘rsatadi. M54 namunasi uchun Urbach energiyasining sezilarli darajada yuqori bo‘lishi esa strukturaviy tartibsizlikning kuchayganligi, donalararo chegaralar sonining ortishi hamda lokal energetik holatlarning kengayganligini anglatadi [10].

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. 1. X. Wang, R. Tang, C. Wu, C. Zhu, T. Chen, Development of antimony sulfide–selenide Sb2(S,Se)3 -based solar cells, J. Energy Chem. 27 (2018) 713–721, https://doi.org/10.1016/j.jechem.2017.09.031.
2. P.K. Nair, G.V. García, E.A.Z. Medina, L.G. Martínez, O.L. Castrejon, ´ J.M. Ortiz, M.T.S. Nair, Antimony sulfide-selenide thin film solar cells produced from stibnite mineral, Thin Solid Films 645 (2017) 305–311, https://doi.org/10.1016/j.tsf.2017.11.004.
3. L. Choi, J. Kim, S. Park, Antimony selenide (Sb_2Se_3) thin film solar cells: materials, device physics and progress, Solar Energy Materials and Solar Cells, 201 (2019) 110050. https://doi.org/10.1016/j.solmat.2019.110050
4. J. Wen, S. Chen, Optical and electrical properties of Sb_2Se_3 thin films for photovoltaic applications, Applied Physics Letters, 105 (2014) 123902. https://doi.org/10.1063/1.4896357
5. L. Abreu, P.A. Fernandes, A.F. da Cunha, Thickness and composition dependency of optical bandgap in Sb_2Se_3 thin films, Thin Solid Films 764 (2023) 139604. https://doi.org/10.1016/j.tsf.2022.139604
6. T.M. Razykov, J. Bekmirzoev, A. Bosio, B.A. Ergashev, D. Isakov, R. Khurramov, K.M. Kouchkarov, M.A. Makhmudov, A. Romeo, N. Romeo, M.S. Tivanov, Sh.B. Utamuradova, D.S. Bayko, L.S. Lyashenko, O.V. Korolik, A.A. Mavlonov. Structural and optical properties of Sb_xSe_y thin films

obtained by chemical molecular beam deposition method from Sb and Se precursors // Solar Energy, 2023. Vol.254. pp. 67–72.

7. Chao Chen, Weiqi Li, Ying Zhou, Cheng Chen, Miao Luo, Xinsheng Liu, Kai Zeng, Bo Yang, Chuanwei Zhang, Junbo Han, and Jiang Tang. Optical properties of amorphous and polycrystalline Sb2Se3 thin films prepared by thermal evaporation. Applied Physics Letters 107, 043905 (2015), https://doi.org/10.1063/1.4927741

8. Shubing Li, Honglie Shen, Jieyi Chen, el at., Effect of selenization temperature on the properties of Sb_2Se_3 thin films and solar cells by two step method. Journal of Materials Science: Materials in Electronics (2019) 30:19871–19879, https://doi.org/10.1007/s10854-019-02354-1

9. Y. Zhou, C. Chen, Y. Li, et al., "Thin-film Sb_2Se_3 photovoltaics with oriented one-dimensional ribbons," Nature Photonics, vol. 9, pp. 409–415, 2015, doi: 10.1038/nphoton.2015.78.

10. M. Kumar, S. Chand, and K. N. Sood, "Urbach energy and disorder in Sb_2Se_3 thin films prepared by thermal evaporation," Journal of Applied Physics, vol. 118, p. 045301, 2015, doi: 10.1063/1.4926957.

11. J. Tauc, "Optical properties and electronic structure of amorphous Ge and Si," Materials Research Bulletin, vol. 3, no. 1, pp. 37–46, 1968, doi: 10.1016/0025-5408(68)900.

RECTIFICATION COEFFICIENT AND SERIES RESISTANCE OF THE n-GaP–$n^+(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ HETEROSTRUCTURE IN THE TEMPERATURE RANGE 30–140 °C

U.Kh. Rakhmonov[1], A.Sh. Razzokov[2]
[1]*S.A. Azimov Physical-Technical Institute, Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan*
[2]*Department of Physics, Urgench State University, Urgench, Uzbekistan*
e-mail: utkurraxmonov@gmail.com

Abstract. The rectifying properties of the isotype n-GaP–$n^+(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ heterostructure grown by liquid-phase epitaxy have been studied in the temperature range 30–140 °C. The rectification coefficient $K = I_f/|I_r|$ increases by more than two orders of magnitude between 0.5 and 1.4–1.8 V and reaches a maximum of 6.1×10^4 (30 °C) and 6.6×10^4 (50 °C); at 100 and 140 °C it decreases to 1.9×10^4 and 1.7×10^4, i.e. it remains above 10^4. The decrease of K at high biases is due to the series resistance of the structure, R_s = 13–17 Ω, which was determined from the linear section of the forward branch and depends only weakly on temperature.

Keywords: rectification coefficient; series resistance; current–voltage characteristic; high-temperature stability; $(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ heterostructure; liquid-phase epitaxy.

Introduction

Heterostructures based on $(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ solid solutions, in which the covalent Si and the III–V compound GaP with close lattice constants (5.431 and 5.451 Å) are combined, are of interest for rectifying and optoelectronic devices operating at elevated temperatures [1, 4]. The charge-transport mechanisms of the n-GaP–$n^+(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ structure in the forward and reverse directions have been analysed by us earlier [5, 6]. For device applications, however, the integral parameters are of primary importance: the rectification coefficient, the voltage range of its maximum and the series resistance, which limits the forward current at high biases. The aim of this work is to determine these parameters and their temperature dependence in the range 30–140 °C.

Materials and experimental methods

The n-GaP–$n^+(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ heterostructure was grown by liquid-phase epitaxy from a confined volume of a tin-based solution-melt (crystallization from 980 to 830 °C) on n-type GaP(111) substrates [1, 2]; the epitaxial layer is ~22 μm thick and has n^+-type conductivity (~2.2×10^{19} cm^{-3}). Silver contacts were

deposited in a VUP-4 vacuum unit (10^{-4} Torr, substrate at 300 °C); the structure area is 15 mm^2. Dark I–V characteristics were measured at 30, 50, 100 and 140 °C from –3.0 to +3.0 V with a step of 0.1 V in a vacuum cryostat (10^{-2}–10^{-3} Torr) with a type-K thermocouple (±2 °C) [3]; the current resolution was 10^{-6} mA.

The rectification coefficient was calculated at equal absolute values of the forward and reverse bias:

$$K(U) = I_f(U) / |I_r(-U)|. \quad (1)$$

At high forward currents a considerable part of the applied voltage drops on the series resistance R_s (bulk of the substrate and the n$^+$ layer, contacts), and the forward branch becomes close to linear:

$$U = U_0 + I_f R_s, \quad (2)$$

where U_0 is the cut-off voltage. R_s and U_0 were determined by linear regression of U on I_f in the range 2.5–3.0 V (6 points at each temperature). Currents below 10^{-5} mA are close to the resolution limit and were not used.

Results and discussion

The voltage dependence of the rectification coefficient is shown in Fig. 1a. At $|U|$ = 0.5 V the coefficient is only 70–120, but it increases rapidly with bias: at 1.0 V $K = 1.1\times10^3$ (30 °C) and $(3.0–3.8)\times10^3$ (50–140 °C).

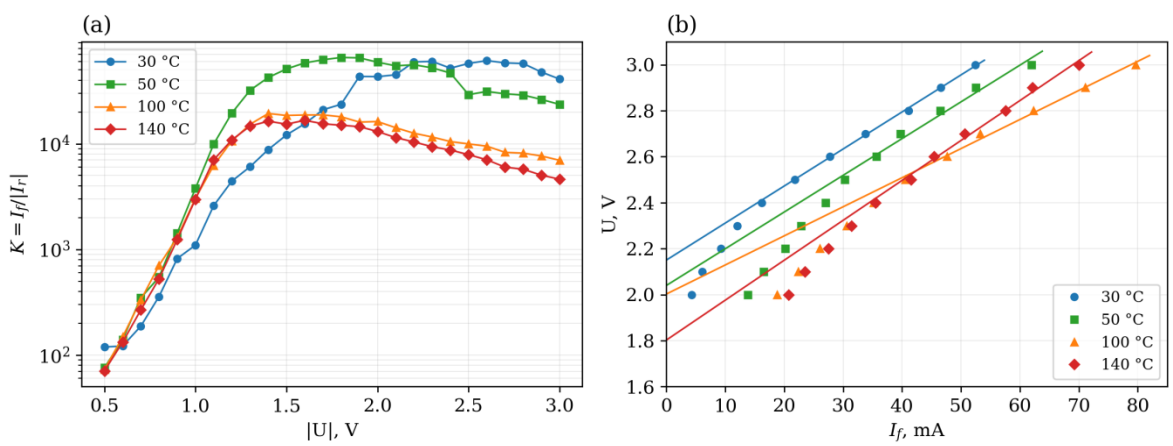


Fig. 1. (a) Rectification coefficient $K = I_f/|I_r|$ versus bias at 30–140 °C; (b) high-current section of the forward branch in linear coordinates $U(I_f)$; lines – linear fits by Eq. (2) in the range 2.5–3.0 V.

The maximum values of K and the voltages at which they are reached are 6.1×10^4 at 2.6 V (30 °C), 6.6×10^4 at 1.8 V (50 °C), 1.9×10^4 at 1.4 V (100 °C) and 1.7×10^4 at 1.6 V (140 °C). Thus, heating from 50 to 100 °C reduces the maximum rectification coefficient by a factor of about 3.5 and shifts the maximum to lower voltages, but even at 140 °C K remains above 10^4 in the range 1.3–2.0 V.

The static resistance of the structure at 3 V is 38–57 Ω in the forward direction and decreases from 2.3 MΩ (30 °C) to 0.20 MΩ (140 °C) in the reverse direction. The strong temperature dependence of the reverse current, which is governed by tunnelling-assisted leakage [6], is therefore the main reason for the decrease of K with heating.

In the range 2.5–3.0 V the forward branch is well described by the linear dependence (2) (Fig. 1b; R^2 = 0.983–0.999). The series resistance is R_s = 16.1, 16.0, 12.7 and 17.4 Ω at 30, 50, 100 and 140 °C, respectively (mean ≈ 15.5 Ω, which corresponds to a specific resistance $R_s \cdot S \approx 2.3$ Ω·cm^2), and the cut-off voltage U_0 decreases from 2.15 to 1.80 V. The absence of a regular temperature dependence of R_s is consistent with the degenerate n$^+$-type conductivity of the epitaxial layer and with the ohmic character of the contacts. At 30 °C and 3 V the voltage drop on R_s is ≈ 0.84 V, i.e. about 28% of the applied voltage; for

this reason the forward current grows only linearly at high biases, while the reverse current continues to grow superlinearly, and K passes through a maximum and then decreases (Fig. 1a).

The obtained results make it possible to specify the optimal operating range of the heterostructure as a rectifying element: 1.4–2.0 V, where $K \geq 10^4$ at all investigated temperatures. A further increase of K at high biases requires reducing R_s, primarily by decreasing the thickness of the substrate and improving the contacts.

Conclusion

The n-GaP–$n^+(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ heterostructure has a maximum rectification coefficient of $(6.1–6.6)\times10^4$ at 30–50 °C, which decreases to $(1.7–1.9)\times10^4$ at 100–140 °C mainly because of the growth of the reverse current. The series resistance of the structure is 13–17 Ω and depends only weakly on temperature; it limits the forward current and causes the decrease of K at biases above the maximum. The retention of $K > 10^4$ up to 140 °C shows that the heterostructure is promising for rectifying devices operating at elevated temperatures.

References

1. Saidov A.S., Razzokov A.Sh., Usmonov Sh.N., Saparov D.V., Razzakov R.A., Rakhmonov U.Kh. Liquid phase epitaxy, structural, and electrical properties of $(Si_2)_{1-x}(GaP)_x$ solid solutions on Si(111) substrates // Journal of Optoelectronics and Advanced Materials. 2026. Vol. 28, No. 7–8. P. 365–375.

2. Saidov A.S., Usmonov Sh.N., Saparov D.V., Razzokov A.Sh., Rakhmonov U.Kh., Ishniyazov T.T., Abdullayeva S.O. Liquid-phase epitaxy of substitutional solid solutions based on group IV, III–V, and II–VI semiconductors // Manuscript, 2026.

3. Sapaev I.B., Sadullaev S.O., Juraev Kh.N., Rakhmonov U., et al. Temperature-dependent dark I–V transport and barrier inhomogeneity in VTE-grown CdTe/Si heterojunction // Results in Physics. 2026. Vol. 83. Art. 108624.

4. Sze S.M., Ng K.K. Physics of Semiconductor Devices. 3rd ed. New York: Wiley, 2007. 815 p.

5. Rakhmonov U.Kh., Razzokov A.Sh. Diode charge-transport mechanism in the n-GaP–$n^+(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ heterostructure from temperature-dependent I–V characteristics // Proc. Conf. "State and Prospects of Semiconductor Physics, Engineering and Technology". Khujand, 2026.

6. Rakhmonov U.Kh., Razzokov A.Sh. Field dependence of the reverse leakage current in the n-GaP–$n^+(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ heterostructure: comparison of the Poole–Frenkel and exponential-field models // Proc. Conf. "State and Prospects of Semiconductor Physics, Engineering and Technology". Khujand, 2026.

PARAMETERS OF THE EXPONENTIAL TRAP DISTRIBUTION IN THE $(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ EPITAXIAL LAYER DETERMINED FROM SPACE-CHARGE-LIMITED CURRENTS

U.Kh. Rakhmonov[1], A.Sh. Razzokov[2]
[1]*S.A. Azimov Physical-Technical Institute, Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan*
[2]*Department of Physics, Urgench State University, Urgench, Uzbekistan*
e-mail: utkurraxmonov@gmail.com

Abstract. The parameters of the trap distribution in the epitaxial layer of the n-GaP–$n^+(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ heterostructure have been determined from the temperature dependence of the space-charge-limited current (SCLC) within the Lampert model of an exponential trap distribution. The characteristic temperature of the distribution $T_c = (m - 1)T$, calculated from the SCLC exponent m in the range 1.0–2.0 V, is practically constant (2230 ± 110 K) at 30–140 °C, which confirms the exponential character of the distribution; the characteristic energy is $kT_c \approx 0.19$ eV. The I–V lines at 50–140 °C intersect in a common region $U_c \approx 2.4–2.7$ V, from which the lower estimate of the total trap concentration $N_t \approx 6\times10^{12}$ cm^{-3} is obtained.

Keywords: space-charge-limited current; exponential trap distribution; characteristic temperature; trap concentration; $(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$; liquid-phase epitaxy.

Introduction

In the forward branch of the dark I–V characteristic of the n-GaP–$n^+(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ heterostructure at biases above ~1 V, a power-law dependence $I \propto U^m$ with anomalously high exponents m = 6.3–8.9 was established earlier, which was attributed to space-charge-limited currents in the presence of traps [5]. Such values of m (much larger than 2 for the trap-free Mott–Gurney law) are characteristic of a trap distribution that is continuous in energy [4]. However, the parameters of this distribution — its characteristic energy and the total trap concentration — have not been determined. The aim of this work is to obtain these parameters from the temperature dependence of the SCLC.

Materials and experimental methods

The n-GaP–$n^+(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ heterostructure was grown by liquid-phase epitaxy from a confined volume of a tin-based solution-melt (crystallization from 980 to 830 °C) on n-type GaP(111) substrates [1, 2]; the epitaxial layer is ~22 μm thick and has n^+-type conductivity (~2.2×10^{19} cm^{-3}). Silver contacts were deposited in a VUP-4 vacuum unit (10^{-4} Torr, substrate at 300 °C); the structure area is 15 mm^2. Dark I–V characteristics were measured at 30, 50, 100 and 140 °C from –3.0 to +3.0 V with a step of 0.1 V in a vacuum cryostat (10^{-2}–10^{-3} Torr) with a type-K thermocouple (±2 °C) [3]; the current resolution was 10^{-6} mA.

For traps exponentially distributed in energy below the conduction band edge, $N(E) = (N_t/kT_c)\exp[-(E_c - E)/kT_c]$, the SCLC is described by [4, 6]

$$I \propto U^{i+1}/d^{2i+1}, \quad l = T_c/T, \tag{1}$$

where T_c is the characteristic temperature of the distribution and d is the thickness of the layer. Hence the exponent $m = l + 1$ must satisfy

$$T_c = (m - 1)T = \text{const}. \tag{2}$$

In addition, the ln I – ln U lines measured at different temperatures must intersect at a common point U_c, which is related to the total trap concentration [6]:

$$N_t = 2\varepsilon\varepsilon_0 U_c/(qd^2). \tag{3}$$

The exponent m was determined by linear regression of ln I on ln U in the range 1.0–2.0 V (11 points, R^2 = 0.960–0.997); the values of m coincide with those reported in [5].

Results and discussion

The SCLC exponents in the range 1.0–2.0 V are m = 8.93, 7.75, 6.65 and 6.34 at 30, 50, 100 and 140 °C. The corresponding characteristic temperatures calculated by (2) are T_c = 2405, 2181, 2108 and 2206 K (Fig. 1a). Although m decreases by almost 30% over the investigated interval, T_c remains constant within ±5% (mean value 2230 ± 110 K). This is direct evidence that the decrease of m with heating is caused by the $1/T$ factor in (1), i.e. that the traps in the epitaxial layer have an exponential energy distribution with a characteristic energy kT_c = 0.18–0.21 eV (mean 0.19 eV). This value is close to the activation energies of the forward (0.22–0.26 eV) and reverse (0.23–0.28 eV) currents found earlier for the same structure [7, 8], which suggests that the same group of defect states in the $(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ layer is involved in all these processes.

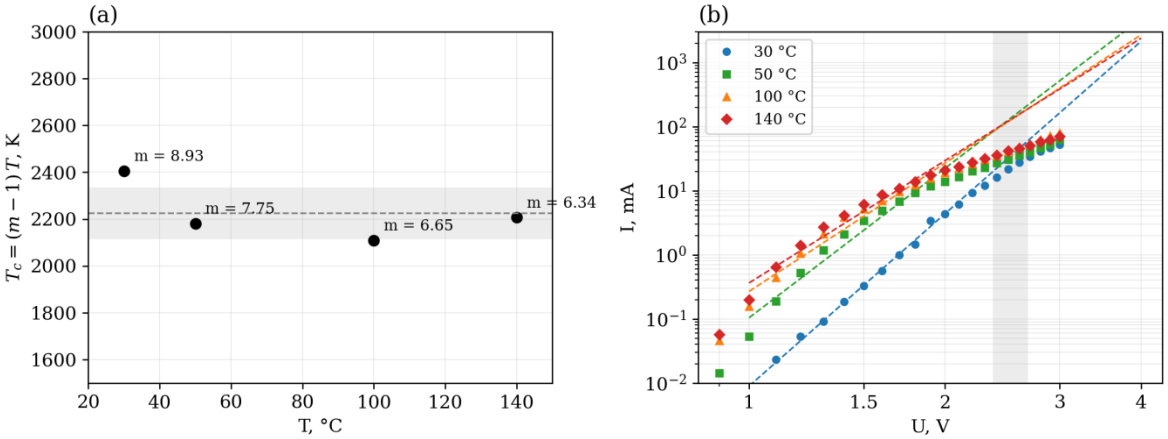


Fig. 1. (a) Characteristic temperature of the exponential trap distribution $T_c = (m - 1)T$ at 30–140 °C (dashed line – mean value, band – ±1 standard deviation); (b) forward I–V characteristics in double-logarithmic coordinates with power-law fits in the range 1.0–2.0 V extrapolated to higher voltages (the shaded band marks the intersection region of the lines at 50–140 °C).

The extrapolated SCLC lines at 50, 100 and 140 °C intersect pairwise at U_c = 2.37, 2.43 and 2.68 V (Fig. 1b), i.e. in a narrow region, as required by the model. Taking ε = 11.1 (GaP) and the full layer thickness $d \approx 22$ μm, Eq. (3) gives $N_t \approx (6.0–6.8)\times10^{12}$ cm^{-3}. Since the SCLC may be controlled by only a part of the layer (for example, the compensated transition region near the heterointerface), the actual d may be smaller, and the obtained value should be regarded as a lower estimate of the trap concentration. The line at 30 °C intersects the others at substantially higher voltages (4.2–7.9 V), which agrees with the anomalously sharp change of the transport parameters in the interval 30–50 °C noted in [9].

In the range 2.0–3.0 V the formal calculation of T_c from the exponents m = 6.27–3.02 gives values that decrease from ~1600 to ~830 K, i.e. condition (2) is not fulfilled. In this range the experimental points lie below the extrapolated SCLC lines (Fig. 1b), which is due to the voltage drop on the series resistance of the structure and to the approach to the trap-filled regime. Therefore, the parameters of the trap distribution can be correctly determined only from the 1.0–2.0 V section.

Conclusion

The constancy of the characteristic temperature $T_c = (m - 1)T \approx 2230$ K in the range 30–140 °C proves that the space-charge-limited current in the $(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ epitaxial layer is controlled by traps with an exponential energy distribution with a characteristic energy of ≈0.19 eV, and the lower estimate of their total concentration is ~6×10^{12} cm^{-3}. The proposed procedure (the T_c = const test and the common intersection point of the I–V lines) can be used to compare the defect structure of epitaxial layers grown under different technological conditions.

References

1. Saidov A.S., Razzokov A.Sh., Usmonov Sh.N., Saparov D.V., Razzakov R.A., Rakhmonov U.Kh. Liquid phase epitaxy, structural, and electrical properties of $(Si_2)_{1-x}(GaP)_x$ solid solutions on Si(111) substrates // Journal of Optoelectronics and Advanced Materials. 2026. Vol. 28, No. 7–8. P. 365–375.

2. Saidov A.S., Usmonov Sh.N., Saparov D.V., Razzokov A.Sh., Rakhmonov U.Kh., Ishniyazov T.T., Abdullayeva S.O. Liquid-phase epitaxy of substitutional solid solutions based on group IV, III–V, and II–VI semiconductors // Manuscript, 2026.

3. Sapaev I.B., Sadullaev S.O., Juraev Kh.N., Rakhmonov U., et al. Temperature-dependent dark I–V transport and barrier inhomogeneity in VTE-grown CdTe/Si heterojunction // Results in Physics. 2026. Vol. 83. Art. 108624.

4. Lampert M.A., Mark P. Current Injection in Solids. New York: Academic Press, 1970. 351 p.

5. Rakhmonov U.Kh., Razzokov A.Sh. Space-charge-limited currents in the n-GaP–$n^+(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ heterostructure at elevated forward biases // Proc. Conf. on Condensed Matter Physics. Nukus: Karakalpak State University, 2026.

6. Mark P., Helfrich W. Space-charge-limited currents in organic crystals // Journal of Applied Physics. 1962. Vol. 33, No. 1. P. 205–215.

7. Rakhmonov U.Kh., Razzokov A.Sh. Diode charge-transport mechanism in the n-GaP–$n^+(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ heterostructure from temperature-dependent I–V characteristics // Proc. Conf. “State and Prospects of Semiconductor Physics, Engineering and Technology”. Khujand, 2026.

8. Rakhmonov U.Kh., Razzokov A.Sh. Field dependence of the reverse leakage current in the n-GaP–$n^+(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ heterostructure: comparison of the Poole–Frenkel and exponential-field models // Proc. Conf. “State and Prospects of Semiconductor Physics, Engineering and Technology”. Khujand, 2026.

9. Rakhmonov U.Kh., Razzokov A.Sh., Saparov D.V. Analytical parametrization of the temperature dependence of the ideality factor and the SCLC exponent in the n-GaP–$n^+(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ heterostructure // Proc. Conf. dedicated to the 90th anniversary of Academician P.K. Habibullayev. Urgench, 2026.

γ-PIKOLINNING x = 0,05 MOL ULUSHLI SUVLI ERITMASIDA STRUKTURAVIY O‘LCHAMNING TEMPERATURAGA BOG‘LIQLIGI

L.M. Sabirov, F.R. Ismailov, G.N. Umarova, Y.T. Juraev,
X.Sh. Omonov, X.Sh. Djumaniyazov
Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti, Muhandislik fizikasi instituti

Annotatsiya. γ-Pikolinning x = 0,05 mol ulushli suvli eritmasi 15–55 °C oralig‘ida dinamik yorug‘lik sochilishi usuli bilan o‘rganildi. Gidrodinamik radius 15–30 °C da 131–136 nm oralig‘ida bo‘lib, yuqori temperaturalarda umumiy kamayish kuzatildi va 55 °C da 96 nm ga yetdi. Natijalar suvli organik eritmalarning mikrogeterogenligi haqidagi tadqiqotlar bilan bog‘lab muhokama qilindi. Aniqlangan kattalik diffuzion model doirasidagi samarali gidrodinamik masshtab sifatida talqin qilindi.

Kalit so‘zlar: dinamik yorug‘lik sochilishi, γ-pikolin, suvli eritma, gidrodinamik radius, vodorod bog‘lari, mikrogeterogenlik.

Suvli organik eritmalarning xossalari tarkibiy qismlarning miqdoriy nisbatigagina emas, balki ularning o‘zaro ta’siri va lokal molekulyar tartiblanishiga ham bog‘liq. Suvning uch o‘lchamli vodorod bog‘lari tarmog‘i dinamik tuzilishga ega. Organik komponentning qo‘shilishi ushbu tarmoqdagi bog‘lanishlar va molekulyar harakatchanlikning o‘zgarishiga olib kelishi mumkin. Rodnikova va Chumaevskii [1] vodorod bog‘lari tarmog‘i doirasida molekulalarning harakati hamda noelektrolit eritmalaridagi solvofob effektlarni o’rganishgan. γ-Pikolin, ya’ni 4-metilpiridin molekulasida suv bilan vodorod bog‘i hosil qilishda akseptor vazifasini bajarishi mumkin bo‘lgan azot atomi va nopolyar qismlar mavjud. Shu sababli gidratlanish hamda gidrofob o‘zaro ta’sirlarning birgalikdagi roli muhimdir. Biroq molekulyar darajadagi bunday o‘zaro ta’sirlardan yuz nanometr tartibidagi hosilalarning mavjudligi avtomatik ravishda kelib chiqmaydi; bu masala tajribaviy tekshirishni talab qiladi.

Bunkin va hammualliflar [2] 4-metilpiridin–suv tizimini Mandel’shtam–Brillyuen spektroskopiyasi yordamida o‘rganib, x = 0,06 atrofida adiabatik siqiluvchanlikning o‘ziga xos minimumini qayd etgan. Keyingi DLS tadqiqotida γ-pikolin eritmalarining mikrogeterogenligi konsentratsiya va temperatura bilan bog‘lab muhokama qilingan [3].

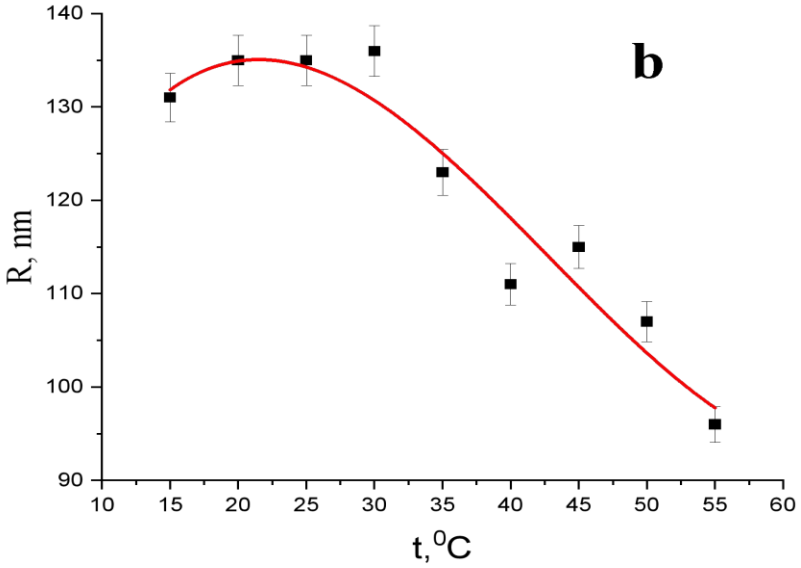
Mazkur ishda x = 0,05 tarkibning tanlanishi adabiyotlarda x ≈ 0,06 atrofida qayd etilgan xususiyatlarga yaqin konsentratsiyada temperaturaviy javobni o‘rganish imkonini beradi [2]. Biroq bu yaqinlik x = 0,05 ni alohida dalilsiz kritik yoki maxsus nuqta deb atash uchun asos bo‘la olmaydi. Mazkur tarkibda suvning mol

ulushi 0,95 bo‘lib, bir γ-pikolin molekulasiga o‘rtacha 19 ta suv molekulasi to‘g‘ri keladi. Ushbu nisbat eritmaning umumiy tarkibini bildiradi; u gidrat qobig‘idagi molekulalar soni emas.

Asosiy ilmiy masala — temperaturaning xarakterli o‘lchamga ta’sirini DLS orqali o’rganish. Bunda radiusning o‘zgarishi strukturaviy qayta tashkil topish, gidratlanish va muhitning gidrodinamik xossalari bilan qanday bog‘lanishini aniqlashtirish kerak. Ayniqsa, radiusdagi lokal chetlanishlarni haqiqiy fizik effektlardan va o‘lchash tarqoqligidan ajratish muhim. Ishning maqsadi x = 0,05 eritmada 15–55 °C oralig‘idagi gidrodinamik radius o‘zgarishini aniqlash va uning ehtimoliy fizik mazmunini muhokama qilishdan iborat.

Tajriba Photocor Complex ko‘p burchakli analizatorida, lazer nurining 637,4 nm to‘lqin uzunligida bajarildi. Har bir temperatura nuqtasida eritmaning temperaturasi termostat yordamida barqarorlashtirildi. Sochilgan yorug‘lik intensivligining vaqt bo‘yicha fluktuatsiyalari raqamli korrelyator bilan qayd etildi. Korrelyatsiya funksiyasining so‘nishi asosida diffuziya koeffitsienti aniqlanib, gidrodinamik radius Stoks–Eynshteyn munosabati orqali baholandi. DLS nazariyasida diffuzion relaksatsiya tezligi diffuziya koeffitsienti va sochilish vektorining kvadrati bilan belgilanadi. Radius esa temperatura, muhit qovushoqligi va aniqlangan diffuziya koeffitsientiga bog‘liq [4, 5]. Shuning uchun gidrodinamik radiusni geometrik radius yoki statik strukturaviy korrelyatsiya uzunligi bilan aynan tenglashtirish mumkin emas. Ushbu ishda «strukturaviy o‘lcham» atamasi DLS signaliga mos keluvchi samarali gidrodinamik masshtab ma’nosida qo‘llanadi.

15–30 °C oralig‘ida gidrodinamik radius 131–136 nm atrofida saqlandi. Ushbu oraliqda o‘zgarish diapazoni 5 nm bo‘lib, yuqori temperaturalardagi umumiy kamayishga nisbatan kichikdir. 35 °C da radius 123 nm, 40 °C da 111 nm, 45 °C da 115 nm va 55 °C da 96 nm ni tashkil etdi. Shunday qilib, bog‘lanishda nisbatan sust o‘zgaradigan past temperatura sohasi va radius kamayishi yaqqol namoyon bo‘ladigan yuqori temperatura sohalariga ajraladi (1-rasm).



1-rasm. γ-pikolinning x = 0.05 mol ulushli suvli eritmasida gidrodinamik radiusning temperaturaga bog‘liqligi.

γ-Pikolinning x = 0,05 mol ulushli suvli eritmasida 15–55 °C oralig‘ida samarali gidrodinamik radiusning umumiy kamayishi aniqlandi. Past temperatura sohasidagi 131–136 nm qiymatlar 55 °C da 96 nm gacha pasayadi. Natijalar tanlangan konsentratsiyada diffuzion hosilalarning temperaturaga sezgirligini

ko‘rsatadi va mikrogeterogenlikning strukturaviy-dinamik talqini bilan mos keladi. Lokal nomonotonliklarning fizik sababi hamda radiusning geometrik struktura bilan munosabati qo‘shimcha tekshiruvni talab qiladi.

Adabiyotlar

1. Rodnikova M.N., Chumaevskii N.A. Three-dimensional net of hydrogen bonds in liquids and solutions. Journal of Structural Chemistry. 2006;47:S151–S158. doi:10.1007/s10947-006-0389-2.

2. Bunkin N.F., Sabirov L.M., Semenov D.I., Ismailov F.R., Khasanov M.A. Nanoscale Structural Phase Transitions in Aqueous Solutions of Organic Molecules. Condensed Matter. 2023;8(3):64. doi:10.3390/condmat8030064.

3. Bunkin N.F. et al. Dynamic light scattering in aqueous solutions of γ-picoline. Uzbek Journal of Physics. 2024;26(3):60–65. doi:10.52304/.v26i3.542.

4. Berne B.J., Pecora R. Dynamic Light Scattering: With Applications to Chemistry, Biology, and Physics. New York: Wiley; 1976.

5. Stetefeld J., McKenna S.A., Patel T.R. Dynamic light scattering: a practical guide and applications in biomedical sciences. Biophysical Reviews. 2016;8:409–427. doi:10.1007/s12551-016-0218-6.

НАНОТЕХНОЛОГИЯЛАР ВА НАНОМАТЕРИАЛЛАР СОҲАСИДАГИ ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИШЛАРИНИНГ ТИЗИМЛИ ТАҲЛИЛИ

С.Х. Якубов
Техника фанлари доктори, профессор, Ўзбекистон Республикаси Ҳарбий хавфсизлик ва мудофаа университетининг Ҳарбий авиация институти
Д.С. Холмуродов
Техника фанлари бўйича фалсафа доктори, Қарши давлат университети

Аннотация. Ушбу мақолада трибология саноати учун металломатрицали нанокомпозитларнинг қўлланиши эҳтиёжларини қондириш ва технологик омилларнинг металломатрицали нанокомпозитларнинг трибологик табиатига таъсирини ўрганиш бўйича хорижий ва маҳаллий илмий-тадқиқот ишлари тизимли таҳлил қилинган.

Калит сўзлар: металлар, қотишмалар, металл матрицали нанокомпозитлар,трибологик хусусиятлар, ишқаланиш, ейилиш, ишқаланиш коэффициенти ва ейилишга чидамлилигига турли омилларнинг таъсири.

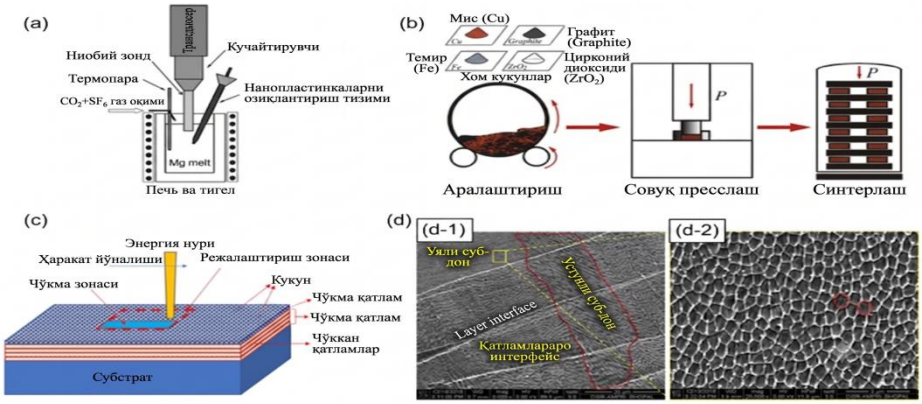
Кириш. Ҳозирги вақтда, бизнинг фикримизча, нанотехнология асосида махсус физик, механик, биологик ва кимёвий хусусиятларга эга материалларни олиш тўлиқ ўрганилмаган ва уларнинг технологик хусусиятларини башорат қилиш орқали металл матрицали композит материалларни олиш технологияси ва уларнинг технологик хосаларини лойиҳалаш масалаларини ҳал қилиш бўйича янги муаммоларни кун тартибига қўймоқда[1].

Тадқиқот методологияси. Трибологик соҳаларда қўллаш учун металл матрицали нанокомпозитларни тайёрлаш, ишлаб чиқариш ва қайта ишловларни икки тоифага, яъни ҳажмий материалларни ишлов бериш усуллари ва сиртга ишлов бериш усулларига бўлиш мумкин. Бундай классификация трибологик жараёнларни кириб бориш чуқурлиги 1-1000 мкм бўлган материаллар юзасида содир бўлади. Ҳажмий ишлов бериш усуллари металл матрицали нанокомпозитларни қуйма шаклида олиш имконини беради ва уларнинг хоссалари ва хусусиятлари, шу жумладан трибологик хусусиятлари сиртдан ички қисмга қадар ички бир жинсли деб ҳисобланиши мумкин. Аксинча, сирт муҳандислик усуллари билан олинган металл матрицали нанокомпозитлар одатда гетероген субстратнинг сиртини ўзгартиради ва қалинлиги 1-1000 мкм бўлган нанокомпозит

қатламини яратади. Металл матрицали нанокомпозитларнинг субстратлари ва қоплама қатлами трибологик реакцияларга таъсир қилувчи турли хил хусусиятларга эга бўлиши мумкин[2,4].

Таҳлил ва мулоҳазалар. Металл матрицали нанокомпозитларнинг ривожланиши билан уларнинг трибологик хусусиятларини ўзига хос солиштирма мустаҳкамликни ошиши, солиштирма бикрлик, қаттиқликни ортиши, энергияни ютиши ва демпфирлашни осонгина созланиши қобилияти, шунингдек майда донли микроструктурани ҳосил бўлиши (майдаланиши) ҳисобига яхшиланиши мумкин. Мисол учун, 1-расмда кўрсатилгандек, металл матрицали нанокомпозитлар энг кенг энергетик ойнаси билан ишончли энергия ютилишини (бу ерда тормозланиш энергияси зичлиги билан белгиланади) таъминлаши мумкин [2].

Хулоса. Трибологик саноат ва тадқиқотларда мавжуд ва маълум қийинчиликлар билан олинадиган металл матрицали нанокомпозит ишлаб чиқариш учун трибологик металл матрицали нанокомпозитлар учун келгусида “моделлаштириш - эксперимент -дастур” тадқиқот режимини аниқлаштириш ва ушбу соҳада янада кенгроқ инновацияларни қўлланиши мақсадга мувофиқ [1,3,4].



1-расм. Металл матрицали нанокомпозитларни ишлаб чиқариш учун сочилувчан материалларни қайта ишлаш усулларига умумий шарҳ: (а) ультратовуш ёрдамида Mg-графенли нанокомпозитларни тайёрлаб қуйиш учун типик қурилма; (б) Cu-ZrO_2 нанокомпозитларини ишлаб чиқариш учун шарли майдалаш ва кейинчалик сиқиб зичлаш жараёни учун типик қурилма; (с) зангламайдиган пўлат ва TiC дан 316L нанокомпозитларни ишлаб чиқариш учун селектив лазерли эритиш (суюқлантириш) жараёни; (д) SLM усули билан тайёрланган зангламайдиган пўлат-графендан 316L нанокомпозитларнинг махсус микро тузилиши.

Фойдаланилган адабиётлар

1. Якубов С.Х., Норқулов Э.О.Критический обзор по металломатричных нанокомпозитов в трибологии // “Samo qalqonlari” ilmiy-axborot jurnali 11 (3) 2024.- С. 351-360.

2. Якубов С.Х., Норкулов Э.О., Холмуродов Д.С. Разработки технологии ультрадисперсных порошков на основе тугоплавких металлов/Методы и перспективы инновационного преподавания общетехнических дисциплин: Материалы Республиканского научно-теоретической конференции (31 октября 2024 г.)//Редкол.: Якубов С.Х. (Отв. ред.). – Карши: Институт военной авиации Республики Узбекистан, 2024. - С. 47-52.

3. Якубов С.Х., Рузматов Р.А. Систематический обзор исследования и промышленных потребностей композиционных материалов с металлической матрицей// Научный потенциал. ISSN:2218-7774. № 2(49). 2025. - С. 11- 14.

4. Якубов С.Х., Рузматов Р.А. Review of experimental studies of deformation processes in polymer composite materials/American Journal of Technology and Applied Sciences. Volume 46, March – 2026. – 7 Page. ISSN (E): 2832-1766.

ASETILEN GAZINING KATALITIK PIROLIZI ASOSIDA UGLEROD NANOTRUBKALARINI SINTEZ QILISH

A.A. Rahmonqulov, T.Z. Xaydarov
Qarshi davlat texnika universiteti, Tabiiy fanlar kafedrasi, Qarshi, O‘zbekiston

Annotatsiya

Ushbu tezisda asetilen gazining metall katalizator ishtirokidagi katalitik pirolizi asosida uglerod nanotrubkalarini (UNT) sintez qilish jarayoni tadqiq etilgan. Jarayonning 600–900°C harorat oralig‘idagi xususiyatlari, nanotrubkalar hosil bo‘lish mexanizmlari va sintez mahsulotining morfologik tarkibi o‘rganilgan. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, taxminan 700 °C haroratda katalizator faolligi yuqori bo‘lib, uglerod nanotrubkalarining barqaror shakllanishi kuzatilgan. Sintez qilingan nanokarbon material tarkibida UNT ulushi taxminan 80–90 % ni tashkil etgan. Natijalar asetilenni chuqur qayta ishlash, nanokompozitlar olish va vodorod ishlab chiqarishga yo‘naltirilgan resurs-tejamkor texnologiyalar uchun amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so‘zlar: asetilen, uglerod nanotrubkalari, katalitik piroliz, metall katalizator, CVD, nanokarbon material, vodorod.

Kirish

Uglerod nanotrubkalari yuqori mexanik mustahkamlik, elektr va issiqlik o‘tkazuvchanligi hamda kimyoviy barqarorligi bilan ajralib turuvchi nanostrukturali materiallardir. Ularning nanotexnologiya, elektronika, energetika va polimer kompozitlaridagi qo‘llanilishi materialning tuzilishi va sintez sharoitlarini boshqarishga bo‘lgan ehtiyojni kuchaytirmoqda [1,2]. CVD texnologiyasi UNT larni olishning istiqbolli usullaridan biri bo‘lib, unda uglevodorod manbai, katalizator, harorat va gaz oqimi kabi parametrlar nanotrubka hosil bo‘lishiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi [3,4].

Asetilenning katalitik parchalanishi nisbatan sodda qurilmada uglerod nanomateriallari hosil qilish imkonini beradi. Bunda asetilen molekulalari katalizator sirtida parchalanib, uglerod atomlari metall zarrachalarida to‘planadi va keyinchalik nanostrukturali uglerod fazalarining o‘sishi yuz beradi. Jarayonning qo‘shimcha mahsuloti sifatida vodorod hosil bo‘lishi texnologiyaning resurs-tejamkorligini oshiradi.

Tadqiqot materiali va metodikasi

Tadqiqot gaz fazali katalitik sintez va yuqori haroratli termokimyoviy konversiya tamoyillariga asoslandi. Asetilen Kipp apparatida hosil qilinib, namlikni kamaytirish uchun silikagelli quritish kolonnasidan o‘tkazildi. Gaz sarfi pufakchalar soni bo‘yicha nazorat qilindi. Piroliz kvarts trubkasida katalizator joylashtirilgan qayiqcha yordamida olib borildi.

Parametr	**Qiymat**
Harorat	600–900 °C
Optimal harorat	≈700 °C
Bosim	Atmosfera bosimi
Xomashyo	C_2H_2
Jarayon turi	Katalitik piroliz

Natijalar va muhokama

Tajriba davomida katalizator harorati, gaz oqimi tezligi, asetilen konversiyasi va katalizator faolligi monitoring qilindi. Asetilenning katalizator sirtida parchalanishi natijasida uglerod atomlari ajralib chiqib,

metall zarrachalarida to‘planishi kuzatildi. Uglerodning katalizator bilan o‘zaro ta’siri nanotrubka yadrolarining hosil bo‘lishi va ularning keyingi o‘sishini ta’minlovchi bosqich sifatida qaraldi.

Nanotrubka hosil bo‘lishini uchta ehtimoliy mexanizm bilan izohlash mumkin: katalizator-yadro mexanizmi, bug‘, suyuqlik, tomchi modeli va gaz-fazali uglerod klasterlarining cho‘kishi. CVD bo‘yicha adabiyotlarda katalizator turi, uglevodorod manbai va harorat UNTlarning diametri, devorlar soni va morfologiyasini belgilovchi muhim omillar sifatida ko‘rsatilgan [3–5].

SEM kuzatuvlarida dastlab notekis tolali va bulutsimon strukturalar, keyingi bosqichlarda esa zich aglomeratsiyalangan, g‘ovaksimon va granulali nanokarbon agregatlari kuzatilgan. Ushbu morfologiya amorf uglerodning dastlabki hosil bo‘lishidan nanotubali tuzilmalarning shakllanishigacha bo‘lgan bosqichma-bosqich jarayonni ko‘rsatadi.

Tadqiqotning asosiy natijasi shundan iboratki, 600–900 °C diapazonda, ayniqsa ≈700°C atrofida, katalizator faolligi va nanotrubkalar o‘sishi uchun qulay sharoit shakllangan. Sintez mahsulotida uglerod nanotrubkalarining ulushi taxminan 80–90 % ni tashkil etgan, qolgan qismi esa amorf uglerod va grafit fazalaridan iborat bo‘lgan. Mazkur natija asetilenni katalitik piroliz qilish orqali nanokarbon materiallar olish imkoniyatini tasdiqlaydi.

Xulosa

Asetilen gazining metall katalizator ishtirokidagi katalitik pirolizi asosida uglerod nanotrubkalarini olish jarayoni tadqiq qilindi. 600–900 °C harorat oralig‘ida olib borilgan tajribalarda ≈700 °C atrofida nanotrubkalar shakllanishi uchun qulay sharoit aniqlangan. Sintez mahsulotining taxminan 80–90 % ini uglerod nanotrubkalari tashkil etgan. Jarayonning muhim afzalliklari qurilma konstruksiyasining soddaligi, uglevodorod xomashyosidan foydalanish, uzluksiz jarayonni tashkil etish imkoniyati va uglerod nanomateriallari bilan bir vaqtda vodorod olish istiqbolidir. Kelgusidagi ishlar katalizator tarkibi va konsentratsiyasini optimallashtirish, nanotrubka diametri va morfologiyasini boshqarish hamda jarayonni sanoat reaktoriga masshtablashga qaratilishi lozim.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Iijima S. Helical microtubules of graphitic carbon. Nature. 1991. Vol. 354. P. 56–58. DOI: 10.1038/354056a0.
2. Khaydarov T.Z., Rahmankulov A.A., Karimov M.U., Djalilov A.T. Research of thermal analysis of polyethylene composites based on carbon nanotubes // American Journal of Engineering, Mechanics and Architecture Volume 01, Issue 08, 2023. P 69-72
3. Khaydarov T.Z. Growth of carbon nanotubes on catalyst // Universum: химия и биология: электрон. научн. журн. 2023. 6(108). 69-74 10.32743/UniChem.2023.108.6.15619
4. Dai H. Carbon nanotubes: opportunities and challenges. Surface Science. 2002. Vol. 500, No. 1–3. P. 218–241. DOI: 10.1016/S0039-6028(01)01558
5. Kumar M., Ando Y. Chemical vapor deposition of carbon nanotubes: a review on growth mechanism and mass production. Journal of Nanoscience and Nanotechnology. 2010. Vol. 10, No. 6. P. 3739–3758. DOI: 10.1166/jnn.2010.2939.

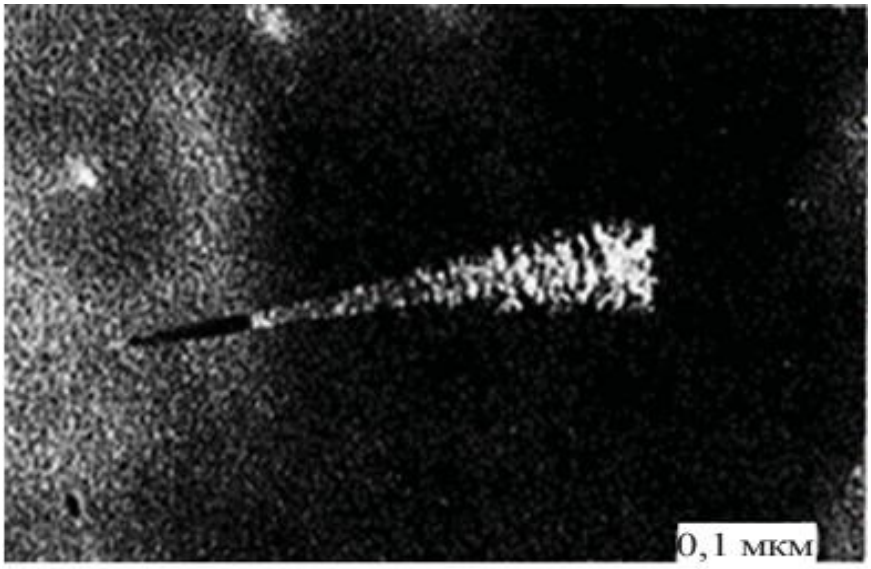
ISHQORIY SILIKAT SHISHADA KUMUSHNING ION-ALMASHINISH DIFFUZIYASI

Shodmonova D.
Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti magistranti

Bugungi kunda silikat shishalarda ion almashinuvi texnologiyasi fotonika va optoelektronika masalalari uchun keng qo‘llaniladi. Masalan, silikat shishada natriy ionlarini kumush ionlariga tuz

eritmasida past haroratda (~350°C) almashtirish sinish ko‘rsatkichini oshirishga (Δn~0.01) va rekord darajada past yo‘qotishlarga ega (0.001 dB/sm) planar optik to‘lqin o‘tkazgichlar hamda gradient linzalarni yaratishga imkon beradi, bu esa integral va gradient optikada qo‘llaniladi. Bunday qatlamlarga qo‘shimcha termik ishlov berish bir valentli kumush ionlarini plazmon metall kumush nanozarrachalariga aylantirishga imkon beradi, ular turli kimyoviy moddalar sensorlarida sirt plazmon rezonansi hisobiga qo‘llaniladi.

Fototermorefraktiv (FTR) shishalar fotosezgir materiallarning istiqbolli sinfi hisoblanib, ular fotonika yo‘nalishida keng talab qilinayotgan hajmiy fazaviy gologrammalarni yozish va shakllantirish imkonini beruvchi muhim optik muhit sifatida foydalaniladi. FTR shishalarning prototipi 1977-yilda S.D. Stokey, J.E. Pierson va G.H. Beall tomonidan Amerikaning Corning kompaniyasida ishlab chiqilgan polixrom (PX) shisha bo‘lgan [1–2].



1-rasm. Polixrom (PX) shishalarda metall kumush qoplamasi bilan qoplangan cho‘zilgan shakldagi natriy ftorid mikrokristalining fotosurati. Kristall o‘lchami 0,1 mkm

80-yillarning oxiri — 90-yillarning boshlarida L.B. Glebov va N.V. Nikonorov (S.I. Vavilov nomidagi Davlat optika instituti) fototermoinitsiyalangan (FTI) kristallanish sinish ko‘rsatkichining (refraksiya koeffitsiyenti, РП) o‘zgarishiga olib kelishini aniqladilar. Kuzatilgan mazkur hodisa hosil bo‘lgan kristall faza va shisha asosining sinish ko‘rsatkichlari orasidagi tafovut bilan izohlanadi [3–4].

Hozirgi vaqtda yuqori optik sifatga ega FTR shishalarga hamda ularni sanoat miqyosida ishlab chiqarish texnologiyalariga bo‘lgan talab tobora ortib bormoqda. Shunga qaramay, ftoridli, bromidli va xloridli FTR shishalarni olish jarayoni texnologik jihatdan murakkab va katta mehnat sarfini talab etadi. Buning asosiy sabablaridan biri shisha matritsasida kremniy dioksidning ($SiO_2 \approx 72$ mol %) yuqori ulushda mavjudligidir. Mazkur holat eritmaning qovushqoqligini oshiradi va sintezdan so‘ng yuqori darajada bir jinsli hamda sifatli zagotovkalarni tayyorlashni, ayniqsa ularni shakllantirish va qoliplash jarayonlarini ancha murakkablashtiradi.

Kumushning silikat shishalarda past eruvchanligi tufayli (kalsiy-silikat shishalarda taxminan 10^{19} sm^{-3} tartibida FTR shishalarda Ag_2O konsentratsiyasi 0,15 mol % dan oshmaydi. Biroq past haroratli ion-almashinish usuli (Na^+ ionlarini tuz eritmasida almashinish) yordamida kumush ionlari konsentratsiyasini ikki tartibga oshirish mumkin (Na^+ ionlari to‘liq Ag^+ ionlariga almashgan sharoitda).

Bunday yuqori kumush ionlari konsentratsiyasi keyinchalik sirt qatlamlarida kumush molekulyar klasterlari va kumush nanozarrachalarining (NCh) ancha yuqori konsentratsiyalarini ta’minlaydi, bu esa FTR shishaning hajmida ultrabinafsha (UB) nurlanish va undan keyingi issiqlik bilan ishlov berish orqali olinadigan qiymatlarga nisbatan yuqoriroqdir.

Shuni alohida ta’kidlash lozimki, FTR shishalar tarkibida natriy ionlari ($Na_2O \approx 15$ mol %) mavjud bo‘lib, bunday shishalar uchun ion-almashinish texnologiyasini qo‘llash imkoniyati mavjud. Xususan, FTR shishadagi Na^+ ionlarini turli metall ionlariga almashtirish mumkin: jumladan, kumush ionlari ($Na^+ \leftrightarrow Ag^+$), shuningdek kaliy, rubidiy va seziy ionlari ($Na^+ \leftrightarrow K^+$, $Na^+ \leftrightarrow Rb^+$, $Na^+ \leftrightarrow Cs^+$) bilan almashtirish amalga oshiriladi [5].

FTR shishalar golografik, lyuminessent va lazer muhit sifatida yuqori funksional xususiyatlarga ega bo‘lib, zamonaviy fotonika qurilmalarini yaratishda istiqbolli material hisoblanadi. Ushbu materiallar ion-almashinish, kimyoviy o‘yish va optik tolalarni shakllantirish texnologiyalari bilan mos keladi hamda ularning optik xossalarini keng diapazonda boshqarish imkonini beradi.

Adabiyotlar

1. Pierson J.E., Stookey S.D. Method for making photosensitive colored glasses // US Patent№ 4057408. 1977.
2. Stookey S.D., Beall G.H., Pierson J.I. Lichtemp-findliches glas mit massiver farbug // F. M.-Fein-werktech Mes. 1978. Bd. 86. № 8. S. 387–390.
3. Боргман В.А., Глебов Л.Б., Никоноров Н.В. и др. Фототерморефрактивный эффект в силикатных стеклах // Докл. АН СССР. 1989. Т. 309. № 2. С. 336–339. Borgman V.A., Glebov L.B., Nikonorov N.V., et al. Photothermorefractive effect in silicate-glasses [in Russian] // Reports of the Academy of Sciences of the USSR. 1989. V. 309. № 2. P. 336–339.
4. Glebov L.B., Nikonorov N.V., Petrovsky G.T., et al. Formation of optical elements by photo-thermo-induced crystallization of glass // Proc. SPIE: Optical Radiation Interaction with Matter. Leningrad, Russian Federation. 1991. V. 1440.P. 24–35. https://doi.org/10.1117/12.48131
5. Сгибнев Е. Оптические и спектральные свой-ства серебряных ионообменных слоев фото-термо-рефрактивных стекол // Дисс. канд. физ.-мат. наук. Университет ИТМО, Санкт-Петербург. 2017. 175 с.
6. Sgibnev E. Optical and spectral properties of silver ion-exchange layers of photo-thermo-ref-ractive glasses [in Russian] // PhD thesis. ITMO University, St. Petersburg. 2017. 175 p.

$Si_{64}Ni_x$ (x = 1÷10) TIZIMLARINING ATOM TUZILISHI VA ENERGETIK BARQARORLASHUV MEXANIZMLARINI KVANT-MEXANIK MODELLASHTIRISH

Rayxona Boboqulova, Dilbar Xolmirzayeva, Abdulla Dursoatov, O‘tkir O‘ljayev.
Denov tadbirkorlik va pedagogika instituti, Denov, O‘zbekiston

Kremniy matritsasida o‘tish metallari atomlarining joylashuvi va o‘zaro ta’sirini o‘rganish materiallarning lokal strukturasi hamda energetik xossalarini tushunish uchun muhimdir [1]. Nikel atomlarining soni ortishi bilan Ni-Si koordinatsion muhiti, kremniy panjarasining relaksatsiyasi va Ni-Ni kontaktlari o‘zgarishi mumkin [2]. Mazkur ishning maqsadi $Si_{64}Ni_x$ (x = 1÷10) tizimlarining tanlangan relaksatsiyalangan konfiguratsiyalarida nikel miqdori bilan strukturaviy va energetik ko‘rsatkichlar orasidagi bog‘liqlikni tahlil qilishdan iborat. Tadqiqotda 64 ta Si atomidan iborat kremniy superyacheykasiga 1÷10 ta Ni atomi kiritilib, $Si_{64}Ni_x$ (x = 1÷10) tizimlari modellashtirildi. Hisoblashlar

Quantum ESPRESSO dasturida DFT nazariyasi, PBE-GGA funksionali va ultrasoft psevdopotensiallar asosida bajarildi [3-5].

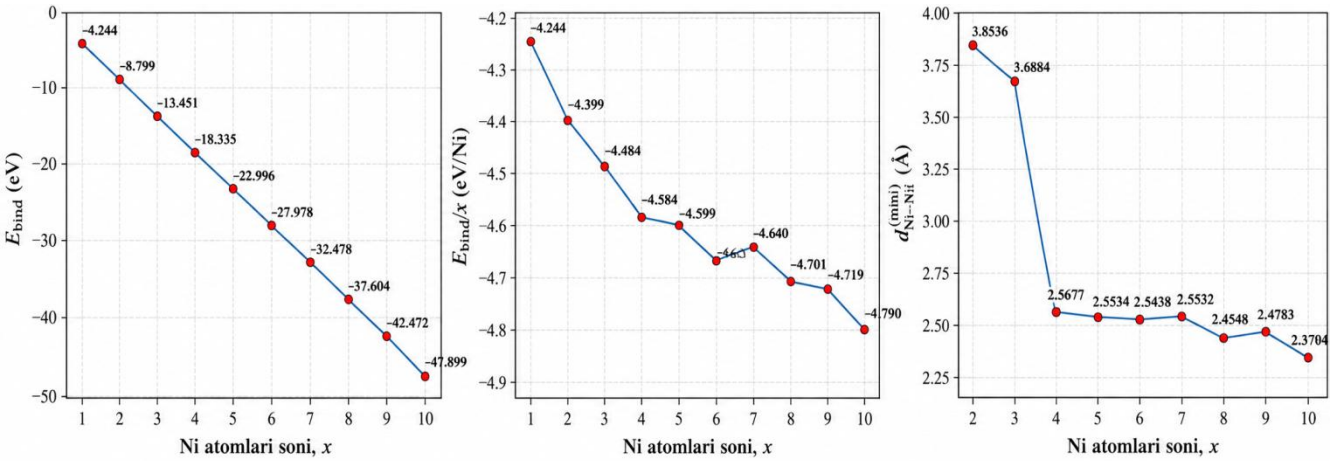
Atomlar soni turlicha bo‘lgan tizimlarning mutlaq umumiy energiyalarini to‘g‘ridan-to‘g‘ri solishtirish o‘rniga, bir xil atomar referensga asoslangan bog‘lanish energiyasi qo‘llanildi:

$$E_{\mathrm{bind(x)}} = \mathrm{E}_{(\mathrm{Si_{64}Ni_x})} - \mathrm{E}_{(\mathrm{Si_{64}})} - \mathrm{x\ E}_{(\mathrm{Ni_x})} \qquad (1)$$

Bu yerda $\mathrm{E}_{(\mathrm{Ni_x})}$- izolyatsiyalangan Ni atomining referens energiyasi. Har bir navbatdagi Ni atomini kiritishning energetik effekti:

$$\Delta E_{\mathrm{x}} = E_{\mathrm{bind(x)}} - E_{\mathrm{bind(x-1)}} \qquad (2)$$

ifodasi orqali baholandi [4].



a) *b)* *c)*

1-rasm. *$Si_{64}Ni_x$ (x = 1-10) tizimlarida Ni atomlari soniga bog‘liq holda umumiy bog‘lanish energiyasi (a), bir Ni atomiga to‘g‘ri keladigan o‘rtacha bog‘lanish energiyasi (b) va minimal Ni-Ni atomlararo masofasining (c) o‘zgarishi.*

$Si_{64}Ni_x$ (x = 1÷10) tizimlarining energetik tahlili Ni atomlari sonining ortishi bilan umumiy bog‘lanish energiyasining sezilarli o‘zgarishini ko‘rsatdi. Bog‘lanish energiyasi $Si_{64}Ni$ uchun -4,244 eV dan $Si_{64}Ni_{10}$ uchun -47,899 eV gacha kamayadi (1*a*-rasm). Energiya qiymatlarining manfiy yo‘nalishda ortib borishi tanlangan konfiguratsiyalar qatorida atomar Ni referensiga nisbatan tizimning umumiy energetik stabilizatsiyasi kuchayishini ko‘rsatadi. Turli tarkibli tizimlarni o‘zaro taqqoslash uchun bir Ni atomiga to‘g‘ri keladigan o‘rtacha bog‘lanish energiyasi ham baholandi. Ushbu kattalik -4,244 eV/Ni dan -4,790 eV/Ni gacha o‘zgarib, Ni miqdori ortishi bilan o‘rtacha energetik stabilizatsiyaning umumiy holda kuchayishini ko‘rsatadi (1*b*-rasm). Biroq bog‘lanish energiyasining tarkibga bog‘liqligi qat’iy monoton xarakterga ega emas. Xususan, x = 6 uchun o‘rtacha bog‘lanish energiyasi -4,663 eV/Ni bo‘lsa, x = 7 da -4,640 eV/Ni ni tashkil etadi. Bunday nomonoton o‘zgarish tizimning energetik holati faqat Ni atomlari soniga emas, balki ularning kremniy matritsasidagi fazoviy joylashuvi, lokal koordinatsion muhiti va panjara relaksatsiyasiga ham bog‘liq bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatadi.

Strukturaviy tahlilda Ni atomlari sonining ortishi bilan Ni-Ni atomlararo masofalarida sezilarli o‘zgarishlar aniqlandi. $Si_{64}Ni_2$ va $Si_{64}Ni_3$ tizimlarida minimal Ni-Ni masofalari mos ravishda 3,8536 va

3,6884 Å ni tashkil etsa, $Si_{64}Ni_4$ da bu qiymat 2,5677 Å gacha qisqaradi. $Si_{64}Ni_{10}$ konfiguratsiyasida esa minimal Ni-Ni masofasi 2,3704 Å ga teng bo'ladi (1-c rasm). Demak, ko'rib chiqilgan konfiguratsiyalar qatorida x ≈ 4 dan boshlab qisqa Ni-Ni kontaktlarining shakllanishi kuzatiladi. Shu bilan birga, Ni-Si o'rtacha atomlararo masofalari 2,34-2,40 Å oralig'ida saqlanib, tizimning strukturaviy holatini tavsiflashda Ni-Si lokal koordinatsiyasi bilan bir qatorda Ni-Ni yaqinlashuvlarini ham hisobga olish zarurligini ko'rsatadi.

Tizimlarning energetik barqarorligini qo'shimcha baholash maqsadida Ni atomlarini ketma-ket kiritish energiyalari tahlil qilindi. x = 1÷10 oralig'idagi barcha ko'rib chiqilgan konfiguratsiyalar uchun ushbu energiyalar manfiy qiymatga ega bo'ldi. Jumladan, x = 4, 8 va 10 uchun ketma-ket kiritish energiyalari mos ravishda -4,884, -5,127 va -5,426 eV ni tashkil etdi. Ko'rib chiqilgan qator ichida eng manfiy qiymat $Si_{64}Ni_{10}$ tizimida qayd etildi. Ketma-ket kiritish energiyalarining manfiyligi tanlangan konfiguratsiyalar doirasida navbatdagi Ni atomining qo'shilishi atomar Ni referensiga nisbatan energetik jihatdan qulay ekanligini ko'rsatadi.

$Si_{64}Ni_x$ tizimlarida Ni miqdorining ortishi umumiy energetik stabilizatsiyaning kuchayishi hamda x ≈ 4 dan boshlab qisqa Ni-Ni kontaktlarining shakllanishi bilan tavsiflanadi. Energetik kattaliklarning ayrim tarkiblarda nomonoton o'zgarishi esa tizim barqarorligida Ni atomlari soni bilan bir qatorda ularning lokal fazoviy konfiguratsiyasi va kremniy panjarasining relaksatsiyasi ham muhim ahamiyatga ega ekanligini ko'rsatadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. H. Meddeb, A. Al-Qattan, H. Al-Kandari et al. Influence of transition metal defects on electronic and magnetic properties of bulk silicon: Ab-initio simulation // *Materials Today Communications*. - 2023. - Vol. 34. - Article 105415. DOI: 10.1016/j.mtcomm.2023.105415.
2. Structures and magnetic properties of Si_nNi (n = 1÷17) clusters // *Computational Materials Science*. - 2010. - DFT-GGA calculations of structural, energetic and magnetic properties of nickel-doped silicon clusters.
3. Giannozzi P., Baroni S., Bonini N., Calandra M., Car R., Cavazzoni C., Ceresoli D., Chiarotti G. L., Cococcioni M., Dabo I. et al. QUANTUM ESPRESSO: a modular and open-source software project for quantum simulations of materials // *Journal of Physics: Condensed Matter*. - 2009. - Vol. 21. - No. 39. - Article 395502. DOI: 10.1088/0953-8984/21/39/395502.
4. Perdew J. P., Burke K., Ernzerhof M. Generalized Gradient Approximation Made Simple // *Physical Review Letters*. - 1996. - Vol. 77. - No. 18. - P. 3865-3868. DOI: 10.1103/PhysRevLett.77.3865.
5. Vanderbilt D. Soft self-consistent pseudopotentials in a generalized eigenvalue formalism // *Physical Review B*. - 1990. - Vol. 41. - No. 11. - P. 7892-7895. DOI: 10.1103/PhysRevB.41.7892.

BOR BILAN DOPING QILINGAN Ni@BQUNTLARDA VODOROD ADSORBSIYASINI MOLEKULYAR DINAMIKA USULIDA TADQIQ ETISH

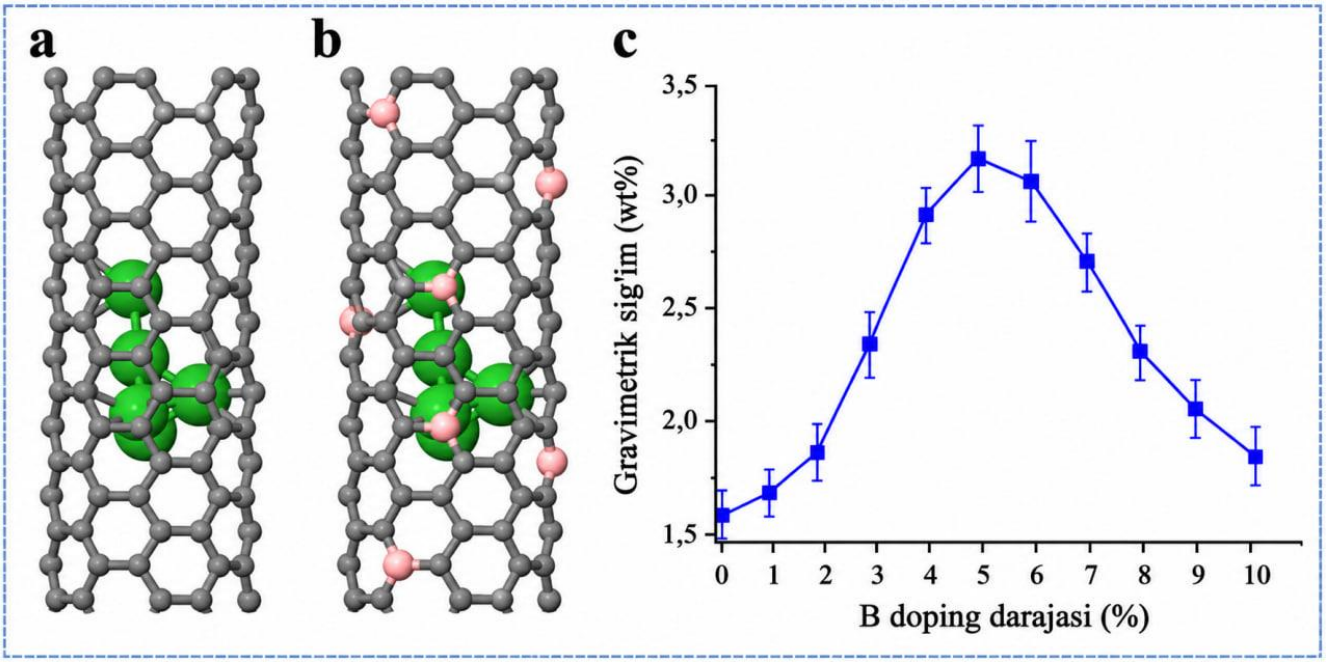
Aziza Jumanazarova, Zafar Begmatov, Shahnozaxon Muminova, O'tkir O'ljayev.
Denov tadbirkorlik va pedagogika instituti, Denov, O'zbekiston

Vodorod yuqori gravimetrik energiya zichligi va undan foydalanish jarayonida karbonat angidrid ajralib chiqmasligi sababli istiqbolli energiya tashuvchilardan biri hisoblanadi. Biroq vodorodni xavfsiz, ixcham va yuqori sig'imda saqlash zamonaviy energetikaning dolzarb muammolaridan biridir [1]. Shu nuqtayi nazardan, katta solishtirma sirt maydoniga va kichik massa zichligiga ega uglerodli nanomateriallar, xususan bir qavatli uglerodli nanotrubkalar (BQUNT), vodorod saqlash uchun muhim tadqiqot obyekti

hisoblanadi [2]. Sof uglerodli nanotrubkalarda vodorod molekulalarining adsorbsiyasi asosan kuchsiz fizik o‘zaro ta’sirlar bilan belgilanadi.

Nanotrubka tuzilishiga metall atomlarini kiritish hamda uglerod atomlarini boshqa elementlar bilan almashtirish uning sirt xususiyatlarini o‘zgartirish imkonini beradi. Jumladan, bor atomlari bilan doping qilish natijasida hosil bo‘ladigan elektron yetishmovchiligi xarakteridagi lokal markazlar H_2 molekulalarining sirt bilan o‘zaro ta’siriga ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Tadqiqotning maqsadi, endoedral Ni atomlari bilan modifikatsiyalangan (5,5) uglerodli nanotrubkalarda bor doping konsentratsiyasining vodorod adsorbsiyasi energetikasi, gravimetrik sig‘imi va molekulalarning fazoviy taqsimlanishiga ta’sirini molekulyar dinamika usulida aniqlash.

Tadqiqotda diametri 6,86 Å va uzunligi 27,25 Å bo‘lgan (5,5) xirallikdagi bir qavatli uglerodli nanotrubka modeli tanlandi (1-rasm, *a*). Nanotrubka ichki qismiga 5 at.% miqdorida Ni atomlari kiritildi (1-rasm, *b*). Uglerod atomlarining ma’lum qismi bor atomlari bilan almashtirilib, B dopingining 0, 2, 4, 6, 8 va 10 at.% konsentratsiyalari uchun hisoblashlar bajarildi. Molekulyar dinamika hisoblashlari LAMMPS dasturiy paketida ReaxFF reaktiv kuch maydoni asosida amalga oshirildi [3]. Tizimning boshlang‘ich konfiguratsiyasi konjugat gradient usuli yordamida energiya bo‘yicha minimallashtirildi. Temperatura Nosé-Hoover termostati orqali boshqarildi [4].



1-rasm. Sof BQUNT (*a*), $B_{5\%}$-Ni@BQUNT (*b*) holatlari, shuningdek, gravimetrik vodorod saqlash zichligining B atomlari konsentratsiyasining bog‘liqligi (*c*) keltirilgan.

Hisoblashlarda temperatura 300 K, vodorod bosimi taxminan 348 kPa, integratsiya qadami esa 0,1 fs etib belgilandi. Statistik ishonchlilikni oshirish maqsadida hisoblashlar besh marta takrorlandi. Gravimetrik sig‘im quyidagicha aniqlandi:

$$wt.\% = m_{(H_2)} / [m_{(adsorbent)} + m_{(H_2)}] \times 100\%. \quad (1)$$

Adsorbsiyalangan molekulalarni aniqlashda H_2 molekulasining massa markazidan nanotrubka yoki ichki Ni atomigacha bo‘lgan 3 Å kesish masofasi qo‘llanildi. Molekulyar dinamika natijalari bor doping

konsentratsiyasining ortishi Ni@BQUNT va vodorod molekulalari orasidagi o‘zaro ta’sir potensialiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishini aniqladi. Bor kiritilmagan tizimda potensial energiya minimumi taxminan −9,2 kJ·mol^{-1} bo‘lgan bo‘lsa, 10 at.% B dopingda ushbu qiymat −11,2 kJ·mol^{-1} gacha kamaydi. Potensial energiya minimumining chuqurlashishi bilan H_2 molekulalarining muvozanat masofasi taxminan 2,85 Å dan 2,75 Å gacha qisqardi. Ushbu natija bor atomlari bilan modifikatsiyalash H_2 va nanotrubka orasidagi o‘zaro ta’sirni kuchaytirishini ko‘rsatadi.

Shu bilan birga, gravimetrik vodorod saqlash sig‘imining doping konsentratsiyasiga bog‘liqligi monoton bo‘lmagan xarakterga ega. Eng yuqori gravimetrik sig‘im 5 at.% B dopingda 3,15 wt.% ni tashkil etdi. Bor konsentratsiyasining bundan keyingi ortishi adsorbsiyalangan vodorod miqdorining kamayishiga olib keldi. Bu holat o‘zaro ta’sir potensiali minimumining chuqurlashishi har doim ham umumiy vodorod saqlash sig‘imining ortishini ta’minlamasligini ko‘rsatadi.

Vodorod molekulalarining fazoviy taqsimlanishini baholash uchun radial taqsimlanish funksiyasi (RDF) tahlil qilindi. Sof BQUNTda RDF birinchi maksimumi r≈3,05 Å masofada g(r)≈2,05 qiymatga ega bo‘ldi. 5 at.% B dopingda esa ushbu maksimum r≈2,78 Å masofaga siljib, g(r)≈3,55 gacha ortdi. Bu vodorod molekulalarining adsorbent yaqinida lokal to‘planishi kuchayganligini ko‘rsatadi. 10 at.% B dopingda RDF birinchi maksimumining g(r)≈2,45 gacha kamayishi yuqori doping darajalarida vodorodning lokal taqsimlanishi o‘zgarishini tasdiqlaydi.

Endoedral Ni atomlari bilan modifikatsiyalangan (5,5) uglerodli nanotrubkalarda bor dopingining vodorod adsorbsiyasiga ta’siri molekulyar dinamika usulida o‘rganildi. Bor konsentratsiyasi 0 dan 10 at.% gacha oshirilganda H_2–sirt o‘zaro ta’sir potensiali minimumi −9,2 dan −11,2 kJ·mol^{-1} gacha chuqurlashishi aniqlandi. Biroq vodorod saqlash sig‘imining maksimal qiymati 5 at.% B dopingda kuzatilib, 3,15 wt.% ni tashkil etdi (1-rasm, *c*). RDF tahlili ushbu konsentratsiyada vodorod molekulalarining nanotrubka yaqinida lokal to‘planishi kuchayishini ko‘rsatdi. Olingan natijalar tadqiq etilgan konsentratsiyalar oralig‘ida 5 at.% B doping Ni@BQUNT asosidagi vodorod saqlash tizimlari uchun gravimetrik sig‘im nuqtayi nazaridan maqbul ekanligini ko‘rsatadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Subedi N. et al. Hydrogen as an energy carrier: Production pathways, thermochemical constraints, and electrolysis-based green hydrogen prospects. International Journal of Hydrogen Energy, 220, 154100 (2026).

2. Zhao J., Buldum A., Han J., Lu J. P. Gas molecule adsorption in carbon nanotubes and nanotube bundles. Nanotechnology, 13, 195 (2002).

3. Thompson A. P. et al. LAMMPS - A flexible simulation tool for particle-based materials modeling at the atomic, meso, and continuum scales. Computer Physics Communications, 271, 108171 (2021).

4. Nosé S. A molecular dynamics method for simulations in the canonical ensemble. Molecular Physics, 52, 255 (1984).

5. Улжаев У. Б., Алябьев Д. В., Ядгаров И. Д. Моделирование рассеяния атомов водорода на углеродных нанотрубках. Узбекский физический журнал, 24, 273 (2022).

AZOT BILAN DOPINGLANGAN NIKELLI UGLEROD NANOTRUBKALARDA VODOROD ADSORBSIYASINI MOLEKULYAR DINAMIKA USULIDA O‘RGANISH

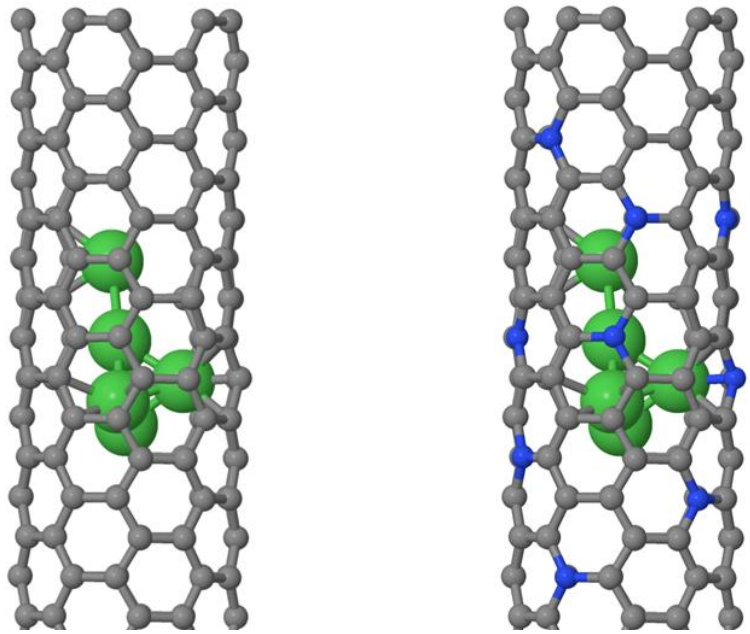
Marjona Suvanova[1], Rayxona Ravshanova[1], Ishmumin Yadgarov[2], O‘tkir O‘ljayev[1]
[1] Denov tadbirkorlik va pedagogika instituti.
[2] FA Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti.

Vodorodni adsorbsiya asosida saqlash uchun yengil va katta sirt maydoniga ega uglerod nanotubkalar muhim materiallardan hisoblanadi. Biroq modifikatsiyalanmagan nanotubkalarning H_2 bilan o‘zaro ta’siri nisbatan kuchsiz. Uglerod panjarasidagi C atomlarini azot (N) bilan almashtirish lokal elektron muhitni o‘zgartirishi, endoedral Ni atomlari esa vodorod bilan o‘zaro ta’sirga ta’sir etishi mumkin. Ishning maqsadi - Ni saqlovchi (5,5) nanotrubkada N-doping miqdorining H_2 adsorbsiyasi energetikasi va saqlash ko‘rsatkichlariga ta’sirini baholash.

Hisoblashlar LAMMPS paketida molekulyar dinamika usuli bilan bajarilgan. (5,5) nanotubka diametri 6,86 Å, uzunligi 27,25 Å; endoedral Ni miqdori 6 at.% deb olingan. Uglerod atomlarining bir qismi N atomlariga almashtirilgan; dastlabki metodologiyada N konsentratsiyalari 0÷10 at.% deb ko‘rsatilgan (1-rasm). H_2 molekulalari dastlab sirtga nisbatan 10 Å masofada joylashtirilgan. Atomlararo ta’sir ReaxFF kuch maydoni orqali ifodalangan, temperaturani boshqarishda Nosé–Hoover termostatidan foydalanilgan. Tizim energiyasi konjugat gradient usulida minimallashtirilgan. Vodorod gazining bosimi taxminan 348 kPa, integratsiya qadami 0,1 fs; har bir hisoblash besh marta takrorlangan. Adsorbsiya energiyasi va gravimetrik sig‘imi mos ravishda (1) va (2) ifoda yordamida aniqlandi:

$$E_{ads} = E_{(N–Ni@BQUNT + H_2)} - E_{(N–Ni@BQUNT)} - E_{(H_2)} \quad (1)$$

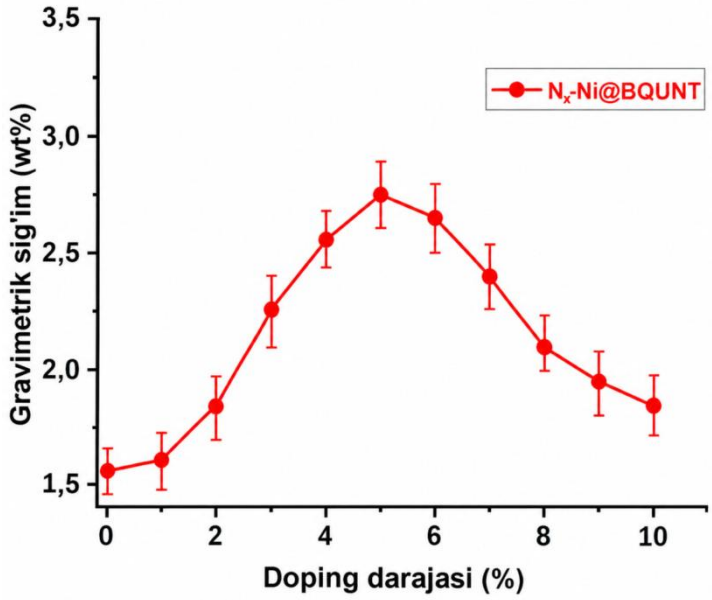
$$wt.\% = m_{(H_2)} / [m_{(adsorbent)} + m_{(H_2)}] \times 100\% \quad (2)$$



1-rasm. Sof BQUNT (*chap*) va $N_{5\%}$-Ni@BQUNT (*o‘ng*) holalari keltirilgan.

Adsorbsiyalangan molekulalarni aniqlashda 3 Å kesish masofasi qabul qilingan. Azot bilan dopinglangan nanotrubkada H_2–sirt o‘zaro ta’sir potensialining minimumi doping miqdori ortishi bilan chuqurlashgan. Manbada sof nanotrubka uchun minimum −9,2 kJ/mol, 10% N-dopingda esa −10,6 kJ/mol

deb keltirilgan. Muvozanat masofasi taxminan 2,85 Å dan 2,75 Å gacha qisqargan. Ushbu o‘zgarishlar N atomlari kiritilganda vodorodning sirt bilan o‘zaro ta’siri kuchayishini ko‘rsatadi. Energiya miqyosiga ko‘ra manbada fizik adsorbsiya ustunligi qayd etilgan.



2-rasm. Gravimetrik vodorod saqlash zichligining N atomlari konsentratsiyasiga bog‘liqligi.

Gravimetrik vodorod saqlash sig‘imi N konsentratsiyasiga nisbatan chiziqli bo‘lmagan tarzda o‘zgargan. Manbada eng katta sig‘im 5% N-dopingda ≈2,75 wt.% bo‘lgani, undan yuqori dopingda esa kamayishi bildirilgan. Radial taqsimlanish funksiyasi (RDF) bo‘yicha 5% N-doping holatida birinchi maksimum r≈2,88 Å masofada g(r)≈3,05 qiymatga ega; 10% dopingda birinchi maksimum balandligi ≈2,30 gacha pasaygan. Molekulyar dinamika natijalari endoedral Ni saqlovchi (5,5) uglerod nanotubkaga N atomlarini kiritish H_2–sirt o‘zaro ta’sirini kuchaytirishini ko‘rsatadi. 10% N-dopingda potensial minimum −10,6 kJ/mol gacha chuqurlashgan; gravimetrik sig‘imning manbada keltirilgan eng yuqori qiymati 5% N-dopingda ≈2,75 wt.% ni tashkil etgan (2-rasm). Shu sababli azot konsentratsiyasining adsorbsiya energetikasi va saqlash sig‘imiga ta’sirini birgalikda hisobga olish zarur.

Manbaning metodologiyasida 5% konsentratsiya hisoblash qatorida sanalmagan, biroq natijalar qismida 5% uchun qiymatlar berilgan. Konferensiyaga topshirishdan oldin bu nomuvofiqlikni dastlabki hisoblash fayllari asosida aniqlashtirish kerak.

Foydalanilgan adabiyotlar.

1. Thompson A. P. et al. LAMMPS - A flexible simulation tool for particle-based materials modeling. Computer Physics Communications, 271, 108171 (2021).

2. Nosé S. A molecular dynamics method for simulations in the canonical ensemble. Molecular Physics, 52, 255 (1984).

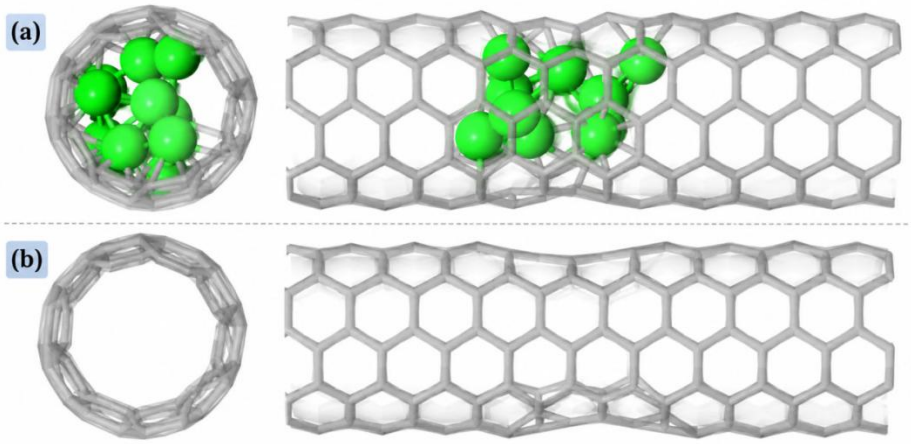
3. Ouyang M., Huang J.-L., Lieber C. M. Fundamental electronic properties and applications of single-walled carbon nanotubes. Accounts of Chemical Research, 35, 1018 (2002).

Ni BILAN MODIFIKATSIYALANGAN UGLEROD NANOTRUBKALARDA VODOROD ADSORBSIYASI

Zebiniso Tojimurodova, Komil Karimov, Shahnozaxon Muminova, O‘tkir O‘ljayev.
Denov tadbirkorlik va pedagogika instituti.

Vodorod ekologik toza energiya tashuvchisi sifatida katta qiziqish uyg‘otmoqda. Biroq uni xavfsiz va samarali saqlash dolzarb masalalardan biridir. Uglerod nanotrubkalari katta sirt maydoni va o‘ziga xos tuzilishi tufayli vodorodni adsorbsiya qilish uchun istiqbolli material hisoblanadi [1, 2]. Nanotrubkani metall atomlari bilan modifikatsiyalash vodorod molekulalari bilan o‘zaro ta’sirni kuchaytirishi mumkin. Mazkur ishning maqsadi (5,5) tipidagi bir qavatli uglerod nanotrubka ichiga kiritilgan Ni atomlari sonining vodorod adsorbsiyasi va gravimetrik saqlash sig‘imiga ta’sirini aniqlash.

Tadqiqotda LAMMPS dasturi va Ni–C–H tizimi uchun ReaxFF reaktiv kuch maydonidan foydalanildi [3, 4]. Diametri 6,86 Å, uzunligi 27,25 Å bo‘lgan (5,5) nanotrubka modeli olindi (1-rasm). Sof nanotrubka hamda ichiga 1÷18 ta Ni atomi joylashtirilgan modellar taqqoslandi. Dastlab tuzilmalar energiyasi minimallashtirildi, so‘ng 300 K haroratda muvozanatlashtirildi. Vodorod adsorbsiyasi 6 ns davomida modellashtirildi; vaqt qadami 0,1 fs ni tashkil etdi. Natijalar uchta mustaqil hisoblashning o‘rtacha qiymati asosida baholandi.



1-rasm. Sof va nikel atomlari kiritilgan (5,5) BQUNT ning yuqori (yuqori) va yon (pastda) tomondan ko‘rinishi. Uglerod va nikel atomlari mos ravishda kulrang va yashil rangda tasvirlangan.

Adsorbsiyalangan deb hisoblash uchun H_2 molekulasining nanotubka yuzasiga yaqinligi 3 Å mezon bilan belgilandi. Vodorod saqlash sig‘imi adsorbsiyalangan vodorod massasining butun tizim massasiga nisbati orqali wt% birlikda ifodalandi.

Hisoblashlar nikel atomlari soni ortishi bilan H_2 molekulalari va nanotrubka orasidagi o‘zaro ta’sir energiyasi manfiyroq bo‘lishini ko‘rsatdi. Sof nanotrubkada energiya minimumi −8,92 kJ/mol bo‘lsa, Ni_1, Ni_4, Ni_{10} va Ni_{18} modellarida mos ravishda −9,86; −11,63; −11,74 va −12,45 kJ/mol ga teng bo‘ldi. Bu nikel atomlari vodorodning fizik adsorbsiyasini kuchaytirganini bildiradi.

Gravimetrik vodorod saqlash sig‘imi ham izchil oshdi: sof nanotrubka uchun 1,8 wt% bo‘lgan qiymat Ni_{18}@BQUNT modelida 4,0 wt% ga yetdi. Bundan tashqari, manba maqolada qismiy zaryad mutlaq qiymatining taxminan 1,3 *e* dan 9,4 *e* gacha ortishi qayd etilgan. Bu modifikatsiya natijasida tizimdagi zaryad taqsimoti o‘zgarishini ko‘rsatadi.

1-jadval. Ni atomlari soniga bog‘liq hisoblangan asosiy natijalar.

Model	O‘zaro ta’sir energiyasi, kJ/mol	Vodorod sig‘imi, wt%
Sof BQUNT	−8,92	1,8
Ni_1@BQUNT	−9,86	2,0
Ni_4@BQUNT	−11,63	2,7
Ni_{10}@BQUNT	−11,74	3,0
Ni_{18}@BQUNT	−12,45	4,0

ReaxFF molekulyar dinamika hisoblashlari (5,5) tipidagi bir qavatli uglerod nanotrubka ichiga Ni atomlarini joylashtirish vodorod adsorbsiyasini kuchaytirishini ko‘rsatdi. O‘rganilgan modellar orasida eng yuqori gravimetrik sig‘im Ni_{18}@BQUNT uchun 4,0 wt% bo‘ldi. Natijalar Ni bilan modifikatsiyalangan nanotrubkalarni vodorod saqlash materiali sifatida keyingi tadqiqotlarda o‘rganish maqsadga muvofiqligini ko‘rsatadi. Bu xulosalar hisoblash modeli sharoitlariga tegishli bo‘lib, amaliy samaradorlikni baholash uchun tajribaviy tekshiruv zarur.

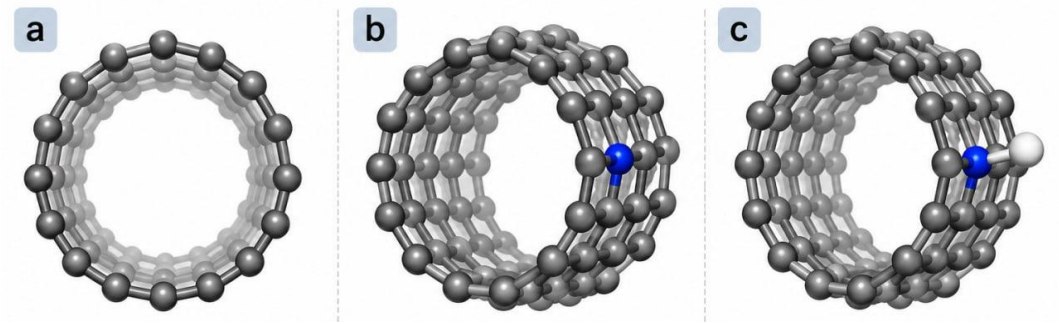
Foydalanilgan adabiyotlar.

1. Dillon A. C. et al. Storage of hydrogen in single-walled carbon nanotubes. Nature, 1997, 386, 377.
2. Rather S. U. Preparation, characterization and hydrogen storage studies of carbon nanotubes and their composites: A review. Int. J. Hydrogen Energy, 2020, 45, 4653.
3. Thompson A. et al. LAMMPS - A flexible simulation tool. Comput. Phys. Commun., 2021, 271, 108171.
4. Mueller J. E., van Duin A. C. T., Goddard W. A. Development and Validation of ReaxFF Reactive Force Field for Hydrocarbon Chemistry Catalyzed by Nickel. J. Phys. Chem. C, 2010, 114, 4939.

Pt-N@BQUNT NANOSTRUKTURASIDA GAZLARNING ADSORBSIYASINI O‘RGANISH

Sh.A. Muminova[1], Sh.Sh. Ochilov[1], I.D. Yadgarov[2], A.Ch. Dursoatov[1], O‘.B. O‘ljayev[1].
[1] Denov tadbirkorlik va pedagogika instituti.
[2] FA Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti.

Uglerod nanotrubkalari katta sirt maydoni va o‘ziga xos fizik-kimyoviy xossalari tufayli gazlarni aniqlash uchun o‘rganilmoqda [1, 2]. CO, CO_2 va NH_3 gazlarini aniqlash ekologik nazorat va sanoat xavfsizligida muhimdir. Sof uglerod nanotrubkalarining ayrim gazlar bilan o‘zaro ta’siri kuchsiz bo‘lishi mumkin. Shu sababli ularning sirtiga platina atomlarini joylashtirish va tarkibiga azot atomlarini kiritish orqali adsorbsion xossalarni o‘zgartirish mumkin. Ishning maqsadi Pt-N@BQUNT yuzasida uch xil gaz molekulasining adsorbsiyasini taqqoslash va haroratning bu jarayonga ta’sirini baholash.



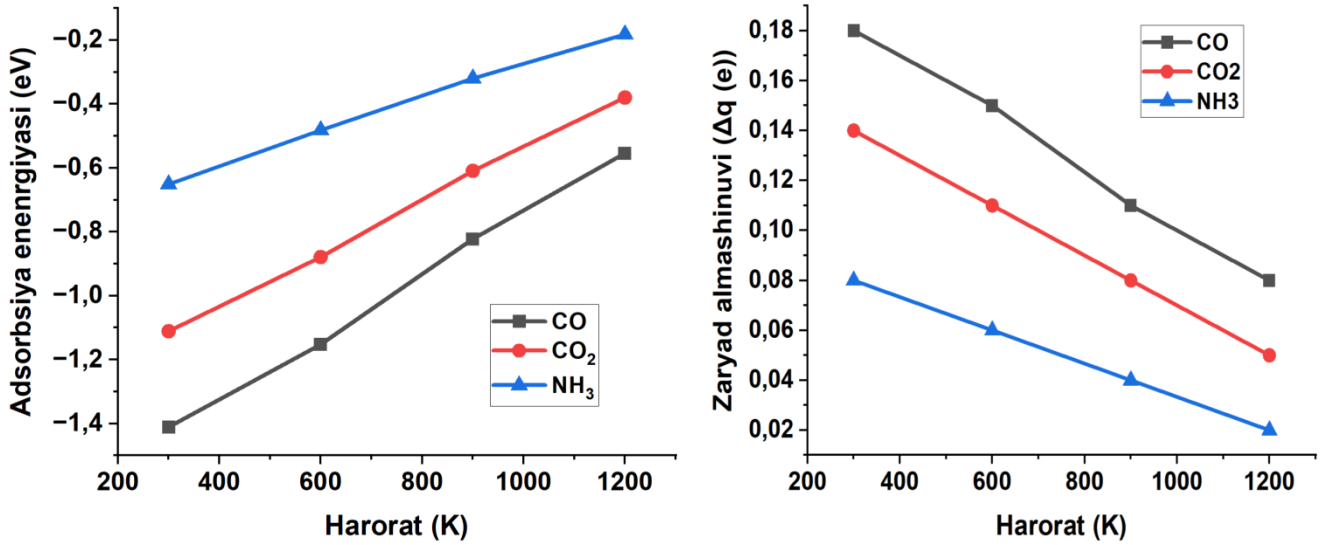
1-rasm. Bir qavatli uglerod nanotrubkalari: (*a*) sof, (*b*) azot kiritilgan va (*c*) platina adsorbsiya qilingan holat.

Tadqiqotda molekulyar dinamika (MD) hisoblashlari LAMMPS dasturida, atomlararo o‘zaro ta’sirlar esa ReaxFF potensiali yordamida bajarilgan [3]. CO, CO_2 va NH_3 molekulalari dastlab platina faol markazidan taxminan 10 Å masofada joylashtirilgan (1-rasm). Harorat Nosé–Hoover termostati yordamida boshqarilgan. Adsorbsiya energiyasi quyidagi ifoda bilan aniqlangan:

$$E_{ads} = E_{umumiy} - (E_{sirt} + E_{gaz}) \qquad (1)$$

bu yerda E_{umumiy} - gaz adsorbsiyalangan tizim energiyasi, E_{sirt} - gazlar yo’q bo’lgan nanostruktura energiyasi, E_{gaz} - erkin gaz molekulasi energiyasi.

Adsorbsiya energiyasining manfiy qiymati gaz molekulalarining nanostruktura yuzasiga birikishi energetik jihatdan qulay ekanini bildiradi. Hisoblash natijalari CO, CO_2 va NH_3 gazlarining Pt bilan modifikatsiyalangan nanotrubka yuzasida turlicha adsorbsiyalanishini ko‘rsatdi. 300 K haroratda adsorbsiya energiyasi CO uchun −1,40 eV, CO_2 uchun −0,95 eV va NH_3 uchun −0,60 eV ni tashkil etgan (2-rasm). Bu natijalar CO molekulasining sirt bilan kuchliroq o‘zaro ta’sirlashishini ko‘rsatadi. Harorat 1200 K gacha oshirilganda esa barcha gazlar uchun adsorbsiya energiyasining mutlaq qiymati kamaygan. Manba maqoladagi hisoblash natijalari quyidagi jadvalda umumlashtirilgan.



2-rasm. Pt-dekoratsiya qilingan BQUNTga harorat ta’sirida gazlar adsorbsiyasi (chap tomon), Pt kiritilgan BQUNT yuzasida CO, CO_2 va NH_3 molekulalarining harorat ta’sirida (o‘ng tomon) zaryad almashinuvi (Δq) ning o‘zgarishi.

Harorat oshishi bilan gaz molekulalarining issiqlik harakati kuchayib, ularning Pt faol markazi yaqinida barqaror joylashishi qiyinlashadi. Natijada sirt bilan o‘zaro ta’sir zaiflashadi. Bu holat radial taqsimot funksiyasi (RDF) natijalarida ham kuzatilgan: harorat oshishi bilan RDF cho‘qqilarining intensivligi pasayib, gaz molekulalarining faol markaz yaqinida to‘planishi kamaygan. Shunga qaramay, uch gaz orasida CO yuqori haroratlarda ham nisbatan kuchli adsorbsion o‘zaro ta’sirni saqlab qolgan.

Gaz molekulasi va nanostruktura o‘rtasidagi elektron o‘zaro ta’sir ham haroratga bog‘liq bo‘lgan. 300 K dan 1200 K gacha qizdirilganda zaryad almashinuvi CO uchun 0,18 *e* dan 0,08 *e* gacha, CO_2 uchun 0,14 *e* dan 0,05 *e* gacha, NH_3 uchun esa 0,08 *e* dan 0,02 *e* gacha kamaygan. Zaryad almashinuvining pasayishi yuqori haroratlarda gaz–sirt elektron o‘zaro ta’sirining zaiflashishini ko‘rsatadi. Umuman, adsorbsiya energiyasi, RDF va zaryad almashinuvi natijalari harorat oshishi bilan adsorbsion barqarorlik pasayishini hamda o‘rganilgan gazlar orasida CO ning Pt bilan modifikatsiyalangan nanotrubka bilan eng kuchli o‘zaro ta’sirlashishini ko‘rsatadi.

Demak, yuqori haroratda gaz molekulalarining Pt faol markazi bilan elektron o‘zaro ta’siri zaiflashgan. Pt va N bilan modifikatsiyalangan bir qavatli uglerod nanotrubkasi yuzasida CO, CO_2 va NH_3 gazlarining adsorbsiyasi molekulyar dinamika usulida o‘rganildi. Olingan natijalarga ko‘ra, 300÷1200 K harorat oralig‘ida haroratning ortishi barcha gazlar uchun adsorbsiya energiyasining mutlaq qiymati va gaz–nanostruktura o‘rtasidagi zaryad almashinuvining kamayishiga olib kelgan. Bu holat harorat oshishi bilan molekulalarning issiqlik harakati kuchayishi va ularning Pt faol markazi yaqinida barqaror joylashish ehtimoli pasayishi bilan izohlanadi. O‘zaro ta’sir kuchi CO > CO_2 > NH_3 tartibida kuzatilgan bo‘lib, CO molekulasi Pt-N@BQUNT yuzasi bilan eng kuchli adsorbsion o‘zaro ta’sirni namoyon etgan. CO_2 uchun ham sezilarli adsorbsion faollik aniqlangan, NH_3 esa nisbatan zaifroq o‘zaro ta’sirlashgan. Ushbu natijalar Pt-N@BQUNT tizimini, ayniqsa CO va CO_2 gazlarini aniqlash va adsorbsiyalashga yo‘naltirilgan sezgir nanomaterial sifatida keyingi nazariy va amaliy tadqiqotlarda o‘rganish uchun asos bo‘la oladi.

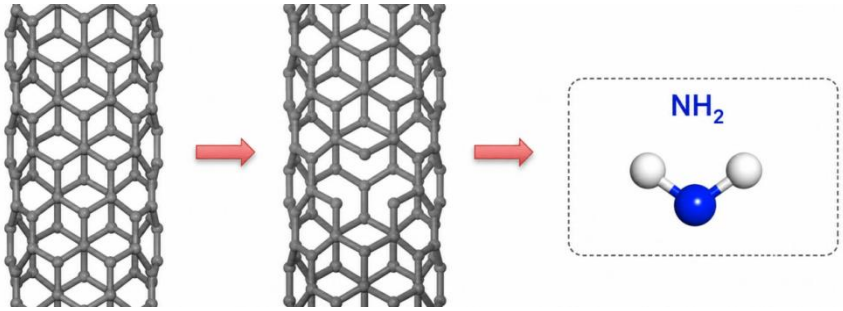
Foydalanilgan adabiyotlar.

1. Iijima S. Helical microtubules of graphitic carbon. Nature, 1991, 354, 56.
2. Kong J. et al. Nanotube molecular wires as chemical sensors. Science, 2000, 287, 622.
3. Thompson A. et al. LAMMPS - A flexible simulation tool for particle-based materials modeling. Computer Physics Communications, 2021, 271, 108171.
4. Nosé S. A molecular dynamics method for simulations in the canonical ensemble. Molecular Physics, 1984, 52, 255.

NH_2 RADIKALI TA’SIRIDA BIR QAVATLI UGLERODLI NANOTRUBKADAGI MONOVAKANSIYA NUQSONINING REKONSTRUKSIYASI

Shahnozaxon Muminova[1], Ishmumin Yadgarov[2], Faxriddin Safarov[1], O‘tkir O‘ljayev[1]
[1] Denov tadbirkorlik va pedagogika instituti, Denov, O‘zbekiston
[2] O‘zbekiston Respublikasi FA Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti, Toshkent, O‘zbekiston

Bir qavatli uglerodli nanotrubkalar mexanik va elektron xossalari tufayli nanoelektronika va sensorlar uchun qiziqish uyg‘otadi [1, 2]. Ularning panjarasidagi monovakansiya koordinatsiyasi to‘liq bo‘lmagan uglerod atomlarini yuzaga keltirib, faol adsorbsiya markazlarini shakllantiradi [3]. NH_2 radikalining bunday nuqson bilan o‘zaro ta’siri uglerod tarmog‘ining qayta tashkil topishiga olib kelishi mumkin. Ishning maqsadi NH_2 ishtirokida (8,0) BQUNT monovakansiyasining temperaturaga bog‘liq tiklanishini tahlil qilish.



1-rasm. (a) Nuqsonsiz (chapda), bitta vakansiya nuqsonli (8,0) BQUNT (o‘rtada) modeli va unga adsorbsiyalangan NH_2 radikali (o‘ngda) keltirilgan.

Hisoblash metodologiyasi. Model sifatida dastlab 120 ta uglerod atomidan iborat zigzag (8,0) BQUNT tanlandi va bitta C atomini olib tashlash orqali monovakansiya yaratildi. NH_2 radikali bilan o‘zaro ta’sir LAMMPS dasturida ReaxFF reaktiv kuch maydoni yordamida molekulyar dinamika usulida hisoblandi [4]. Geometrik optimallashtirishdan so‘ng temperatura Nosé–Hoover termostati yordamida 300÷2500 K oralig‘ida 1 K/ps tezlik bilan oshirildi. Temperatura va bosim bog‘lanish doimiylari mos ravishda 100 va 500 fs, vaqt qadami 0,25 fs etib belgilandi; har bir temperatura bosqichida tizim 100 ps ushlab turildi.

Adsorbsiya energiyasi. NH_2 uchun adsorbsiya energiyasi

$$E_{ads} = E_{(BQUNT+NH_2)} - [E_{(BQUNT)} + E_{(NH_2)}]$$

ifodasi bilan aniqlandi.

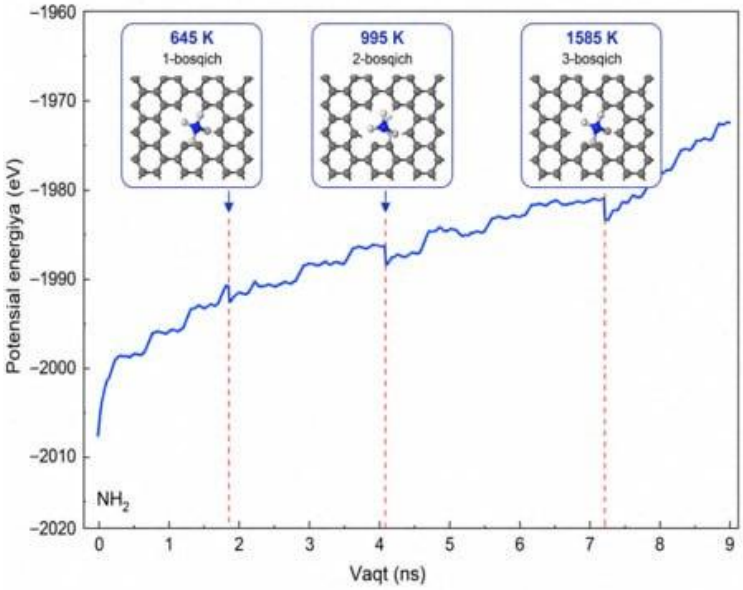
Natijalar va muhokama. Molekulyar dinamika (MD) hisoblashlari natijalariga ko‘ra, NH_2 radikalining bitta vakansiya nuqsoniga ega (8,0) bir qavatli uglerodli nanotrubka (BQUNT) bilan o‘zaro ta’siri temperatura ortishi davomida murakkab, ko‘p bosqichli strukturaviy rekonstruksiya jarayoni bilan tavsiflanadi. Simulyatsiya natijalari monovakansiyaning tiklanishi bir bosqichda emas, balki NH_2 radikalining termik faollashgan migratsiyasi, metastabil konfiguratsiyalarning shakllanishi va vakansiya atrofidagi uglerod atomlarining ketma-ket qayta tashkil topishi orqali amalga oshishini ko‘rsatdi. Bunda temperatura radikalning harakatchanligi va nuqson hududidagi atomlarning strukturaviy o‘zgarishlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi.

Temperatura taxminan 645 K ga yetganda NH_2 radikalining termik faollashgan migratsiyasi bilan bog‘liq dastlabki strukturaviy o‘zgarishlar kuzatildi. Ushbu bosqichda radikalning vakansiya hududidagi joylashuvi o‘zgarib, tizim yangi metastabil konfiguratsiyaga o‘tadi. Mazkur holat nuqsonli uglerod tarmog‘ining dastlabki qayta tashkil topish jarayoni sifatida qaralishi mumkin. Monovakansiya atrofidagi koordinatsiyasi to‘liq bo‘lmagan uglerod atomlari radikal bilan o‘zaro ta’sirlashishi natijasida lokal atom konfiguratsiyalarining o‘zgarishi uchun sharoit yuzaga keladi. Biroq ushbu temperaturada vakansiyaning to‘liq yopilishi kuzatilmaydi va tizim keyingi strukturaviy o‘zgarishlar uchun metastabil holatda saqlanadi.

Temperaturaning 995 K gacha oshirilishi NH_2 radikalining keyingi migratsiyasi va vakansiya yaqinidagi atomlarning qayta joylashishi bilan bog‘liq navbatdagi rekonstruksiya bosqichini yuzaga keltiradi Bu jarayonda NH_2 radikalining faqat adsorbsiyalanishi bilan cheklanmasdan, uning termik harakatchanligi uglerod tarmog‘ining rekonstruksiyasida ham muhim rol o‘ynashini ko‘rsatadi. Shu bilan birga, mazkur bosqichda ham monovakansiya to‘liq tiklanmaydi.

Temperatura yanada oshirilib, taxminan 1585 K ga yetkazilganda vakansiya hududida uglerod atomlarining qayta tashkil topishi natijasida monovakansiyaning to‘liq yopilishi kuzatildi. Ushbu jarayon NH_2 radikalining oldingi temperatura bosqichlarida amalga oshirgan migratsiyasi va metastabil konfiguratsiyalar orqali kechgan strukturaviy o‘zgarishlarning yakuniy natijasi hisoblanadi. Vakansiyaning yopilishi nuqson atrofidagi uglerod atomlarining o‘zaro joylashuvi va bog‘lanish konfiguratsiyasining qayta

shakllanishi bilan bog'liq. Shunday qilib, NH_2 radikali ishtirokida monovakansiya rekonstruksiyasi ketma-ket termik faollashgan strukturaviy o'tishlar orqali amalga oshishi aniqlandi.



2-rasm. NH_2 ta'sirida bita nuqsonli BQUNTning temperaturaga bog'liq rekonstruksiyasi va potensial energiya evolyutsiyasi

.

Xulosa. ReaxFF asosidagi MD hisoblashlari NH_2 radikali monovakansiyali (8,0) BQUNTda ko'p bosqichli rekonstruksiyaga olib kelishini ko'rsatdi. 645 va 995 K da migratsiya hamda strukturaviy o'tishlar, 1585 K da esa vakansiyaning to'liq yopilishi kuzatildi. Natijalar rekonstruksiya radikal harakatchanligi va uglerod atomlarining lokal qayta tashkil topishiga bog'liqligini ko'rsatadi.

Foydalanilgan adabiyotlar.

[1] S. Iijima, Nature 354, 56 (1991).
[2] U. Uljayev et al., Chem. Phys. Lett. 874–875, 142177 (2025).
[3] A. V. Krasheninnikov, F. Banhart, Nat. Mater. 6, 723 (2007).
[4] A. Thompson et al., Comput. Phys. Commun. 271, 108171 (2021).

COMPUTER MODELING OF THE THIN FILM FORMATION

Kh.A.Turakulov, M.T.Normurodov, Z. Eshmurodova, B. Musharrafova, H.A.Turakulova, I. Akbarov
[1] Karshi State University 180119, Karshi, Uzbekistan.
E-mail: hikmatturaqulov@gmail.com

Thin-film formation processes are of great importance in modern nanotechnology and the development of advanced functional materials. In this study, the process of thin-film formation via sputtering was investigated using the SIMTRA simulation software. SIMTRA is based on the Monte Carlo method and enables the modeling of the motion of sputtered particles under vacuum conditions. It is a neutral test-particle-based Monte Carlo (MC) program used to characterize the transport of sputtered atoms and

backscattered neutral particles through the vapor phase. The software implements a fully three-dimensional (3D) deposition geometry that can be defined by the user.

SIMTRA (Simulation of Metal Transport) is a test-particle Monte Carlo simulation code developed for modeling the transport of sputtered atoms through the gas phase during physical vapor deposition (PVD), particularly magnetron sputtering. The first version of the SIMTRA code was developed by Koen Van Aeken, and its development was further carried out by K. Van Aeken, S. Mahieu, and D. Depla. The methodology and application of the code to sputtered-metal transport were reported in detail in 2008 in the study “The metal flux from a rotating cylindrical magnetron: a Monte Carlo simulation.”

SIMTRA is based on the Monte Carlo method, in which the trajectories of a large number of sputtered particles are statistically simulated. The particles are generated at the target surface with specified initial positions, energies, and directions and are subsequently tracked as they travel through the working gas toward the substrate [1]. During this transport, collisions between sputtered atoms and gas atoms can change the energy and direction of the particles. Therefore, the model makes it possible to investigate how gas-phase scattering influences the deposition process.

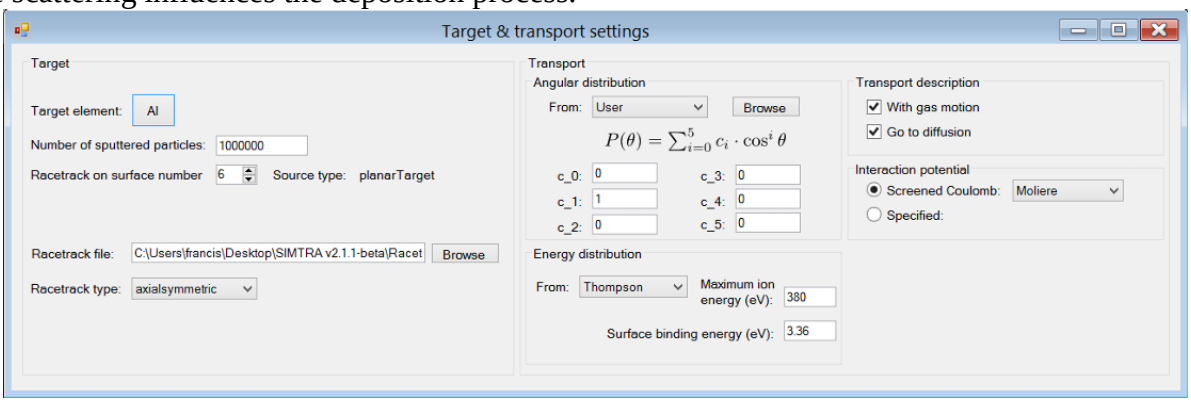


Figure ; The Chamber Design Window.

One of the important advantages of SIMTRA is its ability to reproduce the three-dimensional geometry of an experimental deposition system. The user can define the target, substrate, chamber walls, masks, shutters, and other surfaces according to the actual experimental configuration [2]. This makes it possible to investigate the influence of deposition geometry and target–substrate arrangement on the spatial distribution of the deposited material.

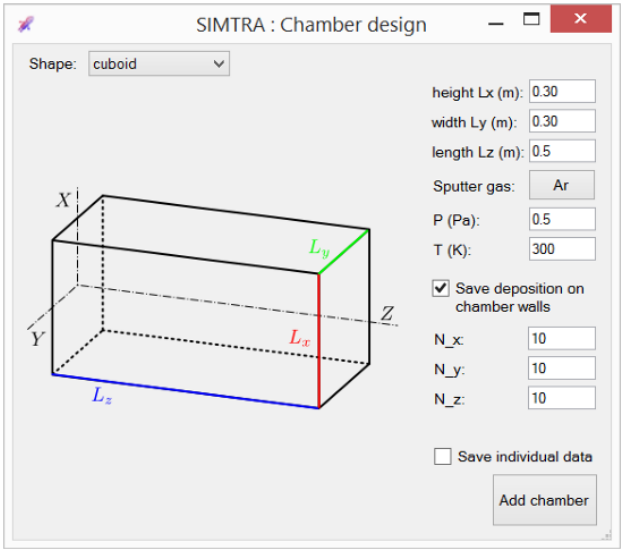


Figure : The Chamber Design Window.

The program provides information not only about the deposition profile, but also about the physical characteristics of particles arriving at the substrate, including their energy, velocity, direction, and spatial distribution. These parameters are particularly important because the energy and incidence angle of arriving atoms can affect nucleation, surface diffusion, film growth, texture, and the resulting microstructure of the deposited thin film [3].

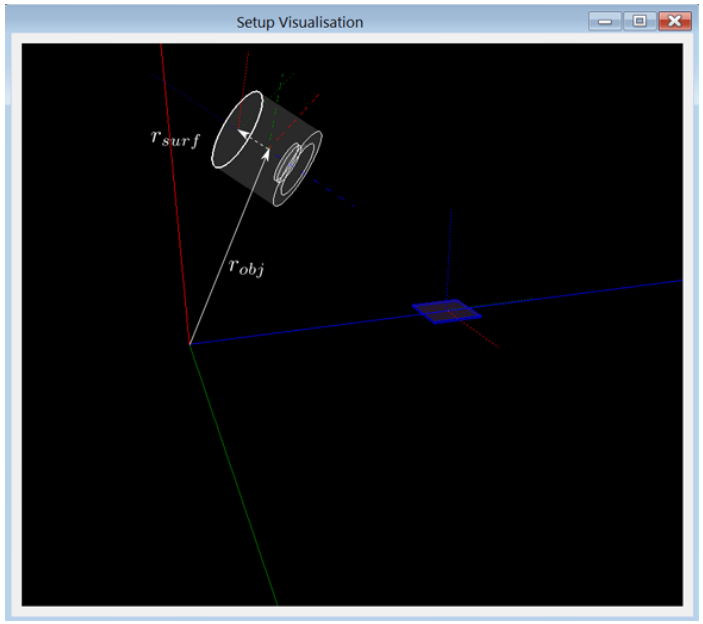


Figure ; Illustration of the different reference frames: the position of the object r_{obj} is defined in the global reference frame. The position of the circular backside of the magnetron r_{surf} is defined in the reference frame of the magnetron (dashed lines).

SIMTRA also allows the influence of important technological parameters to be investigated, including the working-gas pressure, target–substrate distance, substrate orientation, deposition geometry, and particle interaction potential. By changing these parameters, the transport behavior of sputtered atoms and their distribution on the substrate can be analyzed. The model can also be applied to systems with multiple sources, segmented targets, and co-sputtering processes, allowing the composition and deposition profile of complex thin films to be investigated.

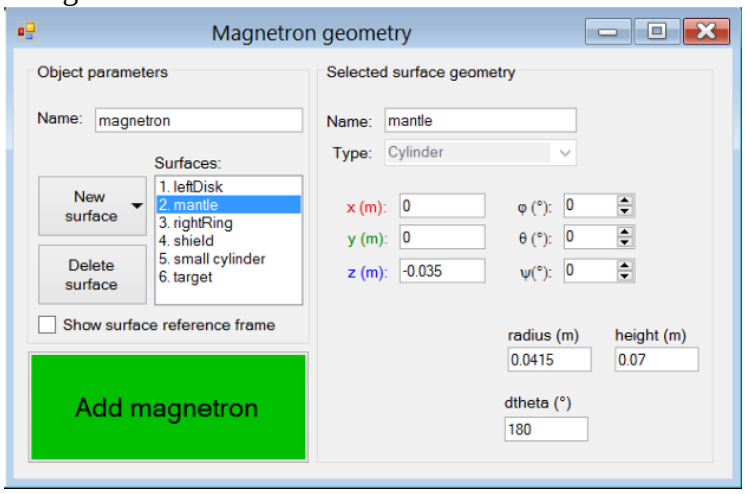


Figure : The magnetron geometry window listing the six surfaces of a predefined planar magnetron.

In many magnetron-sputtering simulations, SIMTRA is used together with SRIM/TRIM. In this approach, SRIM/TRIM can be used to obtain the initial energy and angular distributions of sputtered atoms, while SIMTRA subsequently models their transport through the working gas from the target to the substrate. This combination provides a computational approach for studying the relationship between sputtering conditions and the resulting deposition profile.

1. Thus, SIMTRA is a useful computational tool for analyzing the physical processes occurring between the target and substrate during magnetron sputtering. In the present study, the program is used to investigate the transport and spatial distribution of Co atoms under specified deposition conditions and to analyze how the selected process parameters influence the formation and uniformity of the deposited thin film.

Thin metal films for electronic, optical, and micro/nano-electromechanical systems are often produced using magnetron sputtering techniques. Experimental work is typically the standard approach for determining optimal deposition conditions and establishing the relationship between thin-film properties and deposition parameters [4][5]. However, experimental methods are extensive and entail significant time and cost. To avoid exhaustive experimentation and reduce time and expenses, a robust simulation model capable of identifying optimal operating conditions is recommended. Therefore, this article focuses on developing a computer simulation model for the magnetron sputtering deposition process, as such models have not yet been extensively studied. A Monte Carlo (MC) simulation model was developed to investigate the influence of deposition parameters on the deposition rate and the uniformity of the thin-film thickness.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati.

1. A. Sáenz-Trevizo, A. Hodge, Nanomaterials by design: a review of nanoscale metallic multilayers, Nanotechnology 31 (29) (2020) 292002, http://dx.doi.org/ 10.1088/1361-6528/ab803f.
2. K. Van Aeken, S. Mahieu, D. Depla, The metal flux from a rotating cylindrical magnetron: a Monte Carlo simulation, J. Phys. D Appl. Phys. 41 (20) (2008) 205307, http://dx.doi.org/10.1088/0022-3727/41/20/205307
3. D. Depla, W. Leroy, Magnetron sputter deposition as visualized by Monte Carlo modeling, Thin Solid Films 520 (20) (2012) 6337–6354, http://dx.doi.org/10. 1016/j.tsf.2012.06.032.
4. Kelly, P. J., & Arnell, R. D. (2000). Magnetron sputtering: A review of recent developments and applications. Vacuum, 56(3), 159–172. https://doi.org/10.1016/S0042-207X(99)00189-X
5. Musil, J., Baroch, P., Vlček, J., Nam, K. H., & Han, J. G. (2005). Reactive magnetron sputtering of thin films: Present status and trends. Thin Solid Films, 475(1–2), 208–218. https://doi.org/10.1016/j.tsf.2004.07.041

KOBALT IONLARI KIRITILGAN KREMNIY NAMUNALARIDA YASHIRIN $CoSi_2$ QATLAMLARI HOSIL BO'LISHINI ANALITIK MODELLASHTIRISH

Mallayev Amin Sayfulloyevich[1], Sayfulloyev Shohruh Amin o'g'li[2]

[1]*Fizika-matematika fanlari nomzodi, dotsent, Turon universiteti*

[2]*Fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori PhD, dotsent,*

Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti.

Si/CoSi2/Si geterostrukturalari uch o'lchamli metallizatsiya tizimlarida mahalliy kontakt va interkonnektsiyalar, metall va «o'tkazuvchan» asosli (permeable base) tranzistorlar uchun ishlatiladi. $CoSi_2$ plyonkalari kub panelli bo'lib, juda kichik solishtirma qarshilikka ega (ρ≈30–50 mkOm·sm) va

mikroto‘lqinli tranzistorlar uchun istiqbolli materialdir. Bunday plyonkalar hozircha asosan MBE va TFE usullarida tayyorlanadi. Ion nurlashi usuli esa qo‘shimcha mexanik-kimyoviy operatsiyalarni talab qilmaydi [1,6]. Si–$CoSi_2$ tizimi boshqa o‘tish metallari silitsidlarining defekt hosil bo‘lishini o‘rganish uchun ham model obyekt hisoblanadi.

Namunalar ILU-3 qurilmasida Co+ ionlari bilan E=40 keV, D=10^{15}–10^{17} ion/sm², j=10 mkA/sm² sharoitlarda (100) va (111) yo‘nalishlarda implantatsiya qilingan. RBS spektrlarida Co piki D≥10^{15} ion/sm² dan paydo bo‘ladi. Kobalt «yashirilgan» holatda bo‘lib, taqsimlanish maksimumi d≈120 nm chuqurlikda joylashadi va SIMS ma’lumotlari bilan yaxshi mos keladi. Doza oshgan sari Co sochilish pigi o‘sadi va aralashma chuqurligida matritsadan sochilish unumi kamayadi — bu qatlam hosil bo‘lishining bevosita belgisidir. 1000 °C da 30 daqiqa termik ishlovdan keyin Co profili sezilarli torayadi, maksimum markazidagi konsentratsiya o‘sadi. Keng maksimum hududida Co konsentratsiyasi 30–35 at % ni tashkil etadi va bu qatlamlarda asosan $CoSi_2$ tipidagi birikmalar hosil bo‘ladi. Ishlovdan keyingi spektrlarda kremniy spektrida kichik piklar (kislorod) kuzatiladi. Ishlov davrida vakuum yetarli darajada bo‘lmaganligi tufayli sirt da SiO_2 paydo bo‘lgan. Yuqori haroratli ishlovda RBS kanallashuv spektrlarida Si va Co dan sochilgan alfa-zarralar unumining keskin kamayishi qayd etilgan — bu radiatsion defektlarining aksariyati yo‘qotilgani va implantatsiya qatlamining kristalligi yaxshilanganini anglatadi [1].

Yashirin qatlam ikki qatlamli difuziya-reaksiya modeliga asoslanadi. Implantatsiya profili: $C(x)=C_{max}\cdot\exp[-(x-d_m)^2/(2\sigma^2)]$, dm≈120 nm. Doza-qalinlik stoixiometrik bog‘lanishi $L(D)=D\cdot\Omega/C_s$, bunda Ω — $CoSi_2$ da bitta metall atomiga to‘g‘ri keladigan hajm, Cs — qatlamdagi Co konsentratsiyasi (30–35 at %); bu ifoda «dozani o‘zgartirish orqali $CoSi_2$ qatlamining chuqurligi va qalinligini boshqarish mumkin» degan tajriba xulosasini miqdoriy asoslaydi. Termik ishlov bosqichi Foerster rejimidagi diffuziya bilan tasvirlanadi: $\sigma^2(t)=\sigma_0^2+2D(T)\cdot t$, $D(T)=D_0\cdot\exp(-E_a/kT)$; qatlam chegaralaridagi silitsid hosil bo‘lish reaksiyasi oqimni cheklab, ko‘rinadigan natija sifatida profil torayishi va maksimum konsentratsiya o‘sishini beradi. Epitaksial o‘tish sharti sirt energiyalari muvozanati orqali yoziladi. Co uchun chekkali tuzilmalar 950 °C dan yuqorida (10^{16} ion/sm²), «epitaksial» yopiq qatlamlar esa 10^{17} ion/sm² da 900–1000 °C oralig‘ida shakllanadi; 1100 °C da ΔG(T) parchalanish yo‘nalishiga o‘tadi — sirt amorf bo‘ladi, legirlovchi elementlarning pik amplitudalari kamayadi, bu silitsid qatlami parchalanishi va aralashmaning qisman bug‘lanishidir.

Xulosa

1. Kobalt ionlari kiritilgan kremniyda yashirin $CoSi_2$ qatlamining chuqurlik joylashuvi (d≈120 nm) va qalinligini doza funksiyasi sifatida bashoratlovchi yopiq analitik model taklif etildi.

2. Termik ishlov modeli profil torayishini, maksimum konsentratsiya o‘sishini (30–35 at %) va RBS kanallashuv spektrlaridagi alfa-zarralar unumining pasayishi bilan mos keladigan defektlikt kamayishini tavsiflaydi.

3. Doza boshqaruvi orqali qatlam qalinligini boshqarish past qarshilikli (30–50 mkOm·sm) kontakt va interkonnektsiyalarni sanoat usulida tayyorlash imkonini beradi. Optimal epitaksial rejim 900–1000 °C.

Adabiyotlar

1. Egamberdiyev B.E., Mallayev A.S., Akbarov A.A., Sayfulloyev Sh.A. The Effect of Annealing on the Crystal Structure of the Surface of Silicon Doped with Iron and Cobalt Ions // Turkish Journal of Computer and Mathematics Education. 2021. Vol.12, No.3. P. 3148–3155.

2. Egamberdiev B.E., Holliev B.Ch., Mallaev A.S. et al. Preparation of $CoSi_2$/Si(100) films and analysis of their morphology and stoichiometry by molecular beam, solid-state and reactive epitaxy // Elektronnaya obrabotka materialov. Moldova, 2007. No.1. P. 88–92.

3. Gerasimenko N.N., Parkhomenko Y.N. Silicon as material for nanoelectronics. M.: Technosfera, 2007. 352 p.

KREMNИYDA TEMIR IONLARI KIRITILGAN NAMUNALARNING TAJRIBA MA’LUMOTLARI ASOSIDA ANALITIK MODELLASHTIRISH

Mallayev Amin Sayfulloyevich[1], Sayfulloyev Shohruh Amin o‘g‘li[2]
[1]*Fizika-matematika fanlari nomzodi, dotsent, Turon universiteti*
[2]*Fizika-matematika fanlari bo‘yicha falsafa doktori PhD, dotsent, Mirzo Ulug‘bek nomidagi O‘zbekiston Milliy universiteti*

Yuqori dozali ion implantatsiyasi (mesotaksiya) kremniyda yashirin o‘tkazgich qatlamlarni hosil qilishning istiqbolli usulidir. Temir kremniy panjasida 100–450 °C keng harorat oralig‘ida barqaror holat saqlaydi, bu legirlash jarayonidan keyin qo‘shimcha mexanik-kimyoviy operatsiyalarsiz, 100 sm² dan katta maydonli plastinalarda takrorlanadigan parametrli temperaturni o‘zgartirgichlar tayyorlash imkonini beradi. Fe va Co tanlanishi ularning 3d qobig‘i to‘lmagan holati bilan bog‘liq yangi xususiyatlarni ochish imkoniyati bilan ham izohlanadi [1].

Namunalar ILU-3 qurilmasida Fe+ ionlari bilan E=40 keV energiyada, $D=10^{15}–10^{17}$ ion/sm² dozalarda, ion oqimi zichligi j=10 mkA/sm² da (100) va (111) kristallografik yo‘nalishlarda implantatsiya qilingan; boshlang‘ich material — Czochralski va zonali eritish usullarida o‘stirilgan, bor yoki fosfor bilan legirlangan ($10^{13}–10^{18}$ sm^{-3}) p- va n-tip monokristall kremniy. Profil Riber LAS-2200 SIMS qurilmasida, RBS va refleks elektronografiya (REED) metodlarida o‘rganilgan. Natijalar: $D\leq10^{15}$ ion/sm² da sirt deyarli tartibsizlanmaydi, elektrofaol Fe konsentratsiyasi $\sim5\cdot10^{13}$ sm^{-3}; $5\cdot10^{15}$ ion/sm² da konsentratsiya deyarli o‘zgarmaydi, sirt qisman tartibsizlanadi; $D\geq10^{16}$ ion/sm² da sirt qatlami amorfizatsiyalanadi va alohida hududlarda Fe-Si klaster fazalari paydo bo‘ladi. O‘rtacha dozalarda profil ko‘p maksimumli: implantatsiya qilingan atomlarning asosiy qismi d≤300 Å da joylashadi, 800–850 Å chuqurlikda konsentratsiya 1–2 at % ga tushadi. $D\geq10^{17}$ ion/sm² da yagona Gaus shaklidagi maksimum hosil bo‘ladi: $d_m\approx400–450$ Å, maksimum konsentratsiya 35–40 at % — bu qatlamlarda asosan $FeSi_2$ tipidagi birikmalar shakllanadi. Doza oshgani sari maksimum sirt tomonga siljiydi va kengayadi, bu sirt qatlamlarining intensiv purkalishi va silitsid hosil bo‘lishi sababli matritsa zichligining oshishi bilan izohlanadi [1,3].

Doza profili Gaus taqsimoti bilan yoziladi: $C(x,D)=D/(\sqrt{(2\pi)}\cdot\Delta R_p)\cdot\exp[-(x-R_p)^2/(2\Delta R_p^2)]$, bunda 40 keV Fe uchun $R_p\approx250$ Å, $\Delta R_p\approx90$ Å. Silitsid fazasi lokal qoida bo‘yicha belgilanadi: $C(x,D)\geq C_s$ hudud $FeSi_2$ qatlami hisoblanadi (Cs — stoixiometrik konsentratsiya ≈33 at %). Shundan qatlam qalinligi uchun yopiq ifoda kelib chiqadi: $L(D)=2\cdot\Delta R_p\cdot\sqrt{[2\cdot\ln(D/(Cs\cdot\sqrt{(2\pi)}\cdot\Delta R_p))]}$. $D\geq10^{17}$ ion/sm² da L va dm tajribaviy 400–450 Å va 35–40 at % qiymatlari bilan mos keladi. Termik ishlov bosqichi ikki bosqichli difuziya-reaksiya modeli bilan tavsiflanadi: 1) reaksiya-cheklangan bosqichda qalinlik chiziqli o‘sadi h(t)=k·t; 2) difuziya-cheklangan bosqichda parabolik o‘sadi h(t)=A·t^(1/2), $A=\sqrt{(2\cdot\tilde{D}\cdot\bar{C})}$, $\tilde{D}=D_0\cdot\exp(-E_a/kT)$. Tajribaviy n≈0,5 ko‘rsatkichi difuziya-cheklangan rejimga mos. E_a 1,5–2,1 eV oralig‘ida bo‘lishi taxmin qilinadi. Sirt oqim zichligi j=10 mkA/sm² ni ta’minlash tajribada «o‘z-o‘zini paqillash» (self-annealing) effektini keltirib chiqargani modelda implantatsiya davomida qo‘shimcha harorat hadi ΔT(j) sifatida hisobga olinadi.

Termik ishlov natijalari model bilan quyidagicha bog‘lanadi: Fe kiritilgan namunalarda 800 °C dan yuqorida sirt xarakterli chekkali (monokristalga xos) hududlar hosil qiladi. Oje tahliliga ko‘ra bu maydonlar asosan Si va Fe atomlaridan tashkil topgan, Fe va Si Oje piklarining amplituda holati ularning $FeSi_2$ tipidagi silitsid ekanligini ko‘rsatadi. $D=10^{17}$ ion/sm² da 800 °C ishlovda chekkali maydonlar qo‘shilib ko‘p defektli monokristal qatlamni hosil qiladi — modelda bu klasterlarning sirt diffuziyasi orqali koagulyatsiyasi va perkolatsiya chegarasidan o‘tishi sifatida tavsiflanadi. 1100 °C da elektron-mikroskopik manzara «epitaksial» dan amorf holatga o‘tadi va legirlovchi elementlarning RBS pik amplitudalari keskin kamayadi. Bu silitsid qatlamlarining parchalanishi va aralashmaning qisman bug‘lanishidir; modelda bu muvozanat fazasi ΔG(T) ning yuqori haroratda parchalanish yo‘nalishi bilan beriladi.

Xulosa

1. Taklif etilgan analitik model $FeSi_2$ nanoqatlamining chuqurlik joylashuvi, qalinligi va konsentratsiyasini doza va harorat funksiyalari orqali yopiq shaklda bashorat qiladi; $d_m \approx 400–450$ Å va 35–40 at % qiymatlari tajriba bilan mos.
2. Texnologik ish rejimlari aniq belgilandi: 800 °C dan pastda epitaksial qatlam shakllanmaydi, 1100 °C dan yuqorida parchalanadi; optimal oralig'i 800–1000 °C.
3. Model doza va oqim zichligini o'zgartirish orqali qatlam parametrlarini boshqarishni sanoat miqyosida imkonini beradi.

Adabiyotlar

1. Egamberdiyev B.E., Mallayev A.S., Akbarov A.A., Sayfulloyev Sh.A. The Effect of Annealing on the Crystal Structure of the Surface of Silicon Doped with Iron and Cobalt Ions // Turkish Journal of Computer and Mathematics Education. 2021. Vol.12, No.3. P. 3148–3155.
2. Egamberdiev B.E., Mallaev A.S. Silicon silicide structures obtained by ion doping. Tashkent: Science and Technology, 2019. 168 p.
3. Egamberdiev B.E., Rakhmanov A.T. et al. RBS study of the distribution profile of ion-implanted iron atoms in silicon // Science and World. 2018. Vol.1, No.1(53). P. 57–60.

YARIMO'TKAZGICH NANOMATERIALLAR ASOSIDA OPTOELEKTRON QURILMALARNING ELEKTROFIZIK VA OPTIK XUSUSIYATLARINI TADQIQ ETISH

Komiljonova Nilufar Odilbek qizi
Toshkent Davlat texnika universtiteti Lazer, diod texnologiyalari va optoelektronika"
1-bosqich magistranti
nilufarkomiljonova67@gmail.com

Yarimo'tkazgich materiallarni nanometr o'lchamga keltirish ularning elektron va optik xususiyatlarining o'zgarishiga olib keladi. Ayniqsa, nanostrukturalarda kvant o'lcham effekti natijasida energetik sathlar, taqiqlangan zona kengligi va optik o'tishlar o'zgaradi. Bu esa nanomateriallarning fizik parametrlarini boshqarish imkonini beradi.

Yarimo'tkazgich nanomateriallarning elektrofizik xususiyatlari zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi, harakatchanligi, elektr o'tkazuvchanligi va rekombinatsiya jarayonlari bilan belgilanadi. Ularning optik xususiyatlari esa yorug'likning yutilishi, nurlanishi va fotolyuminessensiyasi orqali namoyon bo'ladi. Zarracha o'lchami, kristall tuzilishi va sirt holatining o'zgarishi mazkur parametrlarning sezilarli o'zgarishiga sabab bo'lishi mumkin.

Shu sababli yarimo'tkazgich nanomateriallar fotodetektorlar, yorug'lik chiqaruvchi diodlar va lazer diodlari kabi optoelektron qurilmalar uchun istiqbolli materiallar hisoblanadi. Ushbu ishda nanomateriallarning asosiy elektrofizik va optik xususiyatlari hamda ularning optoelektron qurilmalar parametrlariga ta'siri tahlil qilinadi.

Yarimo'tkazgich nanomateriallarning elektrofizik xususiyatlari, avvalo, zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi va ularning harakatchanligi bilan belgilanadi. Materialning elektr o'tkazuvchanligi elektronlar va kovaklarning tashqi elektr maydon ta'sirida tartibli harakatlanishi bilan bog'liq bo'lib, umumiy holda quyidagicha ifodalanadi

$$\sigma = q(n\mu_n + p\mu_p)$$

Bu yerda:

- σ — elektr o'tkazuvchanlik (S/m);
- q — elementar zaryad (C);

- n — elektronlar konsentratsiyasi (m^{-3});
- p — kovaklar konsentratsiyasi (m^{-3});
- μ_n — elektronlar harakatchanligi ($\mathrm{m}^2/(\mathrm{V}\cdot\mathrm{s})$);
- μ_p — kovaklar harakatchanligi ($\mathrm{m}^2/(\mathrm{V}\cdot\mathrm{s})$)

Nanostrukturalarda zarracha o‘lchamining kamayishi sirtning hajmga nisbati ortishiga olib keladi. Natijada sirt holatlari, kristall panjaradagi nuqsonlar va zaryad tashuvchilarning sochilish jarayonlari materialning elektr parametrlariga kuchliroq ta’sir ko‘rsatadi. Shu sababli nanomaterialning elektr o‘tkazuvchanligini baholashda nafaqat uning kimyoviy tarkibi, balki kristall sifati va sirt holatini ham hisobga olish zarur.

Nanometr o‘lchamdagi yarimo‘tkazgichlarda kvant chegaralanishi ham muhim ahamiyatga ega. Zarracha o‘lchami kamayishi bilan elektron va kovaklarning harakatlanish sohasi chegaralanadi, natijada energetik sathlar o‘zgaradi. Bu jarayon materialning taqiqlangan zona kengligiga va shu orqali uning elektr hamda optik xususiyatlariga ta’sir qiladi.

Shunday qilib, nanomateriallarning elektrofizik parametrlarini boshqarish orqali optoelektron qurilmalarning asosiy funksional xususiyatlarini, jumladan, sezgirligi va elektr signaliga javob berish samaradorligini o‘zgartirish mumkin.

Yarimo‘tkazgich nanomateriallarning optik xususiyatlari, asosan, yorug‘likning yutilish koeffitsienti, akslanish ko‘rsatkichi va fotolyuminessensiya (FL) spektrlarining xarakteristikasi bilan aniqlanadi. Nanostrukturalarda kvant chegaralanish effekti (quantum confinement effect) namoyon bo‘lishi sababli, zarralar o‘lchami kamaygani sari taqiqlangan zona kengligi (E_g) ortib boradi:

$$E_g(d) = E_{g,0} + \frac{\hbar^2\pi^2}{2\mu d^2}$$

Bu yerda:

- $E_g(d)$ — nanozarrachaning taqiqlangan zona kengligi;
- $E_{g,0}$ — hajmiy (*bulk*) yarim'o‘tkazgichning taqiqlangan zona kengligi;
- $\hbar$ — keltirilgan Plank doimiysi ($\hbar = \frac{h}{2\pi}$);
- μ — elektron va kovakning keltirilgan massasi ($\frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu_e^*} + \frac{1}{\mu_h}^*$);
- d — nanozarracha o‘lchami (diametri).

Ushbu bog‘liqlik nanostrukturalarning optik yutilish chegarasini qisqa to‘lqin uzunliklariga (ko‘k soha tomon) siljishiga (blue shift) olib keladi. Natijada materialning spektral sezgirlik sohasi sezilarli darajada kengayadi va ma'lum to‘lqin uzunliklariga moslashtirilgan optoelektron qurilmalarni yaratish imkonini beradi.

Fotolyuminessensiya jarayonlarida esa sirt holatlarining (surface states) o‘rni yuqori. Nanozarralarda sirt maydonining hajmga nisbati ortishi sababli, sirtda joylashgan "tuzoq" (trap states) sathlari rekombinatsiya jarayonlarining tezligini belgilaydi. Bu nurlanishsiz rekombinatsiyaning ortishiga va kvant chiqish samaradorligining pasayishiga olib kelishi mumkin. Shu sababli optoelektronikada qo‘llaniladigan nanomateriallar sirtini passivatsiyalash (masalan, Core-Shell structures) talab etiladi.

Nanomateriallarning elektrofizik va optik xususiyatlarini maqsadli boshqarish fotodetektorlar, yorug‘lik chiqaruvchi diodlar (LED) va quyosh elementlarining asosiy funksional ko‘rsatkichlarini tubdan yaxshilashga imkon beradi:

- **Fotodetektorlar:** Nanozarralar va nanotolalar asosida tayyorlangan fotodetektorlar yuqori foto-javobgarlik (photoresponsivity, R_λ) va tezkorlikka ega bo‘ladi. Sirt to‘siqlarining o‘zgarishi va foto-tashuvchilarning ajralish samaradorligi foto-tokning keskin ortishini ta'minlaydi.
- **Yorug‘lik chiqaruvchi diodlar (QLED/LED):** Kvant nuqtalar (Quantum Dots) asosidagi LED qurilmalarida optik o‘tishlarning tor spektral kengligi sababli yorug‘likning rang tozaligi va nurlanish samaradorligi ortadi.
- **Quyosh elementlari:** Nanostrukturalangan sirt yorug‘likning yutilishini oshiradi va to‘lqin uzunligi bo‘yicha keng spektrli yutilishni ta'minlaydi, bu esa quyosh elementlarining FIK (faydali ish koeffitsienti) ko‘rsatkichini oshiradi.

O‘tkazilgan tadqiqot va tahlillar shuni ko‘rsatadiki, yarimo‘tkazgich nanomateriallarning geometrik o‘lchamlari va sirt holatini o‘zgartirish orqali ularning elektrofizik hamda optik xususiyatlarini keng diapazonda boshqarish mumkin. Kvant chegaralanish effekti taqiqlangan zona kengligi va optik yutilish spektrini o‘zgartirsa, sirt passivatsiyasi va kristall strukturasini optimallashtirish zaryad tashuvchilar rekombinatsiyasini kamaytiradi. Ushbu qonuniyatlarni qo‘llash yuqori sezgirlikka va energiya samaradorligiga ega bo‘lgan yangi avlod optoelektron qurilmalarini yaratish uchun asos bo‘lib xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Alferov, Zh. I. (2001). *The history and future of semiconductor heterostructures*. Semiconductors, 35(1), 1-14.
2. Harrison, P., & Valavanis, A. (2016). *Quantum Wells, Wires and Dots: Theoretical and Computational Physics of Semiconductor Nanostructures*. John Wiley & Sons.
3. Klimov, V. I. (Ed.). (2010). *Nanocrystal Quantum Dots*. CRC Press.
4. Sze, S. M., & Ng, K. K. (2006). *Physics of Semiconductor Devices*. John Wiley & Sons.

NANOPLYONKALAR HOSIL QILISH VA ULARNING ELEKTROFIZIK PARAMETRLARINI O'LCHASH

Haqberdiyeva I.O., Normurodov D.A.
iroda0768@gmail.com

Hozirgi kunda nanotexnologiyalar jadal rivojlanayotgan ilmiy yo‘nalishlardan biri bo‘lib, u elektronika, energetika, tibbiyot va axborot texnologiyalari sohalarida keng qo‘llanilmoqda [1]. Ayniqsa, nanoo‘lchamli plyonkalar (nanoplyonkalar) o‘zining noyob fizik, kimyoviy va elektrofizik xususiyatlari bilan an’anaviy materiallardan tubdan farq qiladi. Shu sababli ularni hosil qilish texnologiyalarini takomillashtirish va xossalarini chuqur o‘rganish zamonaviy fizikaning muhim vazifalaridan biri hisoblanadi [2].

Nanoplyonkalar yarimo‘tkazgichli asboblar, quyosh elementlari, sensor qurilmalar, optoelektron tizimlar va nanoelektronika elementlarida keng qo‘llaniladi [3,4]. Ularning samaradorligi esa bevosita elektrofizik parametrlariga — elektr o‘tkazuvchanlik, zaryad tashuvchilar harakatchanligi, sirt qarshiligi va energetik holatlariga bog‘liq. Shu bois, ushbu parametrlarni aniq o‘lchash va boshqarish texnologik jihatdan muhim masalalardan biridir.

Nanoplyonkalarni hosil qilishning turli usullari (PVD, CVD, purkash va boshqalar) mavjud bo‘lsa-da, ular orqali olingan plyonkalarning struktura va elektrofizik xossalari texnologik parametrlarga kuchli bog‘liq. Bu esa har bir aniq sharoit uchun optimal rejimlarni aniqlashni talab etadi. Shu nuqtai nazardan, nanoplyonkalar hosil qilish jarayonlarini o‘rganish va ularning elektrofizik parametrlarini zamonaviy usullar yordamida aniqlash dolzarb ilmiy-amaliy masala hisoblanadi [6]

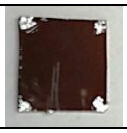
$BaTiO_3$ asosidagi nanoplyonkalarni hosil qilish va ularning xossalarini o‘rganish uchun laboratoriyada zamonaviy fizik va materialshunoslik asbob-uskunalari hamda yuqori tozalikdagi materiallar qo‘llaniladi. Tajriba natijalarining aniqligi va takrorlanuvchanligi bevosita ishlatiladigan qurilmalar va ularning texnik imkoniyatlariga bog‘liq hisoblanadi. Nanoplyonkalarni hosil qilish uchun asosiy qurilma sifatida **EPOS-PVD-DESK-PRO** tizimi ishlatiladi. Ushbu qurilma fizik bug‘lanish va cho‘ktirish (PVD) prinsipi asosida ishlaydi hamda vakuum sharoitida materialni substrat yuzasiga yupqa qatlam ko‘rinishida o‘tkazish imkonini beradi. Qurilma yordamida cho‘ktirish tezligi, vakuum darajasi va plyonka qalinligi yuqori aniqlikda boshqariladi. Magnetron purkash qurilmalari to`g`ridan-to`g`ri va implusli tokda magnetronli purkash orqali metallarni (Ti, Zr, Al, Cu, Au, Ag va boshqalar), qotishmalarni, oksidlarni va nitridlarni qoplash uchun yuqori samarali qurilmalardir. Gazni ionlashtiradigan elektronlar sonini sezilarli darajada oshirish va shu bilan birga plyonkani yotqizish tezligini oshirish uchun magnetron purkash usuli qo'llaniladi. Ion bombardimonining intensivligini oshirish uchun nishon sirtlari katod yuzasiga yaqin musbat ionlarning kontsentratsiyasini oshirish uchun (Ar) gazidan foydalaniladi va natijada purkash tezligi oshiriladi va shunga mos ravishda plyonkaning cho'kish tezligi oshishi kuzatiladi. Buning uchun elektr maydoniga perpendikulyar magnit maydonni qo`llash kerak, bu o'z navbatida katodga parallel ravishda yo'naltirilgan bo'ladi. Natijada, katod chiqaradigan elektronlar anod tomon perpendikulyar yo'nalishda harakatlana olmaydi, chunki ular bir xil chuqurlikka tushib qolishadi, bir tomondan hosil bo'lgan magnit maydon elektronlarni katodga qaytaradi va boshqa tomondan, nishon yuzasi bilan elektronlarni qaytaradi[10].

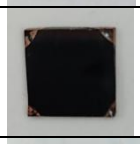
Yopiq elektronlarning nishon yuzasi yaqinida sikloid traektoriyali harakati mavjud. Elektronlar bu chuqurda aylanadi bir nechta elektr maydoni energiya sodir bo'lguncha atomlar bilan ionlashtiruvchi to'qnashuvlar natijasida ishlaydigan gaz olgan elektronlarini yo'qotadi.

Shunday qilib, elektron anodga urilishidan oldin uning energiyasining katta qismi ionlash va qo'zg'alish uchun ishlatiladi, bu ionlash samaradorligini sezilarli darajada oshiradi va katod yuzasida musbat ionlar kontsentratsiyasining oshishiga olib keladi. Katod yuzasini bombardimon qilish orqali bu ionlar uning chayqalishini amalga oshiradi. Katod yuzasiga yaqin plazmaning joylashuvi hisobidan yuqori ion oqimining zichligi va nishonlarga yo`naltirilgan o`ziga xos katta quvvatga erishiladi [9]. Bir vaqtning o'zida ish bosimining pasayishi bilan purkash tezligining oshishi bu plyonkalarning tashqi qo'shimchalar bilan ifloslanishini sezilarli darajada kamaytirishga imkon beradi. Nishon yaqinidagi elektronlarning joylashuvi quyi qatlamlarni bombardimon qilishni oldini oladi, bu esa yaratilgan tuzilmalardagi harorat va radiatsiya nuqsonlarini pasaytiradi. Biroq, magnetron purkagich tizimlarining asosiy afzalliklari plyonka o`stirishning nisbatan yuqori tezligi va katta maydon quyi qatlamlarda bir xil qalinlikdagi plyonkalarni olish imkoniyatidir [3].

Mazkur tadqiqotda $BaTiO_3$ asosidagi nanoplyonkalarning asosiy elektrofizik xossalarini o‘lchash usullari, olingan natijalarni tahlil qilish hamda ularning fizik mazmuni yoritiladi. Nanoplyonkalarning elektrofizik parametrlari ularning strukturaviy xususiyatlari, qalinligi va kristallik darajasi bilan chambarchas bog‘liq bo‘lib, zamonaviy nanoelektronika qurilmalarida qo‘llanilish samaradorligini belgilaydi[7]. Shisha taglikka yotqizilgan $BaTiO_3$ yupqa plyonkalarining elektrofizik parametrlarini o‘lchash uchun turli plyonkalar uchun turli xil kontakt elementlari ishlatilgan. 1-jadvalda har xil qalinlikdagi shisha taglikka yotqizilgan $BaTiO_3$ yupqa plyonkalari uchun turli kontaktli materiallar bilan tayyorlangan namunalar parametrlari ko‘rsatilgan [5,6]

Jadval 1

№	taglik	plyonka	kontakt	ko‘rinishi	kontakt usuli
namuna 1	SiO_2	$BaTiO_3$	kumush (Ag)		Termal kontakt

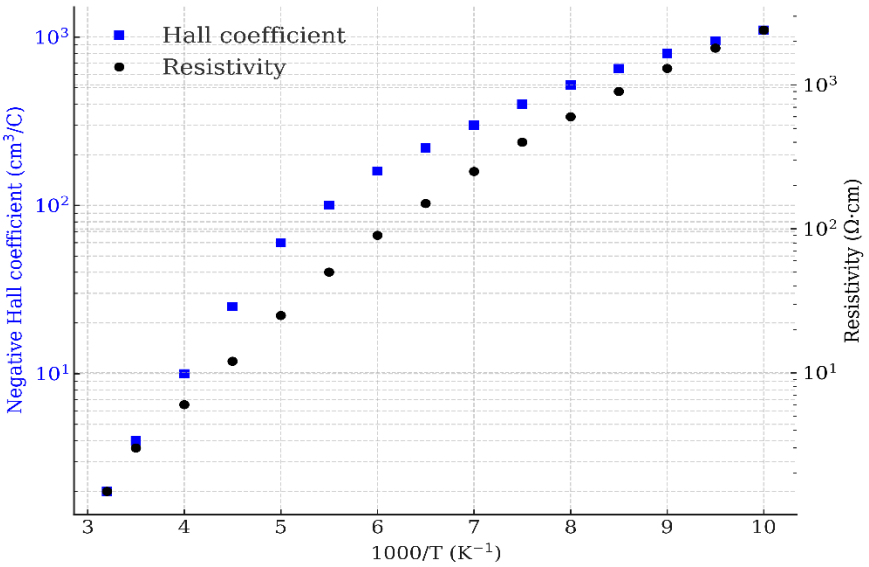
namuna 2	SiO_2	$BaTiO_3$	qalay (Sn)		Termal kontakt
namuna 3	kvarts	$BaTiO_3$	mis (Cu)		Ion-plazma
namuna 4	kvarts	$BaTiO_3$	Indiy (In)		ultratovush kontakt

$BaTiO_3$ asosidagi yupqa plyonkalar ferroelektrik va dielektrik xossalari bilan birga murakkab elektr transport xususiyatlariga ham ega. Ularning elektrofizik parametrlari harorat, elektr maydon va strukturaviy nuqsonlarga sezgir bo‘lib, nanoo‘lchamda sezilarli o‘zgarishlar kuzatiladi [10].

$BaTiO_3$ yupqa plyonkasida Xoll koeffitsienti haroratga sezgir bo‘lib, u zaryad tashuvchilarning turi va konsentratsiyasini aniqlashda muhim rol o‘ynaydi.

- Xoll koeffitsientning ishorasi → asosiy zaryad tashuvchini (elektron yoki teshik) ko‘rsatadi
- harorat oshishi → tashuvchilar konsentratsiyasining o‘zgarishi

$BaTiO_3$ plyonkalarida Xoll o‘lchovlari ko‘pincha nuqsonlar (kislorod vakansiyalari) ta’sirini ham aniqlash imkonini beradi.



Rasm 1. $BaTiO_3$ yupqa plyonkasi uchun Xoll koeffitsientining haroratga bog‘liqligi va namunaning solishtirma qarshiligi.

Grafikdan ko‘rinadiki, Xoll koeffitsienti harorat o‘zgarishi bilan sezilarli ravishda ortib boradi. Bu holat:

- zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining kamayishi yoki o‘zgarishi
- nuqsonlar (ayniqsa kislorod vakansiyalari) ta’siri
- yarim o‘tkazgich tipidagi o‘tkazuvchanlik mexanizmi

bilan izohlanadi. Harorat oshishi bilan tashuvchilar harakatchanligi o‘zgaradi va materialning elektr xossalari sezilarli darajada modulyatsiyalanadi.

Qora nuqtalar bilan ko‘rsatilgan solishtirma qarshilik ham harorat ortishi bilan o‘zgaradi. Umumiy tendensiya shuni ko‘rsatadiki:

- past haroratda qarshilik yuqori
- harorat oshishi bilan qarshilik kamayadi

Bu holat yarim o‘tkazgichlarga xos aktivatsion o‘tkazuvchanlik mexanizmi bilan tushuntiriladi. Zaryad tashuvchilar termik energiya hisobiga faollashib, o‘tkazuvchanlikni oshiradi [5].

$BaTiO_3$ monokristalining past haroratli Hall harakatchanligi 12 sm^2 V s^{-1} dan 120 K da 2 sm^2 V s^{-1} gacha 220 K da kamaydi, bu zaryad tashuvchilarning fonon tarqalishini ko‘rsatadi. Plyonkadagi Hall harakatchanligining haroratga bog‘liqligi 170 K da maksimal 1260,3 sm^2 V^{-1} s^{-1} bilan 100±220 K oralig‘ida zaif haroratga bog‘liqligini ko'rsatdi, bu, ehtimol, past haroratda ionlashtirilgan tarqalishdan yuqori haroratda fonon tarqalishiga o‘tishni ko‘rsatadi. Issiqlik sig'imi va Xoll koeffitsientining haroratga bog‘liqligi 200 K dan past bo‘lgan monokristalning o‘tkazuvchanligi zaryad tashuvchilar kontsentratsiyasining ortishi bilan bog‘liqligini tasdiqladi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, $BaTiO_3$ dagi 300 K dan past bo‘lgan elektronlar o‘tkazuvchanlik zonasi orqali harakat qiladi [4,5].

Hajmdagi zaryad tashuvchining kontsentratsiyasi HMS-5000 tizimidan foydalangan holda Hall effekti o'lchovlari bilan $1{,}43 \times 10^{18} sm^{-3}$ deb aniqlandi. Bu qiymat n-tipli o‘tkazuvchanlik holatiga mos keladi va kislorod tanqisligi yoki begona atomlar tufayli bo‘lishi mumkin. Shu bilan birga, zaryad tashuvchilarning sirt kontsentratsiyasi $7{,}13 \times 10^{14} sm^{-2}$ ekanligi aniqlandi, bu 100 nm qalinlikdagi plyonka uchun o‘rtacha hajm zichligiga mos keladi.

Grafik tahlili shuni ko‘rsatadiki, $BaTiO_3$ yupqa plyonkasi yarimo‘tkazgichga xos elektr xulq-atvor namoyon qiladi. Xoll koeffitsienti va solishtirma qarshilikning haroratga bog‘liqligi material ichidagi zaryad tashuvchilar mexanizmi, nuqsonlar va strukturaviy xususiyatlar bilan chambarchas bog‘liqdir. Bu natijalar nanoelektronika va ferroelektrik qurilmalar uchun muhim amaliy ahamiyatga ega.

Xona haroratida plyonkaning hisoblangan elektr o‘tkazuvchanligi 4,78 S / sm ni tashkil etdi. Ushbu ko'rsatkich bizga $BaTiO_3$ asosidagi materiallarni dinamik tasodifiy kirish xotirasi (DRAM), sozlanishi dielektriklar va ferroelektrik tranzistorlar uchun istiqbolli nomzodlar sifatida baholash imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO’YXATI

1. M.T. Normuradov, Sh.T. Khozhiev, K.T. Dovranov,1 Kh.T. Davranov, M.A. Davlatov, F.K. Khollokov. Development of a technology for the production of nano-sized heterostructured films by ion-plasma deposition. Укр. фіз. журн. 68, №3,pp. 210-215 (2023).. (Scopus, IF: N/A).
2. Normuradov M Davlatov M Bozorova N. Оптические свойства титаната бария. NamDU ilmiy axborotnomasi. 2024-11-son (noyabr). бб.26-29. (01.00.00 №14)
3. Давлатов М.А., Нормурадов М.Т., Довранов К.Т. Рентгеноструктурный анализ соединения титаната бария. ҚарДУ хабарлари. Илмий-назарий, услубий журнал. 2023. (2/1)58 9-12 бб. (01.00.00 ОАК Раёсатининг 2021 йил 31 мартдаги 295/6-сон қарори:)
4. Ohring M. *Materials Science of Thin Films*. – New York: Academic Press, 2002. – 794 p.
5. Smith D.L. *Thin-Film Deposition: Principles and Practice*. – New York: McGraw-Hill, 1995. – 617 p.
6. Sze S.M., Ng K.K. *Physics of Semiconductor Devices*. – 3rd Edition. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2007. – 815 p.
7. Waser R. *Nanoelectronics and Information Technology*. – Weinheim: Wiley-VCH, 2012. – 1030 p.
8. Kittel C. *Introduction to Solid State Physics*. – 8th Edition. – New York: Wiley, 2005. – 704 p.
9. Callister W.D., Rethwisch D.G. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. – New York: Wiley, 2018. – 960 p.

10. Maissel L.I., Glang R. *Handbook of Thin Film Technology*. – New York: McGraw-Hill, 1970. – 1000 p.
11. Oura K., Lifshits V.G., Saranin A.A., Zotov A.V., Katayama M. *Surface Science: An Introduction*. – Berlin: Springer, 2013. – 450 p.

EFFECT OF Ba ADSORPTION AND Ba^+ ION IMPLANTATION ON THE ELECTRONIC AND EMISSION PROPERTIES OF TUNGSTEN OXIDE FILMS ON W(111)

I.R. Bekpulatov
Karshi State University,180119, Karshi, Uzbekistan
Corresponding author: ilkhomjon31121985@gmail.com

Abstract. A comparative study of the effects of Ba adsorption and Ba^+ ion implantation on the composition, electronic structure, and emission properties of tungsten oxide films formed on the W(111) surface was performed under ultra-high vacuum conditions. WO_3 and WO_2 films of different thicknesses were synthesized by thermal oxidation of W(111) in an O_2 atmosphere at a pressure of $P_{O_2} \approx (1–5) \times 10^{-3}$Pa. The obtained WO_3 and WO_2 films exhibited wide-band-gap semiconductor properties, with band-gap energies of 2.8 and 3.2 eV, respectively.

Deposition of approximately one monolayer of Ba onto the tungsten oxide surfaces did not significantly change the band-gap energy, whereas the photoelectron work function $\Phi$and electron affinity χdecreased substantially. Consequently, the effective electron-emission coefficient σ_m, photoelectron quantum yield Y, and electron escape depth λincreased. In contrast, Ba^+ ion implantation into WO_2/W(111) resulted in significant modifications of the surface composition, structure, and electronic properties. The formation of W–O, Ba–W–O, and Ba–O chemical environments was observed. The results demonstrate that Ba adsorption and Ba^+ implantation provide different approaches for controlling the electronic structure and electron-emission properties of WO_x/W(111) interfaces.

Keywords: tungsten oxide, W(111), WO_3, WO_2, Ba adsorption, Ba^+ implantation, work function, electron affinity, band gap, electron emission.

1. Introduction

Tungsten oxides are important functional materials whose electronic and surface properties strongly depend on their composition, crystal structure, defects, and surface potential. In particular, WO_3 and WO_2 exhibit semiconductor properties and can be considered promising materials for applications involving electronic and emission processes. Modification of oxide surfaces by electropositive elements such as barium can substantially alter their work function, electron affinity, and electron-emission characteristics. Ba adsorption and Ba^+ ion implantation represent two different approaches to surface modification. While adsorption mainly affects the surface potential, ion implantation can additionally modify the chemical composition and local structure of the near-surface region [1-3]. The purpose of this work is to investigate comparatively the effects of Ba adsorption and Ba^+ ion implantation on the electronic structure and emission properties of WO_3/W(111) and WO_2/W(111) thin films.

2. Experimental Results and Discussion

WO_3 and WO_2 films of different thicknesses were synthesized by thermal oxidation of W(111) under ultra-high vacuum conditions. Oxygen was introduced at $P_{O_2} \approx (1–5) \times 10^{-3}$Pa. During the initial oxidation stage, the oxide layers developed through an island-growth mechanism. The most homogeneous WO_3 films were obtained at approximately 1100 K, whereas uniform WO_2 films formed at approximately 1300 K. Both oxide phases exhibited wide-band-gap semiconductor behavior. The band-gap energy was

determined to be approximately 2.8 eV for WO_3 and 3.2 eV for WO_2. The density of valence-band electronic states and the main energy-band parameters of the thermally synthesized oxide films were determined. The deposition of approximately one monolayer of Ba onto the WO_3 surface produced a pronounced modification of the surface electronic properties. Although the band-gap energy remained nearly unchanged, significant decreases in the photoelectron work function $\Phi$and electron affinity χwere observed. These changes resulted in an increase in the effective electron-emission coefficient σ_m, photoelectron quantum yield Y, and electron escape depth λ. Thus, Ba adsorption primarily modifies the surface electronic potential without substantially changing the fundamental band-gap structure of the oxide. A different behavior was observed following Ba^+ implantation into WO_2/W(111). The implantation process substantially modified the chemical composition and electronic structure of the surface layer. The formation of W–O, Ba–W–O, and Ba–O chemical environments was observed. These chemical transformations were accompanied by changes in the band-gap energy, work function, and electron affinity. The comparison demonstrates that Ba adsorption and Ba^+ implantation affect tungsten oxide surfaces through different mechanisms. Ba adsorption predominantly produces an electronic modification of the surface, whereas Ba^+ implantation causes simultaneous chemical, structural, and electronic changes in the near-surface region. The changes in emission parameters are closely related to the modification of the surface work function and electron affinity.

3. Conclusion

WO_3 and WO_2 thin films were successfully synthesized by thermal oxidation of W(111) under ultra-high vacuum conditions. The films exhibited wide-band-gap semiconductor properties, with $E_g = 2.8$eV for WO_3 and $E_g = 3.2$eV for WO_2. Homogeneous WO_3 and WO_2 films were obtained at approximately 1100 and 1300 K, respectively. Deposition of approximately one monolayer of Ba did not substantially affect the band-gap energy but significantly reduced the work function and electron affinity. Consequently, the effective electron-emission coefficient and photoelectron quantum yield increased. Ba^+ ion implantation into WO_2/W(111) produced more complex modifications involving changes in chemical composition and the formation of W–O, Ba–W–O, and Ba–O compounds. These changes affected the electronic and emission properties of the surface. Overall, the results demonstrate that controlled Ba adsorption and Ba^+ implantation can be used as different approaches for modifying the electronic structure and emission behavior of tungsten oxide surfaces. Further studies of Ba concentration, implantation depth, thermal stability, and long-term surface behavior are required for assessing the practical applicability of these modified interfaces.

References

1. Umirzakov, B., Tashmukhamedova, D., Khudaykulov, F. Ya. Effect of Implantation of Ba^+ Ions on the Composition, Electronic and Crystal Structure of W(111) and WO_2 Surfaces. Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 2022, 16(6), 992–996. https://doi.org/10.1134/S1027451022050202.

2. Tashmukhamedova, D. A., Umirzakov, B., Ergashov, Y. S., Abdiev, Kh. E. Influence of implantation of O_2^+ ions on the composition and electronic structure of the W(111) surface. Micro and Nano Systems Letters, 2024.

3. Leftheriotis, G., Papaefthimiou, S., Yianoulis, P., Siokou, A. Effect of the tungsten oxidation states in the thermal coloration and bleaching of amorphous WO_3 films. Thin Solid Films, 2001, 384(2), 298–306. https://doi.org/10.1016/S0040-6090(00)01828-9.

ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В ТОНКИХ ПЛЁНКАХ ZnO, CuO И Cu_2O ПОД ДЕЙСТВИЕМ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ НА ИХ ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

[1]И.О.Косимов, , [2]Б.Д.Игамов, [3]Ф.Ф.Арзикуловю., [4]О.А. Ниязова., [5]У.Х.Холиков., [6]Б.У. Бобомуродов.
[1]Старщий научный сотрудник., Институт биоорганической химии имени академика А.С.Садыкова, Академия наук Республики Узбекистан
[2]Старщий научный сотрудник., Научно-технический центр с конструкторским бюро и опытным производством АН РУз
[3]Старящий преподаватель., Ташкентский государственный медицинский университет;
[4] Старящий преподаватель., Термезский государственный университет
[5]Ассистент., Термезский государственный инженерно-агротехнологический университет
[6] Ассистент

Введение. В последние годы оксидные полупроводники, в частности тонкие плёнки на основе ZnO, CuO и Cu_2O, привлекают значительный научный интерес благодаря своим уникальным оптическим, электрическим и фотоэлектрическим свойствам [1]. Для анализа оптических свойств широко применяются методы Таука и Урбаха. [2-3]. Кроме того, сравнительный анализ радиационной чувствительности полупроводников с различной шириной запрещённой зоны (широкозонных, узкозонных и промежуточных) остаётся актуальной научной задачей.

Цель и методы исследования. В данной работе проведено комплексное исследование оптических и энергетических изменений в тонких плёнках ZnO, CuO и Cu_2O под воздействием γ-излучения с использованием методов UV–Vis спектроскопии, анализа Таука и Урбаха. Основной целью исследования является выявление механизмов влияния радиационных дефектов на оптические свойства, а также сравнительная оценка радиационной чувствительности различных оксидных полупроводников.

Результаты и их обсуждение. Тонкие плёнки ZnO, CuO и Cu_2O были получены на подложках кремния Si(111) с использованием установки магнетронного распыления UVN-75R. Плёнки ZnO осаждались с использованием цинкового мишени, тогда как CuO и Cu_2O формировались из медной мишени в кислородсодержащей атмосфере. Полученные образцы подвергались γ-облучению от источника ^{60}Co с средней энергии 1.25 МэВ при комнатной температуре в диапазоне доз 1-10 MGy. Оптические свойства исследовались методом UV–Vis спектрофотометрии в диапазоне длин волн 200–1100 нм. Анализ спектров оптического поглощения тонких плёнок ZnO, CuO и Cu_2O показывает, что после γ-облучения для всех образцов наблюдается смещение края поглощения в длинноволновую область, что соответствует уменьшению ширины запрещённой зоны. Данный эффект чётко проявляется в UV–Vis спектрах: для ZnO край поглощения смещается с $\lambda \approx 377$ нм до 394 нм, для CuO - с $\lambda \approx 604$ нм до 652 нм, а для Cu_2O - с $\lambda \approx 867$ нм до 918 нм (рис.1).

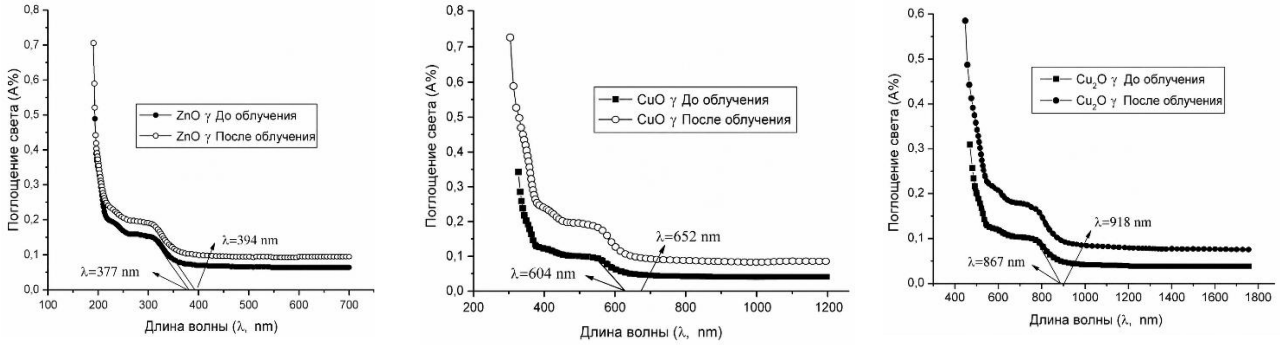


Рис. 1. UV–Vis спектры тонких плёнок ZnO, CuO и Cu_2O до и после γ-облучения

После γ-облучения наблюдается смещение данной точки пересечения в область более низких энергий, что свидетельствует об уменьшении Eg для всех исследованных образцов.

Наблюдаемое уменьшение Eg обусловлено формированием дефектов в кристаллической решётке после воздействием γ-излучения, которые приводят к появлению дополнительных энергетических состояний между валентной зоной и зоной проводимости (рис. 2).

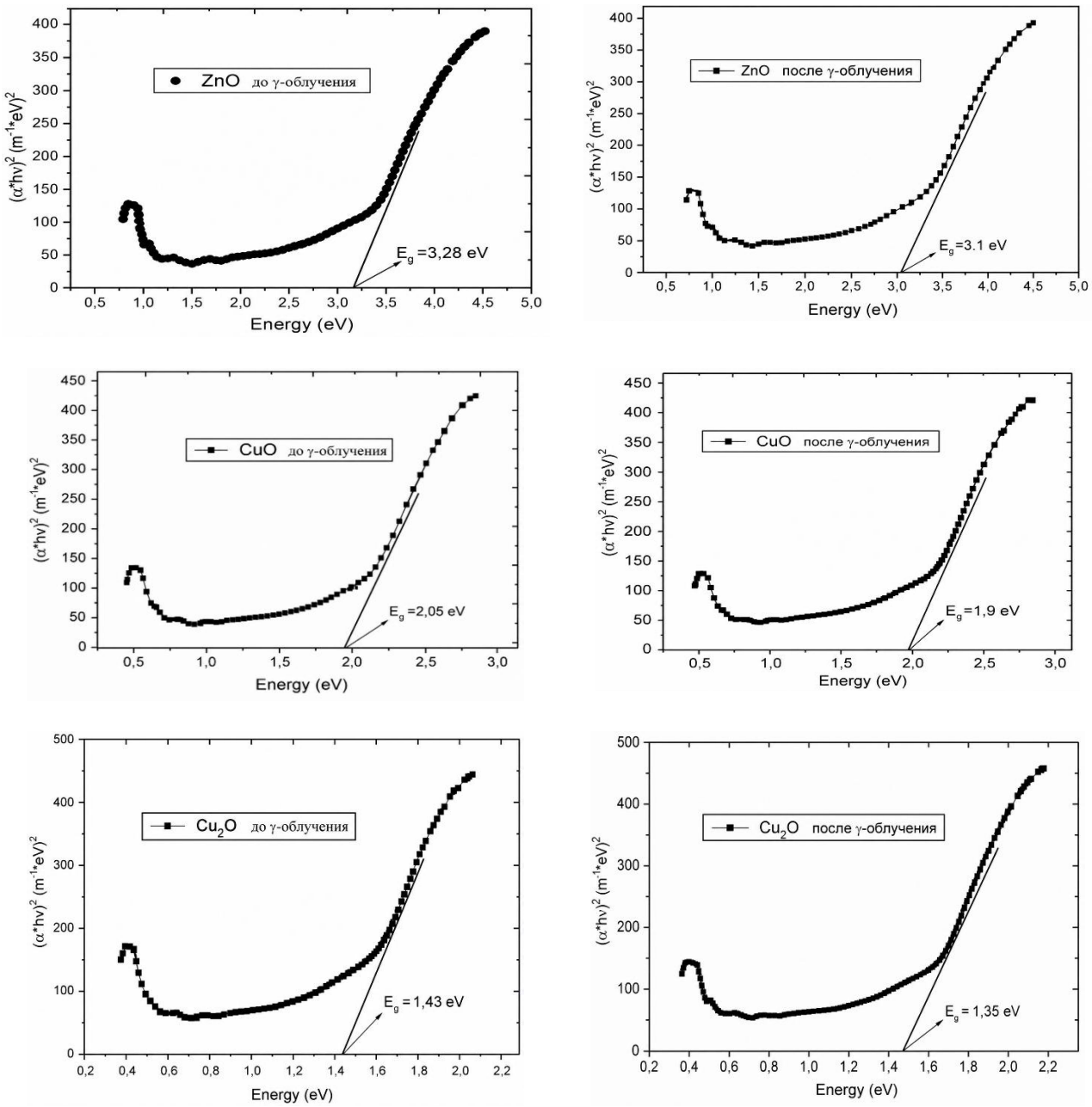


Рис. 2. Изменение ширины запрещённой зоны (Eg) в слоях SiO_2, ZnO, Cu_2O и CuO после воздействия γ-излучения.

Уменьшение ширины запрещённой зоны Eg в ZnO в основном обусловлено донорными дефектами, такими как кислородные вакансии и межузельные атомы цинка, которые формируют новые энергетические уровни вблизи зоны проводимости.

В случае Cu_2O и CuO уменьшение Eg связано с формированием глубоких ловушечных уровней и выраженной структурной неупорядоченностью.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что γ-облучение может рассматриваться как эффективный инструмент для управления зонной структурой в оксидных гетероструктурах. Контролируемое сужение Eg способствует расширению диапазона оптического поглощения, повышению чувствительности в инфракрасной области и формирует научную основу для разработки радиационно-чувствительных оптоэлектронных устройств.

Заключение. В данной работе анализ UV–Vis спектров показал смещение края поглощения в длинноволновую область (ZnO: 377→394 нм, CuO: 604→652 нм, Cu_2O: 867→918 нм), что указывает на реализацию оптических переходов при более низких энергиях. Соответственно, ширина запрещённой зоны, определённая методом Таука, уменьшается (ZnO: 3.3→3.1 эВ, CuO: 2.05→1.90 эВ, Cu_2O: 1.43→1.35 эВ) вследствие появления локализованных состояний в запрещённой зоне. Наиболее выраженные изменения наблюдаются в CuO, что связано с его высокой дефектной чувствительностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sekkat A., Liedke M.O., Nguyen V.H., et al., Chemical deposition of Cu2O fims with ultra-low resistivity: Correlation with the defect landscape. // Nat.Commun., 2022, Vol. 13, P. 5322.

2. Kosimov I. O. et al. A systematic investigation of the structural and electrophysical properties formed under the influence of stoichiometry in CdTe thin films //Physica B: Condensed Matter. – 2026. – C. 419292.

8.Viezbicke, B. D., Patel, S., Davis, B. E., & Birnie, D. P. Evaluation of the Tauc method for optical absorption edge determination: ZnO thin films as a model system. *Physica Status Solidi B*, 2015, 252(8), 1700–1710.

O‘TA-O‘TKAZUVCHANLIKNING RIVOJLANISHI VA ZAMONAVIY MUAMMOLARI

Turayev Ergash Yuldashevich
Termiz davlat universiteti professor, f-m.f.d.

O‘tao‘tkazuvchi holat kritik harorat T_c dan pastda doimiy tok qarshiligining yo‘qolishi va Meyssner effekti bilan tavsiflanadi. Odatiy materiallarda BCS nazariyasi elektronlarning fononlar vositasida Kuper juftlarini hosil qilishini tushuntiradi. II tur o‘tao‘tkazgichlarda esa maydon magnit girdoblar orqali kirishi mumkin; bu kuchli magnitlar uchun muhim [2, 3].

1-jadval.

Tadqiqotning asosiy bosqichlari

Davr	Natija	Ilmiy ahamiyati
1911	Simobda o‘tao‘tkazuvchanlik	Yangi modda holati aniqlandi [1]
1933	Meyssner effekti	Magnit javob mezonga aylandi [2]
1957	BCS nazariyasi	Odatiy juftlanish mexanizmi izohlandi [2]
1986	Kupratlar	Yuqori T_c va kuchli korrelyatsiya muammosi ochildi [4]
2023–2026	Nikelatlar bo‘yicha	Bosim va epitaksial deformatsiya roli tekshirilmoqda

	izlanishlar	[5–7]

Kuprat kristallaridagi mahalliy elektron tuzilishni aniqlash uchun emissiyaviy Mössbauer spektroskopiyasi qo‘llangan. YBaCuO tarkibidagi misning elektron holatini o‘rganishga bag‘ishlangan 1991-yilgi tadqiqot ushbu yo‘nalishga kiradi [12]. Messbauer effektining amorf yarimo‘tkazgichlarga tatbiqi ham alohida yoritilgan [13]; bu ish kupratlardagi o‘tao‘tkazuvchanlik bo‘yicha tajriba natijasi sifatida talqin qilinmaydi.

CuO:^{57}Co namunasida Messbauer spektrining kvadrupol ajralishi tajribada 1,56 mm/s ni, faqat kristall panjara hissasiga asoslangan hisobda esa 2,32 mm/s ni tashkil etgan [14]. Tafovut elektr maydon gradientini talqin qilishda zond atomining valent elektronlari hissasini hisobga olish zarurligini ko‘rsatadi. CuO uchun olingan bu natija mahalliy tuzilishni o‘rganish usuliga daxldor bo‘lib, o‘tao‘tkazuvchanlikning bevosita dalili hisoblanmaydi.

$YBa_2Cu_3O_7$ keramikasi namunasida T_c ≈ 85 K qayd etilgan [15]. Elektr maydon gradienti tenzorining tajribaviy va hisoblangan parametrlari qiyosi kovaklarning asosan O(4) bilan belgilangan kislorod tugunlarida joylashishini ko‘rsatuvchi model bilan izohlangan. Bu muayyan namuna natijasini 3-jadvalda YBCO uchun berilgan ≈92 K umumiy, yaxlitlangan qiymat bilan aynan bir o‘lchov sifatida qabul qilish mumkin emas. Talliy va vismut kupratlari uchun ^{61}Cu hamda ^{67}Cu Mössbauer zondlari, yadro kvadrupol rezonansi va nuqtaviy zaryad modeli asosida olingan natijalar esa kovaklarning mis bilan bir tekislikdagi kislorod tugunlarida lokalizatsiyalanishini nazarda tutadigan modelga mos kelgan [16].

Mahalliy zaryad taqsimotini aniqlash yuqori T_c mexanizmi haqida cheklovlar qo‘yadi, lekin bitta spektroskopik talqin elektron juftlanishning yagona mexanizmini isbotlamaydi. Zond atomining qaysi kristall tuguniga kirgani, kislorod stexiometriyasi va hisoblash modelining soddalashtirishlari mustaqil usullar bilan tekshirilishi kerak.

2-jadval.

Kupratlarning mahalliy elektron tuzilishiga oid tadqiqotlar qiyosi

Ish	**Tadqiqot obyekti**	**Asosiy hissasi va talqin chegarasi**
YBaCuO tadqiqoti [12]	YBaCuO	Misning elektron tuzilishini Mössbauer usulida tekshirish.
CuO:^{57}Co tadqiqoti [14]	CuO:^{57}Co	Gradient hisobida zond elektronlari hissasi muhim; CuO o‘tao‘tkazuvchi namuna emas.
$YBa_2Cu_3O_7$ tadqiqoti [15]	$YBa_2Cu_3O_7$	≈85 K li namuna va O(4) tugunlari haqidagi modelga asoslangan talqin.
Tl/Bi kupratlari tadqiqoti [16]	Tl/Bi kupratlar	Mis tekisligidagi kislorodlarda kovaklar lokalizatsiyasiga mos model.

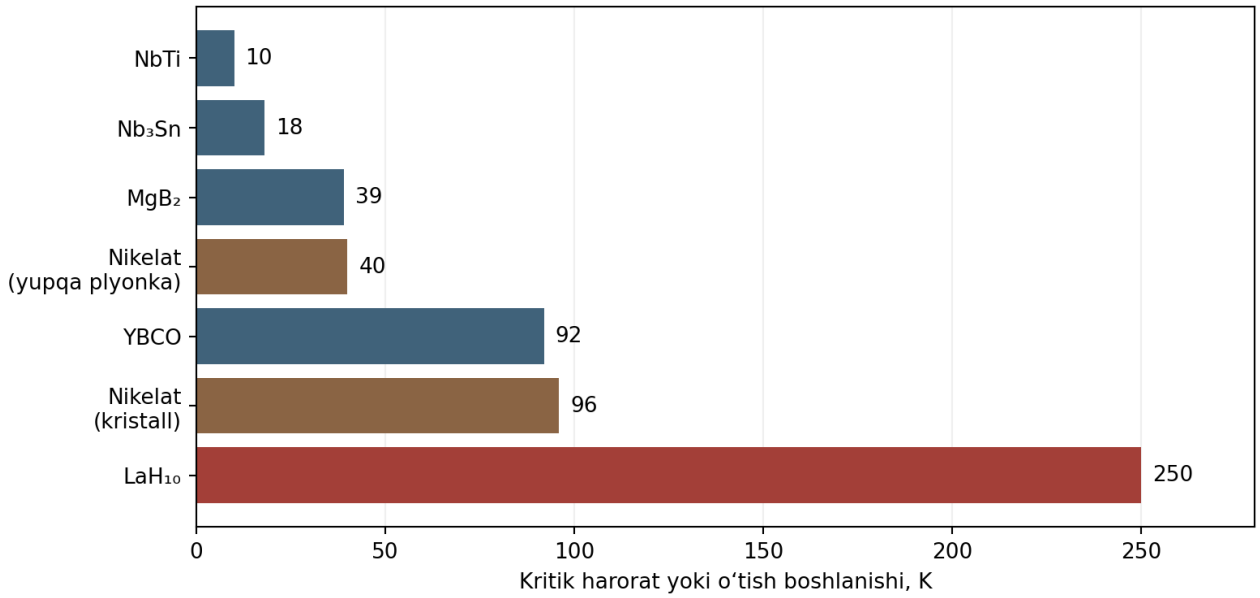
O‘tao‘tkazuvchi materiallarning istiqbolini baholashda kritik haroratni tajriba sharoitidan ajratib ko‘rsatish yetarli emas. Harorat qiymati namunaning tarkibi va tuzilishi, unga qo‘yilgan bosim hamda o‘tishning qaysi belgisi — boshlanishi yoki nol qarshilik holati — qayd etilganiga bog‘liq. Shu sababli 3-jadvalda NbTi, Nb_3Sn, MgB_2, YBCO, nikelatlar va LaH_{10} uchun adabiyotlarda keltirilgan ko‘rsatkichlar ularning o‘lchash sharoitlari bilan birga qiyoslangan.

3-jadval.

Ayrim materiallarda manbalarda keltirilgan harorat ko‘rsatkichlari

Material	**Harorat**	**Sharoit va o‘lchov**	**Manba**
NbTi	≈10 K	Texnik qotishma, yaxlitlangan T_c	[8]
Nb_3Sn	≈18 K	Texnik birikma, yaxlitlangan T_c	[8]
MgB_2	39 K	Material T_c	[8]
Nikelat $(La,Pr)_3Ni_2O_7$	>40 K	Yupqa plyonka, odatdagi bosim, o‘tish	[5]

		boshlanishi	
YBCO	≈92 K	Kuprat, yaxlitlangan T_c	[8]
Nikelat monokristali	96 K gacha	Yuqori bosim, maqoladagi natija	[6]
LaH_{10}	≈250 K	≈170 GPa bosim	[7]



1-rasm. Turli materiallar uchun adabiyotlarda berilgan harorat ko‘rsatkichlari.

Grafik izohi. Ustunlar bitta umumiy tajribada o‘lchanmagan. Nikelat plyonkasidagi >40 K o‘tish boshlanishi sifatida, LaH_{10} va 96 K li nikelat esa yuqori bosimda qayd etilgan. Shu sabab grafikni texnologik samaradorlik reytingi yoki uzluksiz tarixiy o‘sish chizig‘i sifatida talqin qilish mumkin emas. Ranglar material oilalarini ajratish uchun ishlatilgan; barcha ko‘rsatkichlar 3-jadvalda manbasi bilan berilgan.

CERN LHC magnitlari 1,9 K da ishlaydi, ITER magnit tizimi esa NbTi va Nb_3Sn kabi o‘tao‘tkazgichlarga tayangan [9, 10]. Bu misollar kuchli tok va magnit maydon talabi, sovitish infratuzilmasi hamda avariya holatidan himoyani material tanlashdan ajratib bo‘lmasligini ko‘rsatadi. Doimiy tok uchun qarshilikning yo‘qligi butun qurilmaning energiya sarfi nol ekanini anglatmaydi.

4-jadval.

Dolzarb muammo va tekshirish mezonlari

Muammo	**Tadqiqot yo‘li**	**Baholash mezoni**
Juftlanish mexanizmi	Spektroskopiya, magnit va transport o‘lchovlari	Turli tajribalar bilan mos model
Bosimga bog‘liqlik	Tarkib va kristall deformatsiyasini boshqarish	Barqaror T_c, bosimning kamayishi
Magnit girdoblar harakati	Nuqsonlarni va ularning joylashuvini boshqarish	Ish sharoitida yuqori kritik tok
Qayta ishlab chiqarish	Tarkib va fazani mustaqil namunalarda tekshirish	Mos keluvchi elektr va magnit dalillar
Tizim samaradorligi	Sovitish va himoyani birga hisoblash	Butun tizimdagi energiya va xarajat

Kupratlarda mahalliy zaryad holatini va kislorod tugunlarining rolini aniqlash yondashuvi boshqa materiallarni o‘rganish uchun ham metodik asos beradi [12, 14–16]. Biroq bu natijalardan nikelatlarda aynan bir xil kovak taqsimoti yoki juftlanish mexanizmi mavjudligi kelib chiqmaydi. Nikelatlarda yupqa plyonka deformatsiyasi va kislorod tarkibi o‘tao‘tkazuvchanlik ko‘rsatkichlariga ta’sir qilishi mumkin; odatdagi va yuqori bosimdagi holatlar munosabati izlanish mavzusi bo‘lib qolmoqda [5, 6, 11]. Gidridlarda yuqori T_c ga erishish uchun talab etiladigan ulkan bosim amaliy qo‘llanishni cheklaydi [7].

Grafikdagi 250 K qiymat 300 K atrofidagi xona haroratidan past; bundan tashqari u ≈170 GPa da olingan. Binobarin, uni “xona sharoitidagi o‘tao‘tkazgich” deb atash noto‘g‘ri. Ayni vaqtda odatiy texnik materiallarning pastroq T_c si ularning mavjud magnit qurilmalaridagi katta ahamiyatini kamaytirmaydi.

O‘tao‘tkazuvchanlikni to‘liq baholashda kristall tugunlaridagi mahalliy zaryad taqsimotini namunaning kritik harorati, tok va magnit javobi bilan birgalikda tekshirish zarur. Kupratlardagi spektroskopik natijalar mahalliy elektron tuzilishni talqin qilishga xizmat qiladi [12, 14–16]. Nikelatlar uchun tarkib va bosim ta’sirini aniqlash, gidridlar uchun past bosimdagi barqarorlikka erishish, texnik materiallar uchun esa kritik tokni oshirish va magnit girdoblarni boshqarish dolzarb vazifalardir. Kelgusi tadqiqotlarda T_c, bosim, magnit maydon, sovitish sharoiti va natijalarning takrorlanuvchanligi birga ko‘rsatilishi lozim.

Foydalanilgan adabiyotlar

[1] Nobel Prize. The Nobel Prizes in Physics 1901–2000. https://www.nobelprize.org/prizes/themes/the-nobel-prize-in-physics-1901-2000/

[2] American Physical Society. July 1957: Bardeen, Cooper, and Schrieffer submit “Theory of Superconductivity”. https://www.aps.org/apsnews/2007/07.

[3] Nobel Prize. Vortices give guidance, 2003. https://www.nobelprize.org/physics/2003

[4] Nobel Prize. Press release: The 1987 Nobel Prize in Physics. https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1987.

[5] Zhou G. et al. Ambient-pressure superconductivity onset above 40 K in $(La,Pr)_3Ni_2O_7$ films. Nature, 2025. DOI: 10.1038/s41586-025-08755-z.

[6] Li F. et al. Bulk superconductivity up to 96 K in pressurized nickelate single crystals. Nature, 2026. DOI: 10.1038/s41586-025-09954-4.

[7] Drozdov A. et al. Superconductivity at 250 K in lanthanum hydride under high pressures. Nature, 2019. DOI: 10.1038/s41586-019-1201-8.

[8] U.S. Department of Energy. Advanced Transmission Technologies Report, 2020. https://www.energy.gov/oe/articles/advanced-transmission-technologies-report

[9] CERN. Powering CERN. https://home.cern/science/engineering/powering-cern/

[10] ITER Organization. Superconducting magnets. https://www.iter.org/magnets

[11] Bridging ambient- and high-pressure superconductivity in $La_2LnNi_2O_7$ films. Nature Materials, 2026. DOI: 10.1038/s41563-026-02695-3.

[12] Тураев Э. Ю., Тураев Н. Ю., Серегин П. П. Электронная структура меди в YBaCuO, определённая методом эмиссионной мессбауэровской спектроскопии // Узбекский физический журнал. 1991. № 3. С. 42–46.

[13] Серегин П. П., Тураев Э. Ю. Применение эффекта Мессбауэра в физике аморфных полупроводников. Ташкент: Фан, 1989.

[14] Turaev E. Y. The Application of Messbauer Spectroscopy in the Study of Copper Oxides. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, 2019, 6(10), 11060–11061. https://www.ijarset.com/upload/2019

[15] Turaev E. Y. Determination of Localization of Holes in Lattices of High-Temperature Superconductors. JournalNX, 2020, 6(12), 50–52. https://media.neliti.com/media/publications/335545-determination-of-localization-of-holes-i-09f65207.pdf

[16] Masterov V. F., Nasredinov F. S., Seregin N. P., Seregin P. P. Charge states of atoms in the lattices of the high-temperature superconductors $Tl_2Ba_2Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+4}$ and $Bi_2Sr_2Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+4}$. Journal of Experimental and Theoretical Physics, 1998, 87, 588–593. DOI: 10.1134/1.558697.

[17] Saidov Ch. S., Fayzullaev F. B. Problems of comparing the experimental and calculated values of the electric field gradient tensor parameters for impurity atoms. EPRA International Journal of Multidisciplinary Research, 2021, 7(4), 462–464. https://cdn.eprapublishing.org.

KREMNIYDA MIS VA KISLOROD ATOMLARINING O'ZARO TA'SIRLASHUVI

S.N Srajev., O.S.Ne'matov, L.A Urchinova
Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti
e-mail: laylourchinova@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur ish kremniy kristallarida kislorod va mis kirishmalarining o'zaro ta'siri hamda ular hosil qiladigan komplekslarning fizik xossalarini tadqiq etishga bag'ishlangan. Ishda kislorod va mis atomlarining energetik sathlari o'rganilib, 1050–1250°C temperaturalar oralig'ida Si⟨B,O,Cu⟩ va Si⟨B,O⟩ namunalarida elektroneytrallik tenglamalari asosida kislorod–mis komplekslari konsentratsiyalari hisoblandi. Natijada komplekslar konsentratsiyasining maksimal qiymati 1150°C da kuzatilishi aniqlandi.

Kalit so'zlar: kremniy kristallari, kislorod, mis, kirishmalar, energetik sathlar, elektroneytrallik tenglamasi, kislorod–mis komplekslari, komplekslar konsentratsiyasi, temperatura.

Kremniy zamonaviy yarimo'tkazgich texnologiyalarida keng qo'llaniladigan muhim materiallardan biridir. Kremniy kristallida mis va kislorod atomlarining o'zaro ta'sirlashuvi natijasida turli komplekslar hosil bo'lishi mumkin. Ushbu komplekslarning konsentratsiyasi temperaturaga bog'liq ravishda o'zgaradi. Shu sababli Cu–O komplekslari konsentratsiyasining temperaturaga bog'liqligini nazariy jihatdan o'rganish muhim ahamiyatga ega. Mazkur tadqiqotning maqsadi kremniyda mis va kislorod atomlarining o'zaro ta'sirlashuvi natijasida hosil bo'ladigan Cu–O komplekslari konsentratsiyasini hisoblash hamda uning 1050–1250 °C temperaturalar oralig'idagi o'zgarish qonuniyatini aniqlashdan iborat.

Kremniy taqiqlangan zonasida oltingugurt ham, mis ham donorli energetik sath hosil qilishiga qaramasdan, malum bir termodinamik sharoitlarda kimyoviy bog'langan komplekslarning hosil bo'lishida ishtirok etishi adabiyotlarda o'rganilgan [2].

Si da O va Cu o'rtasidagi o'zaro ta'sirlashuv ham o'rganilgan. Bunda boshlang'ich material sifatida Choxralskiy usuli bilan o'stirilgan KDB-10 markali kremniy monokristali tanlab olingan. Kiyemniyda $(\lambda = 9{,}1mkm)$ $N_{O_2} = 5{,}7 \cdot 10^{17} sm^{-3}$ tashkil etgan. Mis kirishmasi kremniy sirtiga vakuum (10^{-4} mm.sim.ust) sharoitida purkalib, yupqa qatlamdan 1050-1250 ℃ harorat oralig'ida 50 ℃ qadam bilan diffuziya yo'li bilan legirlanib, Hosil bo'lgan $Si < B, O, Cu >$ namunalari parametrlarini solishtirish uchun har safar $Si < B, O >$ sinov namunalari ham birgalikda bir xil sharoitda qizdirilib, $Si < B, O, Cu >$ va $Si < B, O >$ namunalari parametrlari topilgan [1,4].

1-jadval

Diffuziya temperaturasi,°C	*Namunalar*					
	$Si < B, O, Cu >$			$Si < B, O >$		
	O‘tkazuvchanlik turi	ρ, $Om \cdot sm$	p_o, n_o, sm^{-3}	O‘tkazuvchanlik turi	ρ, $Om \cdot sm$	p_o, n_o, sm^{-3}
1050	*p*	14.0	$1.72 \cdot 10^{15}$	*p*	10.2	$1.72 \cdot 10^{15}$
1100	*p*	13.3	$1.91 \cdot 10^{15}$	*p*	11,2	$1.77 \cdot 10^{14}$
1150	*p*	10.5	$1.20 \cdot 10^{15}$	*n*	$4,7 \cdot 10^{3}$	$9.65 \cdot 10^{13}$
1200	*p*	12.0	$1.40 \cdot 10^{15}$	*p*	$5 \cdot 10^{4}$	$3.64 \cdot 10^{13}$
1250	*p*	14.4	$1.45 \cdot 10^{15}$	*p*	*11.2*	$2.67 \cdot 10^{13}$

$Si < B, O >$ namunalari parametrlarining o‘zgarishi adabiyotlarda Si da yuqori haroratli termodonorlarning (TD-3), ya‘ni temik toblanish nuqsonlarining paydo bo‘lishi bilan tushuntiriladi. Cu kirishmalarining esa Si parametrlariga sezilarli ta‘sir ko‘rsatmasligi Cu ning elektr jihatdan faol konsentratsiyasining kamligi ($5 \cdot 10^{14}\ sm^{-3}$) bilan izohlanadi [3].

$Si < B, O, Cu >$ namunalari parametrlarining o‘zgarishini *O* hamda *Cu* ning *Si* dagi eruvchanligining qaralayotgan harorat oralig‘ida $\sim 10^{18}\ sm^{-3}$ ekanligini hisobga olsak, Si da O va Cu kirishmalari o‘rtasida kimyoviy bog‘langan elektroneytral komplekslar hosil bo‘lishini taxmin qilish mumkin. Bunday taxminni aniqlashtirish maqsadida $Si < B, O, Cu >$ va Si<B,O> namunalari uchun elektroneytrallik tenglamasi tuzib va bu tenglamalar yordamida N_{Cu} va N_o konsentratsiyalari hisoblab topildi.

Si<B,O> sinova namunamiz uchun elektronetrallik tenglamasi:

$$E_{d1} = E_C - 0{,}05eV,$$
$$E_{d2} = E_C - 0{,}15eV$$
$$N_B^- + n_0 = P(E_{d1}) + P(E_{d2}) + p_0$$

Si<B,Cu> uchun elektronetrallik tenglamasi:

$$E_{d3} = E_c - 0.49\ eV,$$
$$E_a = E_v + 0.24\ \ eV$$
$$N_B^- + n_0 = P(E_{d3}) + p_0$$

$\mathbf{Si < B, O, Cu >}$ *uchun elektronetrallik tenglamasini tuzganimizda quyidagicha bo’ladi.*

$E_{d1} = E_C - 0{,}05$

$E_{d2} = E_C - 0{,}15$

$$E_{d3} = E_c - 0.49\ eV$$

$N_B^- + n_0 = P(E_{d1}) + P(E_{d2}) + P(E_{d3}) + p_0$

bu tenglamalar yordamida N_k komplekslar konsentratsiyasi hisoblandi.

$$N_k = \frac{(2-(f_{d1}+f_{d2}))\cdot N_o + (1-f_{d3})\cdot N_{Cu} + p_o - N_B^- - n_o}{3-(f_{d1}+f_{d2}+f_{d3})}$$

1-jadval

T^oC	N_o, sm^{-3}	N_{Cu}, sm^{-3}	N_k, sm^{-3}
1000	$2.8 \cdot 10^{14}$	$2.6 \cdot 10^{14}$	$2.5 \cdot 10^{14}$
1100	$1.82 \cdot 10^{15}$	$9.59 \cdot 10^{13}$	$7.8 \cdot 10^{14}$
1150	$1.9 \cdot 10^{15}$	$8.29 \cdot 10^{14}$	$8.62 \cdot 10^{14}$
1200	$1.96 \cdot 10^{15}$	$6.47 \cdot 10^{14}$	$5.5 \cdot 10^{14}$
1250	$1.97 \cdot 10^{15}$	$5.55 \cdot 10^{14}$	$6.44 \cdot 10^{14}$

Jadvalda hisoblab topilgan qiymatlar yordamida Si<B,O,Cu> na’munasidagi (O+Cu) komplekslarining temperaturaga bog‘liqlik grafigini chizganimizda quydagi ko‘rinishga ega bo‘ladi.

Si<B,O,Cu> va sinov namunasi sifatida olingan Si<B,O> namunalarining elektroneytrallik tenglamalari asosida kislorod, mis hamda Cu–O komplekslarining konsentratsiyalari hisoblandi. Hisoblash natijalari Cu–O komplekslari konsentratsiyasining temperatura o‘zgarishiga bog‘liqligini ko‘rsatdi. Aniqlanishicha, O va Cu–O komplekslarining eng yuqori konsentratsiyasi 1150 °C temperaturada kuzatiladi. Ushbu natija mazkur temperaturada Cu va O atomlari o‘rtasidagi o‘zaro ta’sirlashuv natijasida komplekslarning hosil bo‘lishi uchun qulay sharoit yuzaga kelishini ko‘rsatadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR.

1. Бахадырханов М.К., Аскаров Ш.И. Норкулов Н, Сражев С.Н. Некоторые особенности взаимодействия серы с медью в кремнии // Неорганические материалы 1992, Т. 28, №8, с. 1607-1608
2. Болтакс Б.И., Бахадырханов М.К., Городецкий С.М., Куликов Г.С. Компенсированный кремний. Ленинград. Наука, 1972.
3. Dash W.C. Copper presipitation on dislocation in silicon. //J.Appl. Phys. 1956, v.27, №10, p. 1193-1195.
4. Сражев С.Н., Ахроров С.Қ., Тошбоев Т.У., Неъматов О.С. Кремнийда олтингугурт ва мис комплексларини атом куч микроскопи ѐрдамида тадқиқ қилиш. Фотоэнергетикада наноструктурали яримўтказгич материаллар. III Халқаро илмий анжуман маърузалар тўплами. 24-25 ноябрь 2022 й. Тошкент. 127-129 бетлар.

ION-PLAZMA USULI BILAN β-$FeSi_2$ VA Mg_2Si SILITSID YUPQA PLYONKALARINI OLISH VA ULARNI TADQIQ QILISH

Dovranov Q.T.[1], Jurayeva Sh., Ibrohimova S.[2]
[1]*Qarshi davlat universiteti, Qarshi, O’zbekiston*
[2]*Buxoro davlat universiteti, Buxoro, O’zbekiston*

Infraqizil (IQ) fotodetektorlar optik aloqa, atrof-muhit monitoringi, tibbiy diagnostika va xavfsizlik tizimlarida keng qo‘llaniladi. Hozirgi IQ detektorlarning katta qismi zaharli yoki kam uchraydigan elementlarni (Hg, Cd, Pb, In, Ga, As) o‘z ichiga olgan birikmalarga (HgCdTe, PbS, InGaAs) tayanadi, ularni olish texnologiyasi murakkab va kremniy texnologiyasi bilan mosligi cheklangan. Shu sababli kremniy bilan mos, tarkibi Yer qobig‘ida keng tarqalgan va ekologik toza materiallar asosidagi detektorlarga qiziqish ortmoqda. Bunday materiallar qatoriga yarimo'tkazgich silitsidlar, jumladan β-$FeSi_2$ va Mg_2Si kiradi.

β-$FeSi_2$ taqiqlangan zona kengligi taxminan 0,85–0,9 eV (to'lqin uzunligi 1,5 mkm, optik aloqaning shaffoflik oynasiga mos) bo‘lgan yarimo‘tkazgich bo'lib, yutilish chegarasi yaqinida yutilish koeffitsiyenti 10^5 sm^{-1} tartibida. Mg_2Si esa bilvosita taqiqlangan zonasi taxminan 0,6–0,8 eV bo‘lgan, Mg va Si kabi

arzon va zaharsiz elementlardan tashkil topgan birikmadir. Ikkala material ham kremniy taglikda o‘stirilishi va mavjud kremniy mikroelektronika texnologiyasiga integratsiya qilinishi mumkin.

Biroq plyonkalarning xossalari olish sharoitiga keskin bog‘liq. Magnetron changlatishda β-$FeSi_2$ plyonkalari odatda amorf yoki FeSi, α-Fe_2Si_5 kabi yarimo'tkazgich bo‘lmagan fazalar aralashmasi holida hosil bo‘ladi, β-fazaga o'tish uchun esa 800–900 °C atrofida uzoq termik tavlash talab etiladi. Bu esa temir atomlarining kremniyga diffuziyasiga va interfeysning buzilishiga olib keladi. Mg_2Si plyonkalarida Mg ning yuqori uchuvchanligi va oksidlanishga moyilligi tufayli tarkibda Mg yetishmovchiligi va MgO hosil bo'lishi kuzatiladi. Bu omillar interfeys nuqsonlarini ko‘paytirib, qorong‘u tokni oshiradi va fotosezgirlikni pasaytiradi. Ikkala materialda changlatish rejimlari, struktura, optik va fotoelektrik xossalar o‘rtasidagi bog‘liqlik bir xil sharoitda qiyosiy tarzda hali yetarli o‘rganilmagan.

Mazkur yo‘nalishdagi tadqiqotlar uchun laboratoriyada zarur tajriba to‘plangan: Si va GaAs taglik ustida Cu va Ni nanoplyonkalarining DC va RF magnetron rejimlarida hosil bo‘lishi, o‘sish tezligining changlatish vaqti va mishen–taglik masofasiga bog'liqligi hamda sirt morfologiyasi (AFM) o'rganilgan. Bu tajriba silitsid plyonkalar uchun rejimlarni tanlashda asos bo‘ladi. Tadqiqotning maqsadi β-$FeSi_2$ va Mg_2Si yupqa plyonkalarini magnetron changlatish usulida olish rejimlarini optimallashtirish, ularning struktura-morfologik, optik va fotoelektrik xossalarini aniqlash hamda ular asosida IQ fotodetektorlar uchun yaroqli geterostrukturalarni shakllantirish imkoniyatini baholashdan iborat.

Rejalashtirilgan ishlar to‘rt bosqichda amalga oshiriladi. Birinchi bosqichda plyonkalar Epos PVD Disk Pro qurilmasida RF magnetron changlatish usuli bilan olinadi. Changlatish quvvati, argon bosimi, target–taglik masofasi (90 mm atrofida), taglik harorati (xona haroratidan 460 °C gacha) va changlatish vaqti (plyonka qalinligi) o‘zgartirilib, o‘sish tezligining rejimlarga bog‘liqligi aniqlanadi. Taglik sifatida optik o‘lchovlar uchun kvars yoki shisha, geterostrukturalar uchun p- va n-turdagi Si(100) ishlatiladi. Ikkinchi bosqichda plyonkalarga vakuum yoki inert muhitda termik tavlash qo‘llaniladi, shuningdek nanosekundli lazer ishlovi imkoniyati o‘rganiladi. Qurilmada taglikni qizdirish chegarasi (460 °C) β-$FeSi_2$ ning yarimo‘tkazgich fazasi hosil bo‘lishi uchun yetarli emas, shuning uchun qisqa muddatli lokal lazer ishlovi β-fazani kremniy bilan keskin diffuziyasiz hosil qilishning muqobil yo‘li sifatida ko‘rib chiqiladi. Mg_2Si uchun esa Mg yo‘qotilishini va oksidlanishni kamaytiruvchi rejimlar tanlanadi.

Uchinchi bosqichda namunalarning tarkibi (WDXRF, SEM), fazaviy tuzilishi (XRD), sirt morfologiyasi va g‘adir-budurligi (AFM), optik xossalari (UV-Vis-NIR va FTIR spektroskopiyasi, yutilish koeffitsiyenti va taqiqlangan zona kengligini aniqlash) hamda elektrofizik parametrlari tadqiq qilinadi. To‘rtinchi bosqichda plyonka/Si geterostrukturalari shakllantirilib, ularning qorong‘u va yoritilgan sharoitdagi volt-amper xarakteristikalari, spektral sezgirligi hamda detektorlik ko'rsatkichlari baholanadi.

Ishning ilmiy yangiligi shundan iboratki, β-$FeSi_2$ va Mg_2Si plyonkalari bir xil uskunada, bir xil taglik va o‘lchov usullari bilan qiyosiy o‘rganiladi, magnetron changlatish rejimlari va keyingi ishlov (termik tavlash, nanosekundli lazer ishlovi) turi plyonkaning fazaviy tarkibi hamda fotoelektrik xossalari bilan bevosita bog‘lanadi. Tadqiqot natijasida har ikkala material uchun optimal changlatish va tavlash rejimlari, ularning struktura, morfologiya, optik va elektrofizik xossalari orasidagi bog‘liqlik aniqlanadi, β-$FeSi_2$ va Mg_2Si plyonkalarining IQ fotodetektorlarga yaroqliligi qiyosiy baholanadi. Olingan natijalar kremniy bilan mos, ekologik toza IQ fotodetektorlar uchun silitsid materiallarni tanlash va ular asosida qurilmalar ishlab chiqish uchun ilmiy asos bo'ladi.

Adabiyotlar

5. Dovranov K.T., Abrayeva S.T., Yorqulov R.M., Mustafoeva N.M., Buzrukov T.O., Jurayeva Sh.A., Aminov A.A. Formation and morphology of Cu nanofilms using DC and RF modes of a magnetron sputtering device. Ukr.J. Phys. 71, No. 1, 65 (2026). https://doi.org/10.15407/ujpe71.1.65.

6. Davlatov, M.A., Davranov, K.T., Dovranov, X.T., Xusanov, S.N., Kodirov, A.R., Xolikulova, S. Structural characteristics and optical properties of SiC thin films produced by the RF-PVD method. East Eur. J. Phys. 2, 330–334 (2025).
7. Bekpulatov I.R., Imanova G.T., Jabarov S.H., Umirzakov B.E., Dovranov K.T., Loboda V.V., Turapov I.X., Norbutaev N.E., Sayyed M.I., Tishkevich D.I., Trukhanov A.V. The solid-phase ion-plasma method and thermoelectric properties of thin $CrSi_2$ films. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 2024, 35(20), 1426. htps://doi.org/10.1007/s10854-024-13163-6.
8. Dovranov K.T., Normuradov M.T., Davranov KH.T., Bekpulatov I.R. Formation of Mn_4Si_7/Si(111), $CrSi_2$/Si(111), and $CoSi_2$/Si(111) thin films and evaluation of their optically direct and indirect band gaps. Ukrainian Journal of Physics, 2024, 69(1), pp. 20–2563. https://doi.org/10.1080/14328917.2024.2339001.

II SHO'BA. KONDENSIRLANGAN MUHITLAR FIZIKASINING DOLZARB MUAMMOLARI

SEGNETOELEKTRIKLAR QARSHILIGININ OF THE SIDE CHAINS OF THE β-CASOKININ MOLECULE

*Yasemen Karimli, Leyla Agayeva, Namiq Akhmedov
Baku State University, Institute for Physical Problems,
Z. Khalilov Str. 23, Baku, AZ-1148, Azerbaijan
yasaman.karimli.g@gmail.com

The spatial structure of the β-casokinin (H-Ala1-Val2-Pro3-Tyr4-Pro5-Gln6-Arg7-OH) molecule was investigated using the method of theoretical conformational analysis by fragmenting the molecule. In the theoretical conformational analysis method, the potential energy of the molecule was selected as the sum of non-bonded, electrostatic, torsional interaction, and hydrogen bonding energies. In the first approximation, the spatial structure of the N-terminal tetrapeptide fragment H-Ala1-Val2-Pro3-Tyr4 was studied based on the low-energy conformations of the corresponding amino acid residues. The study of the spatial structure of the Ala1-Val2-Pro3-Tyr4 tetrapeptide fragment showed sharp differentiation in terms of shapes, main chain forms, and conformational energies.

In the second stage of the calculation, the spatial structure of the Tyr4-Pro5-Gln6-Arg7 tetrapeptide fragment was studied based on the low-energy conformations of its constituent amino acid residues. The calculation results show sharp differentiation in terms of shapes, main chain forms, and conformational energies. In the third stage of the calculation, the spatial structure of the H-Ala1-Val2-Pro3-Tyr4-Pro5-Gln6-Arg7-OH heptapeptide molecule was investigated based on the low-energy conformations of its constituent N-terminal H-Ala1-Val2-Pro3-Tyr4 and C-terminal Tyr4-Pro5-Gln6-Arg7-OH tetrapeptide fragments. The calculation results demonstrate sharp differentiation in terms of shapes, main chain forms, and conformational energies. The lowest-energy conformation among the large number of calculated conformations for each form of the heptapeptide molecule was selected; their shapes, main chain forms, the contributions of non-bonded, electrostatic, and torsional interaction energies to them, and their total and relative energies are presented in Table 1, while the spatial arrangement of atoms in the global conformation is shown in Figure 1. The relative energies of 16 main chain conformations across 16 shapes of the heptapeptide molecule fall within the energy interval of (0)–(8.0) kcal/mol. In the set of low-energy conformations of the heptapeptide molecule presented in Table 1, the N-terminal tetrapeptide is represented by four shapes: *eef*, *eee*, *fef*, and *fee*. The C-terminal tetrapeptide fragment Tyr4-Pro5-Gln6-Arg7-OH of the H-Ala1-Val2-Pro3-Tyr4-Pro5-Gln6-Arg7-OH heptapeptide molecule consists of a total of four shapes: *eee*, *efe*, *eff*, and *eef*.

The global conformation of the H-Ala1-Val2-Pro3-Tyr4-Pro5-Gln6-Arg7-OH molecule belongs to the *eefeee* shape and is B B_2 R B_2 B B_{211} B_{3122}. Non-bonded interaction energy contributes up to (-30.9) kcal/mol, electrostatic interaction energy up to (-1.4) kcal/mol, and torsional interaction energy up to (5.6) kcal/mol to its stabilization. As can be seen, the conformation is most favorable in terms of both non-bonded and electrostatic interaction energies (Table 1). The N-terminal dipeptide Ala1–Val2 fragment of the molecule is in the extended B B form of the main chain. The third amino acid residue Pro3, being in the R form of the main chain, twists the peptide chain and brings the subsequent fully extended Tyr4-Pro5-Gln6-Arg7-OH fragment closer to the N-terminal side of the molecule. Consequently, an effective interaction is established between the N- and C-terminal sides of the molecule.

The set of low-energy spatial structures of the β-casokinin molecule, the values of the dihedral angles, and the interaction forces stabilizing them were determined. It was established that the central Val2-Pro3-Tyr4-Pro5 segment of the heptapeptide molecule possesses four structural types, and the N-terminal Ala1 and C-terminal Gln6-Arg7-OH amino acid residues attach to them via two structural types.

The amino acid sequence of the β-casokinin molecule includes Tyr4 with a labile, multi-atomic, polar side chain, Gln6 with a multi-atomic, polar side chain, and Arg7 with a multi-atomic, positively charged side chain. It is well known that the β-casokinin molecule performs many functions by interacting with various molecules and receptors. Therefore, studying the conformational flexibility of the side chains of the constituent amino acid residues allows for determining to what extent specific amino acid residues can participate in these interactions. For this purpose, conformational maps were constructed around the dihedral rotation angles of the side chains of Tyr4, Gln6, and Arg7 amino acid residues in the global B B_2 R B_2 B B_{211} B_{3122} conformation of the β-casokinin molecule shown in Table 1.

The conformational map constructed around the χ_1-χ_2 dihedral angles of the fourth amino acid residue, tyrosine, showed that almost free rotation around the χ_1 angle is possible from (-180°) to (-30°). The most favorable position of the χ_2 angle occurs around (90°) and (-90°). Therefore, it can be stated that the side chain of Tyr4 can easily establish bonds with receptor molecules.

The conformational map constructed around the χ_1-χ_2 angles of the sixth amino acid residue, glutamine, showed that the χ_1 rotation angle possesses almost complete conformational freedom. The χ_2 rotation angle is high in energy only in the (-30°) to (30°) range; in all other cases, it can rotate freely. Therefore, it can be stated that this amino acid residue can also easily participate in interactions with receptors.

As is known, the side chain of the seventh amino acid residue, arginine, possesses four dihedral rotation angles. Thus, conformational maps were constructed for it around the χ_1-χ_2 and χ_2-χ_3 angles. The maps showed that rotation around the χ_1 angle in the (0°) to (60°) range, around the χ_2 angle in the (0°) to (90°) range, and around the χ_3 angle in the range around (-30°) to (60°) is relatively high in energy. Therefore, it can be concluded that the Arg7 amino acid residue can also easily interact with receptors and other molecules.

Table 1. Low-energy conformations of the β-casokinin molecule, the energy contributions of various interactions to them, and their total and relative energies

№	Shapes	Conformation	Energy contribution			$U_{üm}$	U_{nis}
			U_{qv}	U_{el}	U_{tor}		
1	eefeee	$BB_2RB_2BB_{211}B_{3122}$	-30.9	-1.4	5.6	-26.7	0
2	efe	$B_1RB_{131}B_{3222}$	-27.7	-0.4	3.0	-25.1	1.6
3	eff		-26.4	-0.7	2.8	-24.3	2.4
4	eef	$B_3RR_{211}R_{3322}$	-24.9	-0.7	2.6	-23.0	3.7
		$B_2BR_{211}R_{3322}$					

	eeeeee	$BB_2BB_3BB_{211}B_{3122}$					
5			-25.3	-1.6	4.2	-22.7	4.0
6	efe	$B_1RB_{131}B_{3222}$	-28.0	0.9	3.7	-23.4	3.3
7			-27.7	-0.3	2.6	-25.5	1.2
8	eff	$B_3RR_{211}R_{3322}$	-22.0	-0.8	2.6	-20.2	6.5
	eef	$B_3BR_{211}R_{3322}$					
		$RB_2RB_1BB_{211}B_{3122}$					
9	fefeee		-25.0	-1.3	3.8	-22.6	4.1
10	efe	$B_1RB_{131}B_{3222}$	-26.8	0.2	2.5	-24.0	2.7
11	eff		-22.9	-0.1	3.0	-20.1	6.6
12	eef	$B_3RR_{211}R_{3322}$	-25.6	0.2	2.4	-23.1	3.6
		$B_1BR_{211}R_{3322}$					
		$RB_3BB_3BB_{211}B_{3122}$					
13	feeeee		-23.6	-0.9	4.0	-20.6	6.1
14	efe	$B_1RB_{131}B_{3222}$	-26.2	1.7	3.0	-21.5	5.2
15	eff		-28.0	0.1	3.0	-24.9	1.8
16	eef	$B_3RR_{211}R_{3322}$	-23.0	-0.4	2.6	-20.8	5.9
		$B_3BR_{211}R_{3322}$					

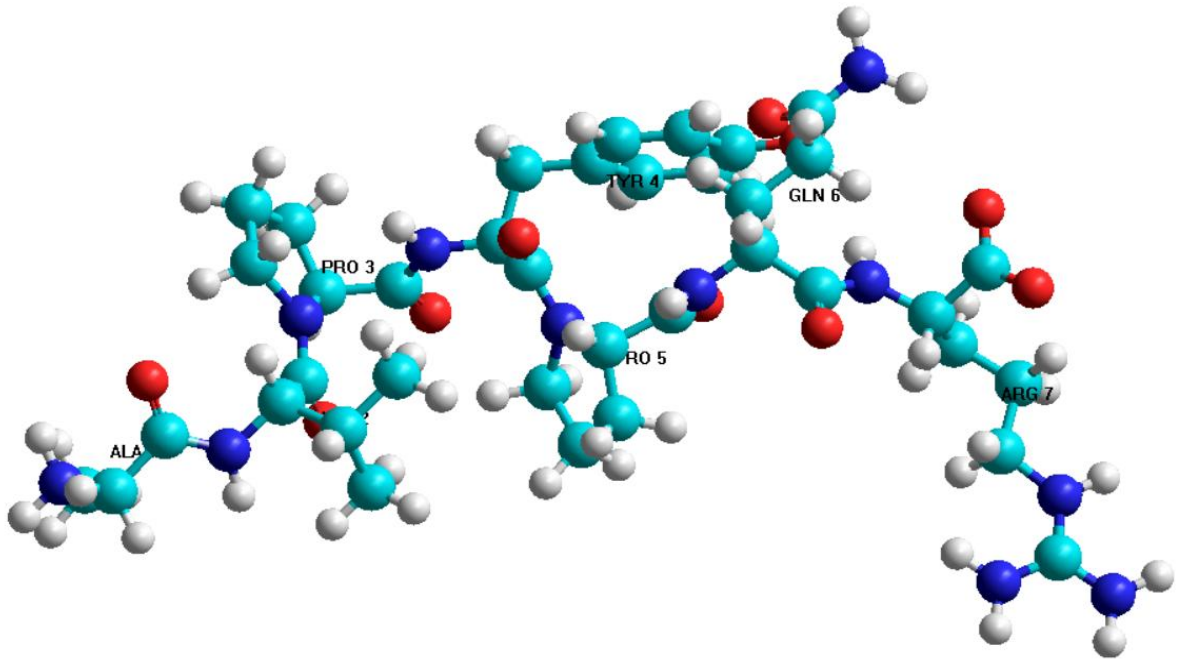


Figure 1. Spatial arrangement of atoms in the global conformation of the β-casokinin molecule with a relative energy of 0 kcal/mol

References

1. D. P Mohanty, V. Prakash, S.S. Arya. Milk derived bioactive peptides and their impact on human health. Journal of Food Science and Technology, 2015, V.52. N.10, P. 6112–6122. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4992109/

SPATIAL STRUCTURE OF THE [PHE3]-ANALOGUE OF THE RUBISCOLIN-6 MOLECULE

Leyla Agayeva, Yasemen Karimli, Larisa Ismailova, and *Namiq Akhmedov
Baku State University, Institute for Physical Problems,
Z. Khalilov Str. 23, Baku, AZ-1148, Azerbaijan
namiqabdulavval@mail.ru

The Rubiscolin-6 (Tyr-Pro-Leu-Asp-Leu-Phe) molecule is an endogenous opioid peptide isolated from rubisco, which is naturally present in spinach and other green leafy plants. Its spatial structure was studied using theoretical conformational analysis; its set of low-energy conformations, the interaction energies stabilizing them, and the values of the dihedral angles of its low-energy conformations were determined [1].

Many analogues of the Rubiscolin-6 molecule were synthesized by M. Sobolczyk and R. Perlikowska [2]. The spatial structure of the [Phe3]-rubiscolin-6 analogue synthesized by them was investigated using the theoretical conformational analysis method.

The spatial structure of the [Phe3]-rubiscolin-6 analogue was studied based on the low-energy conformations of the natural rubiscolin-6 molecule [1]. The investigation of the spatial structure of the rubiscolin-6 molecule showed that its spatial structure can be represented by eight conformations falling within the (0)–(12.5) kcal/mol energy range [1]. These conformations and the energy contributions of various interactions to them are presented in Table 1 [1].

The [Phe3]-rubiscolin-6 analogue was obtained by replacing the Leu3 amino acid residue in the natural rubiscolin molecule with a Phe3 amino acid residue. In low-energy conformations, the backbone shape of the third amino acid was preserved, the possible positions of the Phe amino acid residue's side chain according to the torsional potential were calculated, and the lowest-energy option among them was selected. Therefore, for the [Phe3]-rubiscolin-6 analogue, the same number of conformations as in the natural molecule is shown in Table 2, and the spatial arrangement of atoms in 4 low-energy conformations is shown in Figure 1. As can be seen from Table 2, similar to the natural molecule, the relative energies of the conformations of the [Phe3]-rubiscolin-6 analogue vary in the range of (0)–(12.0) kcal/mol. However, the distribution of conformations differs. The global conformation of the natural molecule is $B_3RR_{12}R_1R_{21}R_3$, belonging to the *effff* shape. The relative energy of this conformation in [Phe3]-rubiscolin-6 is (6.3) kcal/mol. The calculation results show that the values of their dihedral angles also differ sharply. Therefore, it can be assumed that the [Phe3]-rubiscolin-6 analogue will not be able to perform its function corresponding to this conformation of the natural molecule.

The global conformation of the [Phe3]-rubiscolin-6 analogue is $B_3RB_3R_3R_{21}R_3$, belonging to the *efeff* shape. At first glance, this conformation differs from the global conformation of the natural molecule by the shape of the backbone of the Phe3 amino acid residue. In this conformation, with Phe3 being in the B shape of the main chain, it twists the peptide chain, creating favorable interactions among many amino acid residues. Non-bonded interaction energy contributes up to (-30.4) kcal/mol, electrostatic interaction energy up to (-3.1) kcal/mol, and torsional interaction energy up to (5.0) kcal/mol to this conformation (Table 1). As seen from the table, the conformation is most favorable in terms of both non-bonded and electrostatic interactions. In this conformation, the N-H atom of the Tyr1 backbone and the C-O atom of the Asp4 amino

acid side chain are located at a distance of 1.8 Å from each other in space and form a hydrogen bond. In this conformation, the Tyr1 amino acid residue is positioned in space such that it forms favorable dispersion and electrostatic interactions with the subsequent tripeptide fragment. The values of the dihedral angles in both the natural molecule and the [Phe3]-rubiscolin-6 analogue match closely as well. Therefore, it can be stated that this analogue can perform the function of the natural molecule corresponding to this structure.

The second low-energy conformation of the [Phe3]-rubiscolin-6 molecule is $B_3RB_1B_3B_{32}B_3$, belonging to the *efeee* shape. As can be seen, the conformation is favorable in terms of electrostatic interaction energy. In this conformation, the Pro2 amino acid residue, in the R shape of the main chain, brings the Tyr1 amino acid residue closer to the following tripeptide group. Therefore, it can be assumed that the [Phe3]-rubiscolin analogue will also fulfill the function corresponding to this structure of the natural molecule.

The conformations of the *eeeff*, *eefff*, *eeeee*, and *eefee* shapes of the natural rubiscolin molecule shown in Table 1 are high-energy conformations. Three of these shapes (*eeeff*, *eeee*, *eefee*) also remain high-energy in the [Phe3]-rubiscolin-6 analogue. The calculation results demonstrate that a distinct low-energy conformation is possible for the [Phe3]-rubiscolin-6 analogue compared to the natural molecule, and not all low-energy conformations of the natural molecule are realized in the analogue. Therefore, the [Phe3]-rubiscolin-6 analogue can be proposed for synthesis as an analogue that performs a specific function of the natural molecule.

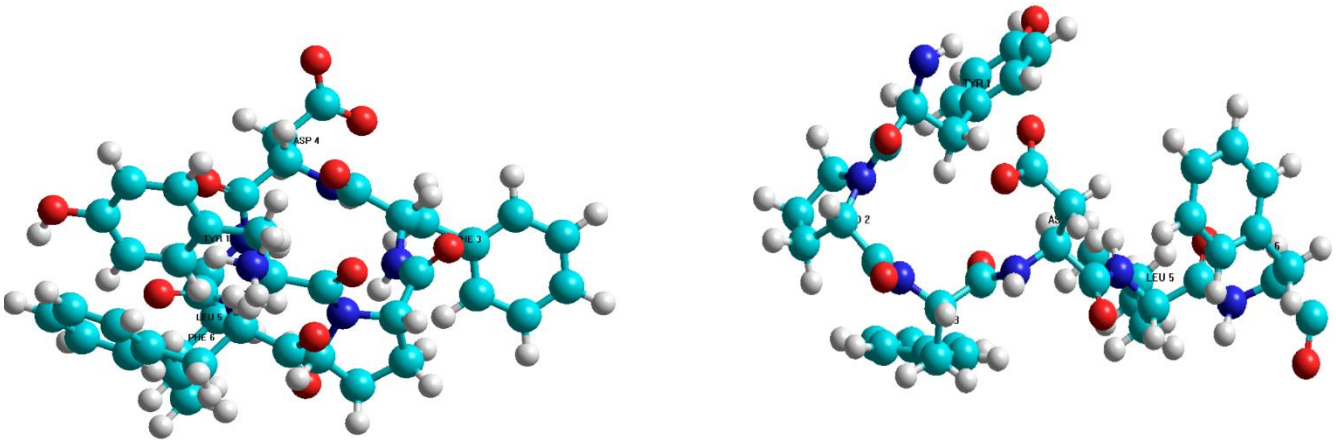
Table 1. Low-energy conformations of the Rubiscolin-6 molecule, the contributions of non-bonded, electrostatic, and torsional interaction energies to them, and their total and relative energies

№	SHAPES	Conformation	Energy contribution			U_{rel}
			U_{nv}	U_{el}	U_{tors}	
1	effff	$B_3RR_{12}R_1R_{21}R_3$	-33.3	-3.1	5.5	0
2	efeff	$B_3RB_{31}R_3R_{21}R_3$	-29.9	-2.9	4.9	3.1
3	effee	$B_3RR_{21}B_3B_{32}B_3$	-28.7	0.5	3.3	5.9
4	efeee	$B_3RB_{21}B_3B_{32}B_3$	-25.4	-3.3	3.9	6.2
5	eeeff	$B_2BB_{21}R_1R_{21}R_1$	-27.5	1.7	4.0	9.2
6	eefff	$B_1BR_{23}R_3R_{32}R_3$	-26.8	1.6	3.6	9.2
7	eeeee	$B_1BB_{21}B_1B_{32}B_3$	-24.7	2.3	3.6	12.1
8	eefee	$B_1BR_{32}B_1B_{32}B_3$	-25.6	2.3	4.9	12.5

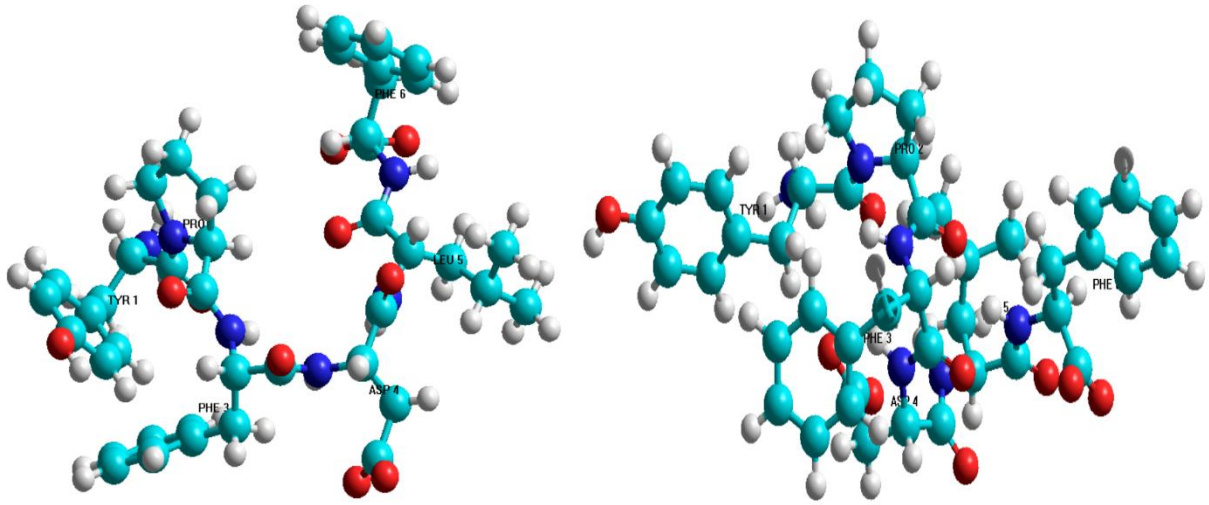
Table 2. Low-energy conformations of the [Phe3]-rubiscolin-6 molecule, the contributions of non-bonded, electrostatic, and torsional interaction energies to them, and their total and relative energies

№	Shapes	Conformation	Energy contribution			U_{tot}	U_{rel}
			U_{nv}	U_{el}	U_{tors}		
1	effff	$B_3RR_3R_1R_{21}R_3$	-27.7	-2.1	7.6	-22.2	6.3
2	efeff	$B_3RB_3R_3R_{21}R_3$	-30.4	-3.1	5.0	-28.5	0
3	effee	$B_3RR_3B_3B_{32}B_3$	-25.1	0.7	2.2	-22.1	6.4

4	efeee	$B_3RB_1B_3B_{32}B_3$	-25.2	-2.8	4.1	-23.8	4.7
5	eeeff	$B_2BB_3R_1R_{21}R_1$	-25.6	1.8	2.2	-21.0	7.5
6	eefff	$B_1BR_3R_3R_{32}R_3$	-28.8	1.7	4.3	-22.9	5.6
7	eeeee	$B_1BB_2B_1B_{32}B_3$	-27.3	2.6	4.0	-20.8	7.7
8	eefee	$B_1BR_3B_1B_{32}B_3$	-22.5	2.2	3.6	-16.7	11.8



a) $B_3RB_3R_3R_{21}R_3$ (U_{nis}= 0 kkal/mol) b) $B_3RB_1B_3B_{32}B_3$ (U_{nis}= 4.7 kkal/mol)



c) $B_1BR_3R_3R_{32}R_3$ (U_{nis}= 5.6 kkal/mol) d) $B_3RR_3R_1R_{21}R_3$ (U_{nis}= 6.3 kkal/mol)

Figure 1. Spatial arrangement of amino acid residues in the low-energy conformations of the [Phe3]-rubiscolin-6 molecule

References:

1. Agayeva L.N., Akhmedov N.A, Imanova G.T. Spatial structure of the rubiscolin-6 molecule. Journal of Micromechanics and Molecular Physics. v.11, N.1. 2026, p. 9-12.

2. Sobolczyk M., Renata Perlikowska. Rubiskoliny – biologiczne aktywne peptydy pochodzenia roślinnego. Postepy Hig Med Dosw (online), 2020; 74: 94–102.

TURLI TAGLIKLARDA (SHISHA VA Si) O‘STIRILGAN ZnO:Al YUPQA PLYONKALARINING TUZILMAVIY VA OPTOELEKTRON XOSSALARI

Xidirov Dadaxon Sherqo‘ziyevich

Farg‘ona davlat texnika universiteti, assistent
Email: dadaxonx89@gmail.com

Annotatsiya:*Maqolada alyuminiy bilan legirlangan rux oksidi (ZnO:Al yoki AZO) yupqa plyonkalarining tuzilmaviy, morfologik, optik, fotolyuminessensiya va elektr xossalarining fizik asoslari tahlil qilinadi. AZO plyonkalarida Al^{3+} ionlarining Zn^{2+} tugunlarini egallashi qo‘shimcha donor markazlar va erkin elektronlar hosil bo‘lishiga olib kelishi, natijada n-tip elektr o‘tkazuvchanlikning ortishi ko‘rsatiladi. Al konsentratsiyasining ortishi bilan elektr o‘tkazuvchanlikning yaxshilanishi bilan bir qatorda panjara deformatsiyasi, defektlar va ikkilamchi fazalar paydo bo‘lishi mumkin. Shuningdek, shisha va Si tagliklarning plyonka kristallanishi, sirt morfologiyasi, ichki kuchlanishlari hamda zaryad tashish jarayonlariga ta’siri ko‘rib chiqiladi. Optik xossalarning Burshteyn–Moss effekti, defekt holatlari va fotolyuminessensiya jarayonlari bilan bog‘liqligi yoritiladi. AZO plyonkalarining xossalarini kompleks boshqarishda Al legirlash darajasi, taglik turi, plyonka qalinligi va texnologik sharoitlarning optimal nisbatini tanlash muhimligi asoslanadi.*

Kalit so‘zlar: *ZnO:Al, AZO, yupqa plyonka, shisha taglik, Si taglik, kristall tuzilish, defektlar, fotolyuminessensiya, Burshteyn–Moss effekti, elektr o‘tkazuvchanlik.*

Shaffof va elektr o‘tkazuvchi oksid materiallar zamonaviy optoelektronika, quyosh energetikasi, sensorlar, displeylar va yarimo‘tkazgichli qurilmalarda muhim funksional materiallar hisoblanadi. Shu materiallar ichida ZnO asosidagi yupqa plyonkalar keng taqiqlangan zona, ko‘rinuvchi sohada yuqori shaffoflik, ultrabinafsha sohada kuchli yutilish va nisbatan yuqori kimyoviy barqarorlik bilan ajralib turadi. Alyuminiy bilan legirlangan ZnO (AZO) indiy-qalay oksidiga muqobil, iqtisodiy va texnologik jihatdan istiqbolli materiallardan biridir. Dissertatsiya materiallarida AZO plyonkalarining xossalari Al legirlash darajasi bilan bir qatorda taglik materiali bilan ham kuchli bog‘liqligi ta’kidlangan.

ZnO xona haroratida taxminan 3,3–3,37 eV taqiqlangan zona kengligiga ega bo‘lgan to‘g‘ri o‘tishli yarimo‘tkazgich bo‘lib, geksagonal vyursit kristall tuzilishga ega. Kristall panjarada Zn va O atomlari tetraedrik koordinatsiyada joylashadi. Yupqa plyonkalarda kristallanishning ustun yo‘nalishi XRD spektrlarida, xususan (002) va (101) reflekslar orqali baholanishi mumkin. AZO da Al^{3+} ionlarining Zn^{2+} ionlari o‘rnini egallashi donor markazlar hosil qiladi. Donor sathlari o‘tkazuvchanlik zonasiga yaqin joylashgani sababli kichik issiqlik energiyasida ionlashib, erkin elektronlar hosil qiladi. Natijada n-tip elektr o‘tkazuvchanlik kuchayadi.

Elektr o‘tkazuvchanlik munosabat bilan ifodalanadi:

$$\sigma = ne\mu \qquad (1)$$

bu yerda n — erkin elektronlar konsentratsiyasi, e — elektron zaryadi, μ — zaryad tashuvchilar harakatchanligi. Demak, yuqori o‘tkazuvchanlik faqat donorlar sonining ko‘payishiga emas, balki kristall sifatiga, donalararo chegaralarga va defektlar zichligiga ham bog‘liq. Optimal Al konsentratsiyasida elektronlar konsentratsiyasi ortadi va qarshilik kamayadi. Haddan tashqari legirlashda esa panjara buzilishi, Al yoki Al_2O_3 klasterlari va qo‘shimcha sochilish markazlari paydo bo‘lib, harakatchanlik va o‘tkazuvchanlik pasayishi mumkin.

Taglik materiali plyonka hosil bo‘lishining dastlabki bosqichlaridan boshlab uning kristall tuzilishi va sirt morfologiyasini belgilaydi. Shisha amorf tuzilishga ega bo‘lgani sababli AZO atomlari turli lokal energetik markazlarda yadrolanadi va ko‘p yo‘nalishli polikristall qatlam shakllanishi mumkin. Plyonka

sifati cho‘ktirish harorati, bug‘ oqimi, sirt tozaligi va termik ishlovga bog‘liq. Shishaning ko‘rinuvchi sohada shaffofligi optik o‘tkazuvchanlik va yutilish spektrlarini o‘lchash uchun qulay sharoit yaratadi.

Si taglik kristall tuzilishga ega bo‘lib, uning sirtidagi kristallografik tartib ayrim sharoitlarda plyonkaning yo‘naltirilgan o‘sishi va zichroq tuzilishiga yordam berishi mumkin. Shu bilan birga, AZO va Si panjara parametrlarining mos kelmasligi, issiqlik kengayish koeffitsiyentlari farqi hamda tabiiy SiO_2 qatlamining mavjudligi interfeysda kuchlanish va nuqsonlar hosil bo‘lishiga olib kelishi mumkin. Shuning uchun Si taglikdagi AZO plyonkalarining elektr transporti va interfeys xossalarini XRD, SEM/AFM, Raman, elektr hamda fotoelektrik usullar bilan kompleks baholash maqsadga muvofiq.

AZO plyonkalarida Al legirlash erkin elektronlar konsentratsiyasini oshiradi. O‘tkazuvchanlik zonasining quyi holatlari elektronlar bilan band bo‘lganda optik o‘tishlar yuqoriroq energiyali holatlarga siljiydi. Bu Burshteyn–Moss effekti bo‘lib, optik taqiqlangan zona kengligining ortishi va yutilish chegarasining qisqa to‘lqinli tomonga siljishi bilan namoyon bo‘ladi. Yuqori legirlashda elektron-elektron va elektron-kirishma o‘zaro ta’sirlari tufayli zona torayishi ham kuzatilishi mumkin; shu sababli tajribaviy optik zona kengligi bir nechta omillarning umumiy natijasidir.

Yuqori sifatli va zich AZO plyonkalarda ko‘rinuvchi sohada optik o‘tkazuvchanlik yuqori bo‘lishi mumkin. Sirt g‘adir-budurligi, mikrog‘ovakliklar va ko‘p sonli donalararo chegaralar yorug‘lik sochilishini kuchaytiradi. Fotolyuminessensiya spektrlarida ultrabinafsha emissiya asosan eksiton yoki zona chetiga yaqin rekombinatsiya bilan, ko‘rinuvchi sohadagi emissiyalar esa kislorod vakansiyalari, rux vakansiyalari, interstitsial atomlar va Al bilan bog‘liq defekt komplekslari bilan izohlanadi. Demak, PL spektri AZO plyonkasining kristall sifati va defekt holatlarini baholashning muhim diagnostik vositasidir.

Yaxshi kristallangan AZO plyonkalarda elektronlar asosan o‘tkazuvchanlik zonasi bo‘ylab delokallashgan holda harakatlanadi. Polikristall plyonkalarda esa kristall donlararo chegaralar potensial to‘siqlarni hosil qilib, elektronlarning bir donadan ikkinchisiga o‘tishini qiyinlashtiradi. Harorat ortishi bilan termik aktivlashgan tashish kuchayishi mumkin. Defektlar ko‘p yoki kristallanish darajasi past bo‘lgan plyonkalarda elektronlarning lokal sathlar orasida sakrab o‘tishi ham muhim mexanizmga aylanadi. Juda yupqa qatlamlarda uzluksiz o‘tkazuvchi yo‘llarning to‘liq shakllanmasligi perkolyatsion transportni yuzaga keltirishi mumkin.

AZO elektr parametrlarini aniqlashda to‘rt zondli usul va Xoll o‘lchovlari muhimdir. Xoll o‘lchovlari zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi, harakatchanligi va o‘tkazuvchanlik turini aniqlash imkonini beradi. Manfiy Xoll koeffitsiyenti asosiy tashuvchilar elektronlar ekanini, ya’ni n-tip o‘tkazuvchanlikni tasdiqlaydi. Elektr xossalarni optimal darajaga keltirish uchun Al konsentratsiyasi, kislorod bosimi, taglik harorati, cho‘ktirish tezligi, plyonka qalinligi va termik ishlov rejimlari o‘zaro bog‘liq holda tanlanishi kerak.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Klingshirn C. ZnO: Material, physics and applications. ChemPhysChem, 2007, Vol. 8, No. 6, pp. 782–803.

2. Özgür Ü., Alivov Ya.I., Liu C. et al. A comprehensive review of ZnO materials and devices. Journal of Applied Physics, 2005, Vol. 98, 041301.

3. Ellmer K. Past achievements and future challenges in the development of optically transparent electrodes. Nature Photonics, 2012, Vol. 6, pp. 809–817.

4. Minami T. Transparent conducting oxide semiconductors for transparent electrodes. Semiconductor Science and Technology, 2005, Vol. 20, R35–R44.

5. Look D.C. Recent advances in ZnO materials and devices. Materials Science and Engineering B, 2001, Vol. 80, pp. 383–387.

6. Bhosle V., Tiwari A.N., Narayan J. Enhanced optoelectronic properties of aluminum-doped ZnO thin films. Journal of Applied Physics, 2007, Vol. 102, 033501.

SHISHA VA KREMNIY TAGLIKLARDA O‘STIRILGAN ZnO:Al YUPQA PLYONKALARINING STRUKTURAVIY, OPTIK VA ELEKTR XOSSALARI: “TAGLIK–DEFEKT–TRANSPORT” BOG‘LIQLIGI

Xidirov Dadaxon Sherqo‘ziyevich

Farg‘ona davlat texnika universiteti, assistent

Email: dadaxonx89@gmail.com

Annotatsiya: Mazkur maqolada shisha va kremniy (Si) tagliklarda o‘stiriladigan alyumin bilan legirlangan rux oksidi *(ZnO:Al, AZO) yupqa plyonkalarining strukturaviy, optik, fotolyuminessensiya va elektr xossalari yagona fizik yondashuv asosida tahlil qilinadi. Tahlilning markazida “taglik turi–kristall tuzilish–defektlar–optik xossalar–zaryad transporti” zanjiri turadi. ZnO ning geksagonal vyursit tuzilishi, Al^{3+} ionlarining Zn^{2+} tugunlarini egallashi, donor sathlari, Burshteyn–Moss effekti, kristall donlararo potensial to‘siqlar va defektlar orqali rekombinatsiya jarayonlari izohlanadi. Shisha va Si tagliklarning amorf/kristall tabiati hamda interfeys xususiyatlari plyonkaning teksturasi, ichki zo‘riqishi, morfologiyasi va elektron transportiga turlicha ta’sir qilishi ko‘rsatiladi. AZO uchun yuqori optik shaffoflik bilan past solishtirma qarshilikni bir vaqtda ta’minlashda Al konsentratsiyasi, plyonka qalinligi, taglik harorati, kislorod muhiti va termik ishlovning o‘zaro bog‘liqligi muhimligi asoslanadi.*

Kalit so‘zlar: *ZnO:Al, AZO, yupqa plyonka, shisha taglik, Si taglik, vyursit, donor sathlari, Burshteyn–Moss effekti, fotolyuminessensiya, elektr o‘tkazuvchanlik, XRD, Xoll effekti.*

Shaffof o‘tkazuvchi oksidlar optoelektronika, quyosh energetikasi, sensorlar va displeylar uchun muhim funksional materiallardir. AZO indiy-qalay oksidiga nisbatan arzonroq va amaliy jihatdan istiqbolli muqobil sifatida qaraladi. ZnO xona haroratida taxminan 3,3–3,37 eV keng taqiqlangan zonali, geksagonal vyursit tuzilishga ega yarimo‘tkazgich bo‘lib, ko‘rinuvchi sohada yuqori shaffoflik va UB sohada kuchli yutilishni namoyon qiladi. Al bilan legirlash elektron konsentratsiyasini oshirib, elektr qarshilikni kamaytirishi mumkin. Maqolaning maqsadi — shisha va Si tagliklarda AZO plyonkalarining xossalarini shakllantiruvchi asosiy fizik mexanizmlarni tizimlashtirish va strukturaviy parametrlar bilan optik hamda elektr javob o‘rtasidagi bog‘lanishni ko‘rsatishdir.

ZnO geksagonal vyursit panjarasida Zn va O atomlari tetraedrik koordinatsiyada joylashadi. AZO hosil bo‘lishida Al^{3+} ionlari ko‘pincha Zn^{2+} tugunlarini almashtiradi. Valentlikdagi farq donor xarakterli qo‘shimcha elektronlarning paydo bo‘lishiga olib keladi. Biroq Al miqdorining ortishi panjara deformatsiyasi, ionlangan kirishmalar bilan sochilish, donalararo chegaralar va ikkilamchi fazalar ehtimolini oshirishi mumkin.

$$\sigma = n\, e\, \mu \qquad (1)$$

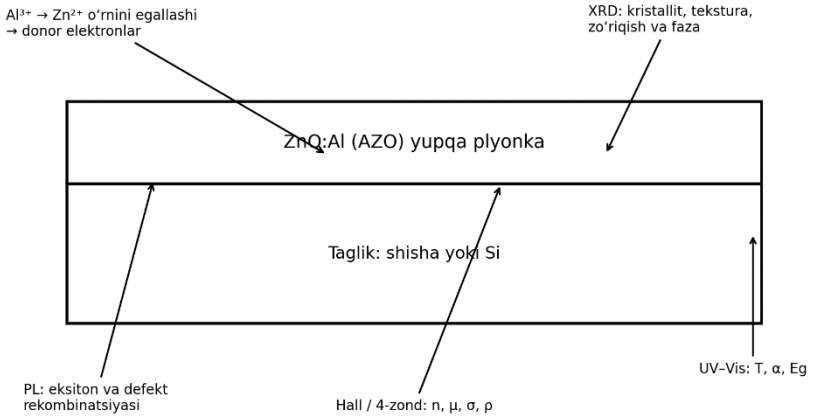
Bu yerda σ — elektr o‘tkazuvchanlik, n — erkin elektronlar konsentratsiyasi, e — elektron zaryadi, μ — zaryad tashuvchilar harakatchanligi. Demak, legirlashning foydali ta’siri faqat n ni oshirish bilan emas, μ ning saqlanishi bilan birgalikda baholanishi kerak.

$$\rho = 1/\sigma = 1/(n\, e\, \mu) \qquad (2)$$

XRD orqali kristall faza, tekstura va kristallit o‘lchamini baholash mumkin. Kristallitning taxminiy o‘lchami Sherrer munosabati bilan ifodalanadi:

$$D = K\lambda/(\beta \cos\theta) \qquad (3)$$

Bu yerda D — kristallit o‘lchami, K — shakl koeffitsiyenti, λ — rentgen nurlanish to‘lqin uzunligi, β — difraksiya maksimumining kengligi, θ — Bragg burchagi. Ushbu parametrlar taglik turi va texnologik sharoitlarning kristallanishga ta’sirini solishtirish uchun muhimdir.



1-rasm. AZO plyonkasida “taglik–tuzilish–defekt–optik/elektr javob” bog‘liqligini kompleks tadqiq etish sxemasi.

Shisha amorf taglik bo‘lgani uchun AZO atomlari sirtning lokal energetik qulay markazlarida yadrolanadi va turli yo‘nalishli polikristall tuzilma shakllanishi mumkin. Sirt energiyasi, tozalik, cho‘ktirish harorati va zarrachalarning sirt diffuziyasi kristall donlar o‘lchami hamda g‘adir-budurligini belgilaydi. Shishaning asosiy afzalligi — ko‘rinuvchi sohada shaffofligi; shu sababli UV–Vis o‘lchovlarida plyonkaning optik javobini bevosita kuzatish qulay.

Si kristall taglik bo‘lib, plyonka o‘sishining boshlang‘ich bosqichlari, interfeys bog‘lanishi va teksturasiga ta’sir qilishi mumkin. Shu bilan birga, panjara parametrlari va issiqlik kengayish koeffitsiyentlaridagi farq, shuningdek tabiiy SiO_2 qatlami interfeys kuchlanishlari va nuqsonlar paydo bo‘lishiga sabab bo‘lishi mumkin. Shuning uchun bir xil cho‘ktirish sharoitida shisha va Si da olingan AZO plyonkalari aynan bir xil strukturaviy va elektr parametrlarni berishi shart emas.

Ilmiy jihatdan bu ikki taglikni parallel taqqoslash “taglik ta’siri”ni Al legirlash ta’siridan ajratish imkonini beradi. Bunda XRD, SEM/AFM va EDX strukturaviy-morfologik bahoni, UV–Vis va PL optik/rekombinatsion bahoni, to‘rt-zond va Xoll o‘lchovlari esa transport parametrlarini ta’minlaydi.

AZO ning optik yutilishi va taqiqlangan zona kengligini Tauts yondashuvi orqali baholash mumkin. To‘g‘ri o‘tishli yarimo‘tkazgich uchun quyidagi munosabat qo‘llanadi:

$$(\alpha h\nu)^2 = A(h\nu - E_g) \qquad (4)$$

Bu yerda α — yutilish koeffitsiyenti, hν — foton energiyasi, A — proporsionallik koeffitsiyenti, E_g — optik taqiqlangan zona kengligi. Al konsentratsiyasi oshganda o‘tkazuvchanlik zonasining quyi sathlari elektronlar bilan to‘lishi mumkin. Natijada optik o‘tishlar yuqoriroq energiyali holatlarga siljib, E_g ning optik qiymati ortadi.

$$\Delta E_{MB} \approx (\hbar^2/2m_r)(3\pi^2 n)^{(2/3)} \qquad (5)$$

Bu Burshteyn–Moss siljishining soddalashtirilgan ko‘rinishi bo‘lib, m_r — elektron-kovakning effektiv keltirilgan massasi. Yuqori legirlashda esa elektron–elektron va elektron–kirishma o‘zaro ta’sirlari zona torayishiga ham hissa qo‘shishi mumkin. Shu sababli tajribada kuzatiladigan E_g o‘zgarishi birgina legirlash konsentratsiyasi bilan emas, balki defektlar, kristallanish va qalinlik bilan birgalikda talqin qilinishi lozim.

PL spektri AZO plyonkasidagi rekombinatsiya markazlarini aniqlashning sezgir usullaridan biridir. UB sohadagi nurlanish zona chetiga yaqin yoki eksiton rekombinatsiyasi bilan, ko‘rinuvchi sohadagi keng emissiya esa kislorod vakansiyalari, rux vakansiyalari, interstitsial atomlar va Al bilan bog‘liq defekt komplekslari bilan bog‘lanadi. Yuqori sifatli va yaxshi kristallangan plyonkalarda UB emissiyaning

kuchayishi kutiladi, defektlar ortganda esa noradiatsion rekombinatsiya kuchayib, PL intensivligi kamayishi mumkin.

Shisha va Si tagliklaridagi PL farqlarini faqat Al konsentratsiyasi bilan izohlash yetarli emas. Interfeysdagi kuchlanishlar, sirt morfologiyasi va defekt komplekslari rekombinatsiya kanallarini o‘zgartirishi mumkin. Shu sababli PL natijalari XRD va elektr o‘lchovlari bilan birgalikda talqin qilinsa, fizik mexanizm ancha ishonchli aniqlanadi.

AZO plyonkasida transport mexanizmi kristall donlarning sifati va defektlar zichligiga bog‘liq. Yaxshi kristallangan plyonkada zona bo‘yicha o‘tkazuvchanlik ustun bo‘lishi mumkin. Polikristall qatlamlarda esa donalararo potensial to‘siqlar elektronlarning bir donadan ikkinchisiga o‘tishini cheklaydi. Termik faollashgan holat uchun umumiy ifoda quyidagicha yoziladi:

$\sigma = \sigma_0 \exp(-E_b/kT)$ (6)

Bu yerda E_b — donalararo potensial to‘siq, k — Bolsman doimiysi, T — absolyut harorat. Defektlarga boy yoki past kristallanishli qatlamlarda lokal holatlar orasidagi sakrab o‘tish transporti ham namoyon bo‘lishi mumkin.

$R_H = 1/(ne)$, $\mu = \sigma/(ne)$ (7)

Xoll koeffitsiyentining manfiyligi n-tip o‘tkazuvchanlikni ko‘rsatadi. Demak, AZO optimallashtirilganda asosiy mezon faqat minimal ρ emas, balki n, μ, optik o‘tkazuvchanlik, PL sifati va strukturaviy mukammallikning birgalikdagi muvozanatidir. Juda kam Al n ni yetarlicha oshirmasligi mumkin; ortiqcha Al esa sochilish va ikkilamchi fazalar sabab μ ni pasaytirishi mumkin. Xuddi shuningdek, juda yupqa qatlamlarda uzluksiz o‘tkazuvchan yo‘llar to‘liq shakllanmasligi, juda qalin qatlamlarda esa ichki kuchlanish va nuqsonlar ortishi ehtimoli mavjud.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Klingshirn C. ZnO: Material, physics and applications. Physica Status Solidi (b), 244, 3027–3073, 2007.
2. Look D.C. Recent advances in ZnO materials and devices. Materials Science and Engineering: B, 80, 383–387, 2001.
3. Ellmer K. Past achievements and future challenges in the development of optically transparent electrodes. Nature Photonics, 6, 809–817, 2012.
4. Minami T. Transparent conducting oxide semiconductors for transparent electrodes. Semiconductor Science and Technology, 20, S35–S44, 2005.
5. Moss T.S. The interpretation of the properties of indium antimonide. Proceedings of the Physical Society B, 67, 775–782, 1954.
6. Burstein E. Anomalous optical absorption limit in InSb. Physical Review, 93, 632–633, 1954.
7. Cullity B.D., Stock S.R. Elements of X-Ray Diffraction. 3rd ed. Prentice Hall, 2001.

РАМАН-СПЕКТРЫ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Б. Куйлиев, Т.Муродов, А.Худойбердиев, Б.Муродов

Каршинский государственный университет, e-mail: bahromq@rambler.ru

В обширной и важной области исследований, посвященных изучению строения и некоторых структурных особенностей молекул или установлению молекулярного состава вещества, весьма большое место занимают исследования спектров комбинационного рассеяния света различных веществ.

Современные химия и физика центральной проблемой, которых является установление реальной структуры многоатомных молекул, находит прочную опору в молекулярной спектроскопии, в

частности, в результатах, получаемых по методу комбинационного рассеяния света (КРС, спектры Рамана).

Хорошо известно, что определение молекулярного состава природного газа (ПГ) и близких к нему по составу газовых смесей настоящей время является одной из основных задач, стоящих перед газовыми компаниями. Это обусловлено тем, что состав ПГ может существенно различаться в зависимости от месторождения, в частности, доля метана в ПГ может колебаться в диапазоне от 99,2 % до 63,7 % для различных месторождений [1].

Предприятия, занимающиеся добычей, транспортировкой и переработкой ПГ нуждаются в приборах газового контроля. В настоящее время на этих предприятиях для определения компонентного состава ПГ, его влажности, плотности и калорийности, как правило, используются газовые хроматографы. Основные недостатки этих приборов – последовательное (неодновременное) измерение различных компонентов ПГ, продолжительное время проведения анализа, а также трудности детектирования некоторых компонентов. Этих недостатков лишены масс-спектрометры, которые также используются для анализа ПГ. Однако приборы этого типа требуют высококвалифицированного обслуживания, имеют высокую стоимость и трудности В определении изомерного состава молекул ПГ, что ограничивает их практическое применение. Известен способ анализа, основанный на лазерной абсорбционной спектроскопии [2].

В последнее время возник интерес к разработке методов, основанных на использовании спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС) [3, 4].

Необходимой предпосылкой и качественного и количественного анализа является знание спектров индивидуальных соединений. Для качественного анализа наиболее существенно определение частот внутримолекулярных колебаний, которым соответствуют определенные линии комбинационного рассеяния. Совокупность этих частот является важным аналитическим признаком, позволяющим идентифицировать молекулы рассеивающего вещества. Для количественного анализа необходимо знание интенсивностей линий. Зная интенсивность какой-либо линии в спектре чистого вещества и интенсивность той же линии в смеси, можно найти содержание в смеси компонента, которому принадлежит данная линия. Интенсивности линий являются важным аналитическим признаком также и при качественном анализе, в тех случаях, когда имеется сомнение в принадлежности некоторой линии тому или другому веществу.

Сконструирована специальная кювета-термостат, для исследования спектров комбинационного рассеяния газов и жидкостей при повышенных давлениях и в широком интервале температур (80÷360 К). Создано специальная спектральная установка. Она состоит из спектрометра созданного на основе серийного монохроматора автоматизированной ДФС-52, модернизированной для целей проводимых экспериментов. В качестве источника возбуждения использовался аргоновый лазер ЛГН-503 с длиной волны излучения 488,0 нм, мощностью излучения 1 Вт и твердотельный лазер YAG: Nd^{+3} ($\lambda = 532$ нм).

Экспериментально получен обзорный спектр природного газа в области 500-3500 $см^{-1}$, комбинационных частот. Наиболее интенсивный спектр комбинационного рассеяния наблюдается в области комбинационных частот 2500-3300 $см^{-1}$, где располагается система колебательных полос $(\nu_1(A_1),\ \nu_3(F_2),\ 2\nu_2(A_1),\ (\nu_2+\nu_4)(F_1+F_2),\ 2\nu_4(A_1))$, метана, имеющих сложную вращательную структуру.

Впервые в области изменения плотности 4 ÷ 380 Амага и в интервале температур 140 ÷ 360 К была изучена полоса ν_1 высокосимметричного метана и их смесей с аргоном и криптоном в газовой фазе. Определены полуширины полос ν_1 и коэффициент их уширения и определены

закономерности изменения полуширины и коэффициента уширения с изменением плотности и температуры вещества.

Экспериментально установленный для всех изученных систем факт особенности температурного поведения коэффициента уширения полосы ν_1: с увеличением температуры от 140 К до некоторого T_{min} этот коэффициент сначала уменьшается, а затем начинает возрастать. Причем T_{min} зависит от природы буферного газа и активной молекулы.

Спектры слабых полос тяжелых углеводородов на фоне очень интенсивных полос метана почти не выделяется. Поэтому целесообразно вести исследования более низкочастотной стороны спектра комбинационного рассеяния, в которой расположены колебательные полосы С-С связей углеводородных компонентов ПГ.

Литература

1. Громов А.В., Гузанов Н.Е., Хачикян Л.А. и др. Эксплуатационнику магистральных трубопроводов: Справочное пособие // -М.: Недра, 1987. 176 с.

2. Антонов В.С., Беков Г.И., Большов М.А. и др. Известен способ анализа, основанный на лазерной абсорбционной спектроскопии // Лазерная аналитическая спектроскопия. М.: Наука, 1986. -318 с.

3. Бажанов Ю.В., Власов В.И., Вовк С.М., Кондратов С.В., Мартыненко Б.Г., Позняк В.Н., Ракович Н.С., Третьяков А.В. Количественный анализ газовых сред методом спектроскопии комбинационного рассеяния света // Аналитика и контроль, №3-4, 1998. С.65-74

4. Buldakov M.A., Korolkov V.A., Matrosov I.I., Petrov D.V., and Tikhomirov A.A. Analyzing natural gas by spontaneous Raman scattering spectroscopy //J. Opt. Technol. 80 (7), July 2013. PP.426-430

NIKEL BILAN LEGIRLANGAN N-TIPDAGI G‘OVAKLI KREMNIYNI XOSSALARIGA ANODLASH VAQTINING TA’SIRI

[1]Abdugafur Mamadalimov, [2]Nilufar Khakimova, [3]Dilshod Khazratov*, [4]Mokhida Ismatova [5]Durdona Azimova, [6]Nursulton Qushboqov

[1]Fizika-matematika fanlari doktori, professor, O’zRFA akademigi

O‘zMU huzuridagi yarimo‘tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy-tadqiqot instituti

[2]O‘zMU huzuridagi yarimo‘tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy-tadqiqot instituti

Kondensirlangan muhitlar fizikasi laboratoriyasi katta ilmiy xodimi, PhD

[3]O‘zMU huzuridagi yarimo‘tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy-tadqiqot instituti tayanch doktoranti

[4]O‘zMU huzuridagi yarimo‘tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy-tadqiqot instituti Stajyor-tadqiqotchisi

[5]O‘zbekiston Milliy universiteti magistranti

[6]O‘zMU huzuridagi yarimo‘tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy-tadqiqot instituti

Kondensirlangan muhitlar fizikasi laboratoriyasi laboranti

G‘ovakli kremniy — oddiy, tekis yuzali kremniy plastinkasining elektrokimyoviy ishlov berish orqali g‘ovaklashtirilgan, ya'ni uning ichida milliardlab nanometr o‘lchamdagi mitti teshikchalar hosil qilingan zamonaviy nanostrukturalangan yarimo‘tkazgich materialdir. Ushbu material birinchi marta 1956-yilda AQShdagi Bell Labs laboratoriyasida er-xotin metallurglar Arthur va Ingeborg Uhlir tomonidan kremniy plastinkalarini sirtiy silliqlash bo‘yicha tajribalar o‘tkazilayotganda tasodifan kashf etilgan [1,2]. Dastlab bu g‘ovakli qatlam keraksiz nojo‘ya mahsulot sifatida qaralgan bo‘lsa-da, 1990-yilda fiziklarning kashfiyotlari — g‘ovakli kremniyning xona haroratida kuchli fotolyuminessemsiya, ya’ni yorug‘lik taratish xususiyatini ko‘rsatishi ushbu materialga bo‘lgan ilg‘or ilmiy va amaliy qiziqishni keskin oshirib yubordi [3].

Bugungi kunda g‘ovakli kremniy o‘zining ulkan ichki sirt maydoni hamda moslashtiruvchan optik va elektr xususiyatlari sababli zamonaviy nanotexnologiyalarning eng istiqbolli ob’ektlaridan biriga aylandi [4]. So‘nggi yillardagi tadqiqotlarda ushbu material yangi avlod litiy-ionli akkumulyator anodlarida quvvat sig‘imini oshirishda, atrof-muhit va tibbiyot diagnostikasi uchun o‘ta sezgir gaz hamda biosensorlar yaratishda, quyosh elementlarida, shuningdek, uni o‘tish metallari bilan modifikatsiyalash orqali yangi funksional optoelektronik qurilmalar ishlab chiqishda keng qo‘llanilmoqda [5,6].

Ushbu ishda n-tipli g‘ovakli kremniy namunalarini elektrokimyoviy o‘yish usuli orqali olish, unga o‘tish metali (nikel) bilan ishlov berish hamda hosil bo‘lgan nanostrukturalarning mikrostrukturasi va zaryad tashuvchilar transporti tadqiq etildi.

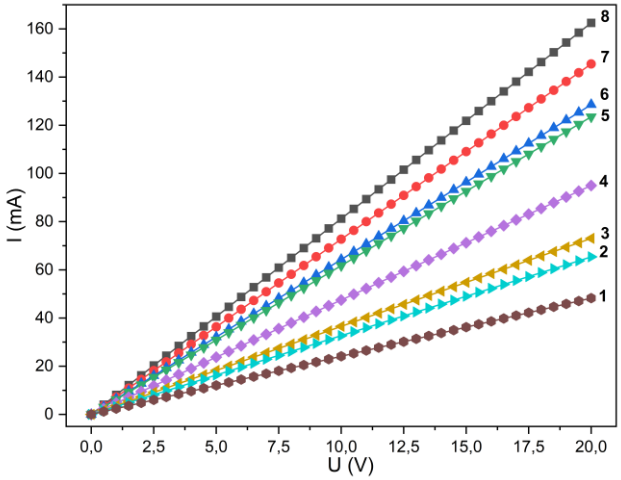
Tadqiqotda solishtirma elektr qarshiligi ρ = 100 Ω·cm bo‘lgan n - tipli monokristall kremniy plastinalaridan foydalanilib, bir xil geometrik va fizik ko‘rsatkichga ega 8 ta namuna tayyorlandi. Sirt nuqsonlarini yo‘qotish va g‘ovak qatlamning bir jinsliligini ta’minlash uchun plastinalar M8 mikrokorund kukuni bilan mexanik silliqlandi, etanol va HF eritmasida tozalab yuvildi hamda quritildi.

G‘ovakli kremniy qatlamlari ftoroplast yacheykada HF: C_2H_5OH = 1:1 elektrolit muhitida, U = 25 V o‘zgarmas kuchlanish ostida elektrokimyoviy anodlash usuli bilan olindi. Anodlash vaqtining (t = 0.5 ÷ 4.0) soat ta’sirini o‘rganish uchun 8 ta namuna mos ravishda 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5 va 4.0 soat davomida ishlov berildi. Jarayonda quyidagi reaksiya bo‘yicha Si sirtining lokal erishi va g‘ovaklar shakllanishi sodir bo‘ldi:

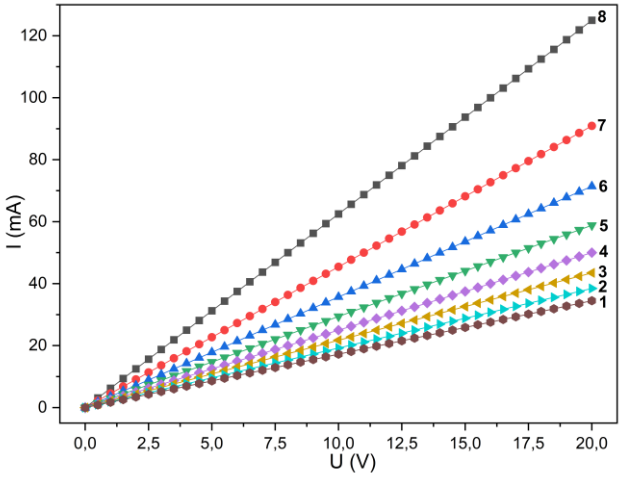
$$Si+6HF \rightarrow H_2SiF_6+H_2+2h^{+}+2e-$$

Namunalarning elektrofizik xossalarini yaxshilash va metall–yarim o‘tkazgich o‘tishini shakllantirish maqsadida VUP-4 qurilmasida 10^{-5} Pa Ni qatlami cho‘ktirildi. So‘ngra 10^{-5} Pa vakuumli kvars ampulalarda T = 400 **°C** haroratda t = 4 soat davomida termik diffuziya o‘tkazilib, nikel silitsidi ($NiSi_x$) fazasi shakllantirildi. O‘lchovlar uchun g‘ovakli sirt hamda orqa tomonga T ≈ 220 °C haroratda In-Sn 50/50 evtektik qotishmasidan omik kontaktlar qo‘yildi.

Tajribada toza va Ni bilan legirlangan g‘ovakli kremniy namunalarining (1× 0.5× 0.2 sm^3, dastlabki monokristall n-Si solishtirma qarshiligi $\rho = 100\ \Omega \cdot sm$) , volt-amper xarakteristikalari (I–V) 1 va 2-rasmlarda keltirilgan. Barcha tajriba namunalari uchun ko’rilayotgan kuchlanish diapazonida (0 − 20V) chiziqli bog‘liqlik kuzatildi.



1-rasm. Ni bilan legirlangan g‘ovakli kremniy namunalarining I-V xarakteristikasi T=300 K haroratdagi 1-namuna 4 soat, 2-namuna 3.5soat, 3-namuna 3 soat, 4-namuna 2.5soat 5-namuna 2 soat, 6-namuna 1.5soat 7-namuna 1 soat, 8-namuna 0.5soat elektroliz qilingan.



2-rasm. Legirlanmagan g‘ovakli kremniy namunasining I-V xarakteristikasi T=300 K haroratdagi 1-namuna 4 soat, 2-namuna 3.5soat, 3-namuna 3 soat, 4-namuna 2.5soat 5-namuna 2 soat, 6-namuna 1.5soat 7-namuna 1 soat, 8-namuna 0.5soat elektroliz qilingan.

Anodlash vaqtining t = 0.5 soat (8-namuna) dan t = 4.0 soat (1-namuna) gacha ortishi bilan o‘tkazuvchanlikning monoton ravishda pasayishi kuzatiladi. Xususan, 20 V kuchlanishda toza g’ovakli kremniy namunasi uchun maksimal tok qiymati 8-namunada I_{max} = 125 mA ni tashkil etgan bo'lsa, 1-namunada bu ko‘rsatkich I_{max} = 35 mA gacha keskin tushib ketdi. Bu o‘zgarishlar quyidagi fundamental nanostruktura va zaryad tashish mexanizmlari bilan bog‘liq. Anodli elektrokimyoviy o‘yish vaqtining ortishi matritsadagi g‘ovaklik darajasining kritik o‘tish chegarasiga yaqinlashishiga olib keladi. Nikel metall ionslarining g‘ovakli kremniy matritsasiga elektrokimyoviy kiritilishi barcha namunalarda zaryad tashish samaradorligini sezilarli darajada oshirdi. Masalan, 8-namuna uchun maksimum tok 125 mA dan 160 mA ga, 1-namuna uchun esa 35 mA dan 50 mAga yetdi.

Nikelning (Ni) g‘ovakli kremniy karkasiga o‘tishi hamda sirtiy legirlanishini tasdiqlash uchun energodispersion rentgen spektroskopiyasi (EDX) va elementlar bo‘ylab fazoviy taqsimot (mapping) tahlillari o‘tkazildi. Termik diffuziya va sirtiy erkin nikel qatlamini kislotali ishlov berish orqali yo‘qotgandan so‘ng olingan EDX spektri va elementlar ulushi 1-jadvalda keltirilgan.

1-Jadval

Element	*Massa ulushi (%)*	*Atom ulushi (%)*
Si	*65.02*	*51.05*
C	*24.98*	*44.52*
O	*7.89*	*3.66*
Ni	*2.11*	*0.77*
Jami	*100.00*	*100.00*

Xulosa. Ushbu tadqiqotda n-tipli monokristall kremniy bazasida elektrokimyoviy anodlash hamda nikel (Ni) bilan termik legirlash usullari orqali ularning xossalari kompleks o‘rganildi. Anodlash vaqtining (t = 0.5 ÷ 4.0) ortishi g‘ovaklar chuqurligi hamda sirt morfologiyasining monoton o‘sishini ta’minladi, tok

zichligining 14.3 mA/sm^2 dan 12.9 mA/sm^2 gacha pasayishi esa g'ovak karkasining barqaror shakllanganini ko'rsatdi. Yuqori vakuum ortamida (10^{-5} Pa) Ni qatlamini cho'ktirish va 400 **°C** haroratda 4 soat davomida termik diffuziya qilish natijasida sirtda barqaror nikel silitsidi ($NiSi_x$) fazasi hosil qilindi. Buning hisobiga Ni bilan modifikatsiyalangan g'ovakli kremniy strukturasida potensial barer ko'rsatkichlari va elektrofizik parametrlar sezilarli darajada yaxshilandi. Olingan Ni va Si geterotuzilmalari yuqori sezgirlikka ega gaz datchiklari, fotoo'zgartirgichlar va mikroelektronika elementlarini yaratishda samarali qo'llanilishi mumkin.

Adabiyotlar

1. Mynbaeva MG. Early Attainments of Porous Silicon Carbide Technology: a Bibliographic Digest. Reviews on Advanced Materials and Technologies. 2021 Jan 1;3(2):27–38. Available from: http://doi.org/10.17586/2687-0568-2021-3-2-27-38
2. Lugo JE, Ocampo M, Doti R, Faubert J. Porous Silicon Sensors - from Single Layers to Multilayer Structures. In: InTech eBooks. 2011. Available from: https://doi.org/10.5772/16499
3. Kuntyi O, Zozulya G, Shepida M. Porous silicon formation by electrochemical etching. Advances in Materials Science and Engineering. 2022 May 27; 2022:1–15. Available from: https://doi.org/10.1155/2022/1482877
4. Marsh G. Porous silicon a useful imperfection. Materials Today. 2002 Jan 1;5(1):36–41. Available from: https://doi.org/10.1016/s1369-7021(02)05141-6
5. Esmailzadeh, S., Shahrabi, T., Yaghoubinezhad, Y., & Darband, G. B. (2021). An analytical study on nucleation and growth mechanism of nanostructured Ni-Se coating by the chronoamperometry and pulse potential techniques. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, *881*, 114949. https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2020.114949
6. Phi, T., Nguyen, S. T., Van Hieu, N., Palomar-Pardavé, M., Morales-Gil, P., & Manh, T. L. (2022). Insights into Electronucleation and Electrodeposition of Nickel from a Non-aqueous Solvent Based on NiCl2·6H2O Dissolved in Ethylene Glycol. *Inorganic Chemistry*, *61*(12), 5099–5111. https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.2c00127

Ga_2Gd KRISTALLIGA TASHQI MAGNIT MAYDONNING TA'SIRI

Ibodova Maftunabonu Ilyoz qizi[1], *Fayziyev Shaxobiddin Shavkatovich*[1]

Buxoro davlat universiteti[1]

e-mail: m.ibodova2000@gmail.com, s.s.fayziev@buxdu.uz

Ushbu ishda Ga_2Gd metallik yaqin qo'shni birikmasining monokristalida tashqi magnit maydon ta'sirida domen strukturasining o'zgarishi magnitooptik (Faradey effektiga asoslangan) mikroskopiya usuli yordamida tadqiq etildi. Tashqi maydon induksiyasi B = 0 dan 8,41 mTl gacha bosqichma-bosqich oshirilgan va so'ngra dastlabki qiymatgacha kamaytirilgan holatlarda domen tasvirlari qayd etilib, ikki yo'nalish (ortib borish va qaytish) bo'yicha qiyosiy tahlil o'tkazildi. Labirintsimon domen strukturasining kritik maydon ($B_{kr} \approx$ 3,5-4,15 mTl) atrofida keskin qayta qurilishi va deyarli monodomen holatga o'tishi, shuningdek jarayonning kam gisterezisli, qaytariladigan tabiatga ega ekanligi aniqlandi. Bunday birikmalarda domen strukturasi va uning tashqi magnit maydon ta'sirida qayta qurilish dinamikasi materialning makroskopik magnit xossalarini - magnitlanish jarayoni, gisterezis, magnitooptik javob va domen devorlarining harakatchanligini - belgilovchi asosiy omil hisoblanadi.

Domen strukturasini bevosita vizual kuzatish orqali o’rganish nafaqat fundamental fizik jarayonlarni (domen devorlarining nukleatsiyasi, harakati, birlashishi) tushunish, balki bunday materiallarni spintronika, magnit sensorlar va magnitooptik xotira qurilmalarida qo’llash imkoniyatlarini baholash uchun ham muhim ahamiyatga ega. Ushbu tezisning maqsadi - Ga_2Gd kristalida tashqi magnit maydonning ortib borishi va keyinchalik kamayishi jarayonlarida domen strukturasining evolyutsiyasini eksperimental tasvirlar asosida tahlil qilish va olingan natijalarni magnit induksiya qiymatlari bilan bog’lab izohlashdan iborat. Domen strukturasini vizuallashtirish uchun magnitooptik Faradey effektiga asoslangan polarizatsion mikroskopiya usuli qo’llanildi.

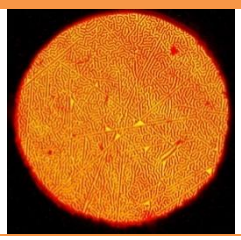
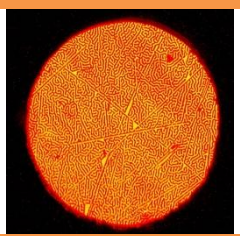
Eksperimental qurilma. Tajriba natijalarini visual kuzatish uchun sxema yig’ildi (1-rasm).

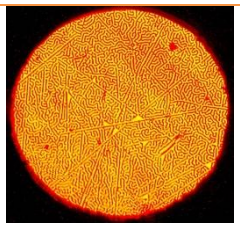
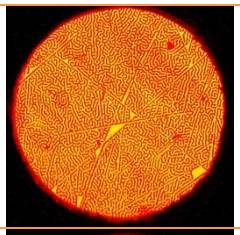
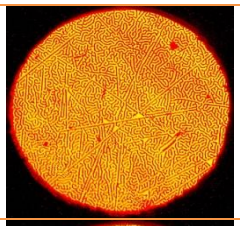
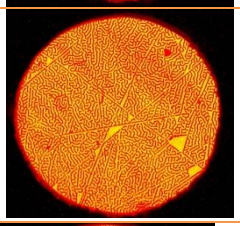
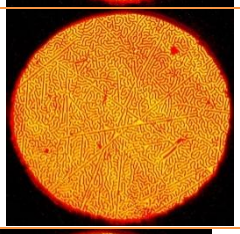
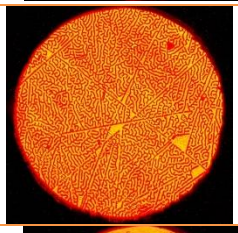
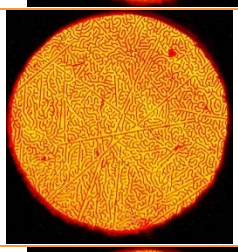
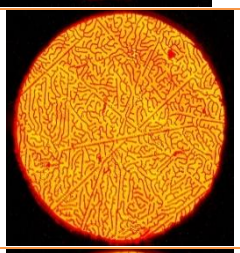
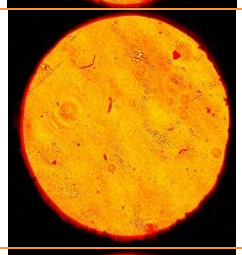
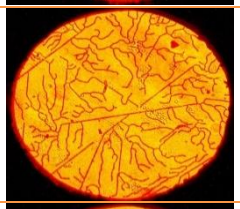
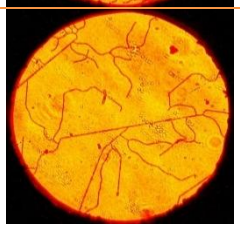
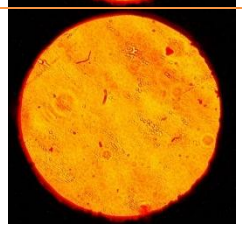
1-rasm. *Domen tuzilmalarni o’rganish qurilmasi.*

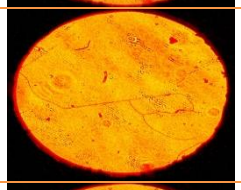
1 – yorug’lik manbai; 2 – polyarizator; 3 – Gelmgolts g’altaklari; 4 – namuna; 5 – analizator; 6–; 7-; 8 – tok manbai bloklari; 9 – Gelmgolts g’altaklari quvvatini boshqaruvchi elektron blok; 10 – «Metam P-1» mikroskopi; 11- DC1355 F050 kamera; 12 – noutbuk.

Namuna sifatida Ga_2Gd monokristali xona haroratida tekshirilib, unga perpendikulyar yo’nalishda o’zgaruvchan tashqi magnit maydon (B) ta’sir ettirildi. Maydon qiymati 0 dan 8,41 mTl gacha 15 ta bosqichda) ortib borish tartibida oshirilib, har bir bosqichda domen tasviri qayd etildi. So’ngra maydon xuddi shu qiymatlar bo’yicha teskari tartibda (qaytish jarayoni) kamaytirilib, mos tasvirlar qayta olindi. Natijada har bir B qiymati uchun ikkita - ortib borish va qaytish jarayonlariga tegishli - juft tasvir hosil qilindi (1-jadval).

1-jadval. GdGa2 kristalining domen strukturasi tashqi magnit maydon B ning ortib borishi va kamayishi jarayonlarida (Faradey effektiga asoslangan magnitooptik mikroskopiya, xona harorati).

B, mTl	O’sib borish	Qaytish
0		

	0.6		
5	**1.1**		
8	**1.6**		
9	**2.2**		
8	**2.8**		
	3.5		
5	**4.1**		

7	4.7		
	5.4		
8	5.9		
6	6.6		
6	7.2		
9	7.8		
1	8.4		

Natijalar va muhokama. 1-jadvalda keltirilgan tasvirlar tashqi maydon ta’sirida domen strukturasining izchil evolyutsiyasini namoyish etadi. B = 0 mTl holatida kristall yuzasida tipik labirintsimon domen strukturasi kuzatiladi: qarama-qarshi yo’nalishda magnitlangan ingichka, chigal shakldagi domenlar deyarli teng nisbatda taqsimlangan bo’lib, aniq ustuvor yo’nalish kuzatilmaydi. Maydon yanada oshirilganda (4,77–8,41 mTl) namuna deyarli to’liq monodomen (to’yingan) holatga yaqinlashadi, B = 8,41 mTl da esa domen konturlari amalda vizual kuzatilmaydi, bu texnik to’yinish sohasiga yaqinlashganidan dalolat beradi. Maydonning qaytish (kamayish) jarayoniga oid tasvirlar tahlili shuni ko’rsatadiki, Ga_2Gd kristalidagi domen dinamikasi asosan qaytar domen devor siljishi mexanizmi bilan boshqariladi, bu esa materialning "yumshoq" magnit xossalarga ega ekanligidan dalolat beradi.

Xulosa. Maydonning ortib borishi va qaytishi jarayonlarida olingan tasvirlarning yuqori darajada o’xshashligi jarayonning kam gisterezisli va qaytariladigan xarakterga ega ekanligini ko’rsatdi, bu esa kristallda domen devorlarining pinningga uchramasdan erkin harakatlanishidan dalolat beradi. Olingan natijalar Ga_2Gd kabi kamyob-yer intermetallik birikmalarining magnit-domen dinamikasini chuqurroq tushunish va ularni funksional magnit materiallar sifatida qo’llash istiqbollarini baholash uchun asos bo’lib xizmat qilishi mumkin.

Foydalangan adabiyotlar ro’yxati:

1. Ibodova M.I., Fayziyev Sh.Sh. Ga_2Gd materiallarining umumiy xususiyatlari // Buxoro davlat universiteti ilmiy axboroti. - 2026. - №5(134). - B. 138-142.
2. Fayziyev Sh.Sh., Ibodova M.I., Nasirova N.G., Sharipova M.Z. Ga-Gd qotishmasining fizik tahlili // Buxoro davlat universiteti ilmiy axboroti. - 2026. - №4(133). - B. 126-133.

LEGIRLANGAN SILIKAT SHISHASIDA SIZIB O‘TISH BUSAG‘ASIGA TEXNOLOGIK OMILLAR TA’SIRI

Tursunova Rushana Muhammadjon qizi

Soliyev Muxammadyor Vaxobjon o‘g‘li

O‘zbekiston Milliy Universiteti

muhammadyorsoliyev@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada B34E qo‘rg‘oshin-silikatli shisha matritsasi asosidagi RuO_2 bilan legirlangan kompozitsion rezistorlarning elektr xossalariga RuO_2 konsentratsiyasi va pishirish haroratining ta’siri o‘rganilgan. Elektr qarshilikning RuO_2 miqdoriga bog‘liqligi $1023 - 1173\,K$ harorat oralig‘ida eksperimental tahlil qilindi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, qarshilik RuO_2 konsentratsiyasi ortishi bilan monoton kamayadi va perkolyatsiya nazariyasiga xos kritik oraliqda ($p_c \approx 7 - 9\ massa\ \%$) eng keskin o‘zgarishga uchraydi, bu o‘tkazuvchan faza zarralari orasida uzluksiz klaster shakllanishi bilan bog‘liq. Pishirish haroratining oshishi esa shisha fazasining oqishi va zarrachalararo kontakt yaxshilanishi hisobiga qarshilikni qo‘shimcha ravishda 5 – 9 marta kamaytirishi aniqlandi. Olingan natijalar B34E – RuO_2 tizimidagi o‘tkazuvchanlik mexanizmini miqdoriy tavsiflash imkonini berib, qalin qatlamli rezistorlarning elektr parametrlarini texnologik boshqarish uchun amaliy asos yaratadi.

Kalit so‘zlar: B34E qo‘rg‘oshin-silikatli shisha, RuO_2, kompozitsion rezistor, perkolyatsiya bo‘sag‘asi, elektr o‘tkazuvchanlik, qalin qatlamli texnologiya.

Ushbu turdagi materiallarda elektr o'tkazuvchanlik mexanizmi perkolyatsiya nazariyasi doirasida talqin etiladi: o'tkazuvchan faza zarralari konsentratsiyasi ma'lum bir kritik chegaraga - perkolyatsiya bo‘sag‘asiga yetganda izolyator matritsasida uzluksiz o'tkazuvchan klaster vujudga keladi va tizimning elektr qarshiligi keskin pasayadi [1-4].

Matritsaviy material. Tajribalarda qo‘rg‘oshin-silikatli B34E shishasi kukuni ishlatildi. Shishaning tarkibi 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval.

Shisha tarkibiy qismlari

Namunalar	Shisha tarkibiy qismlari				Ligatura
	SiO_2	PbO	BaO	MgO	RuO_2 (mass%)
1	27	67	4	2	5
2	27	67	4	2	10
3	27	67	4	2	15
4	27	67	4	2	20

Pasta trafaret bosish (screen printing) usuli yordamida Al_2O_3 keramik taglik (96% toza) ustiga standart to'rtburchak ko'rinishida yupqa qatlam sifatida tatbiq etildi.

1-rasm. Legirlangan silikat shisha asosidagi qalin qatlamli resistor. 1-kontakt qatlam, 2-rezistiv qatlam va 3-keramik qatlam.

Namunalar oldin 423 K da quritildi, so'ngra konveyer pechida quyidagi haroratlarda 10 daqiqa davomida

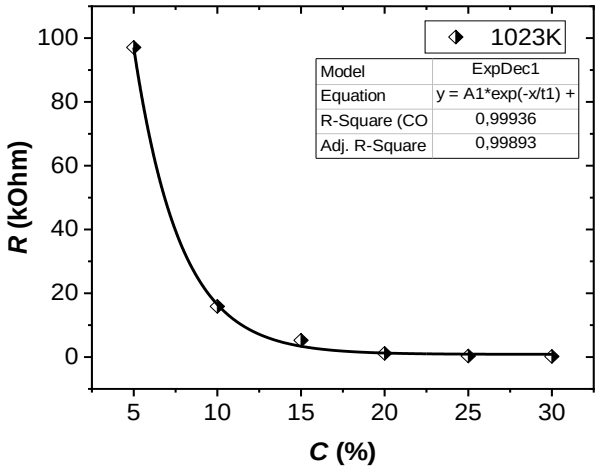
pishirildi: 1023 K, 1073 K, 1123 K va 1173 K.

Bunday kompozitsion tizimlarda RuO_2 konsentratsiyasi C ortishi bilan elektr qarshiligining R monoton kamayishi va to‘yinishi bir fazali eksponentsial kamayish (ExpDec1) modeli yordamida tavsiflanadi:

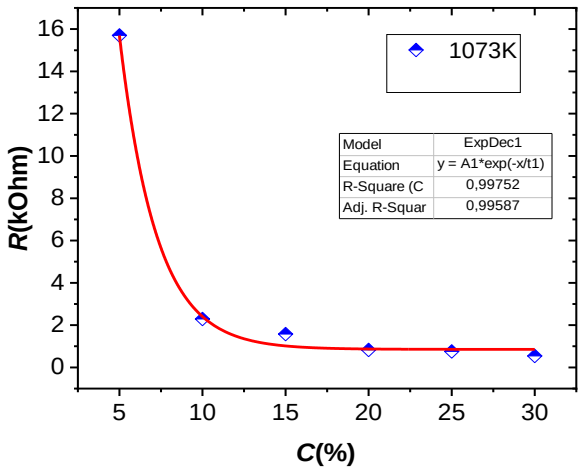
$$R(C) = A_1 \cdot e^{-\frac{C}{t_1}} + R_0$$

bu yerda:

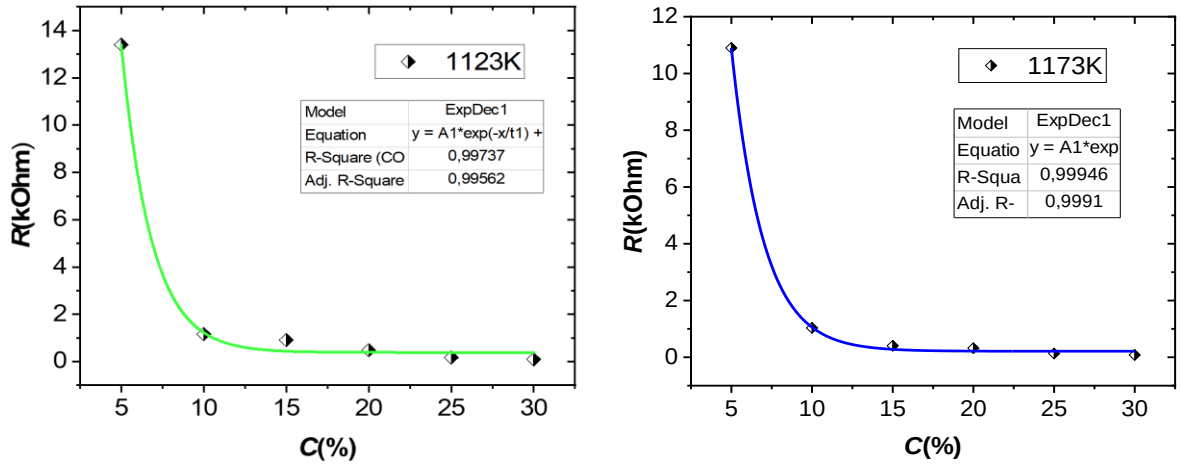
- $R(C)$ – rezistorning C konsentratsiyadagi elektr qarshiligi ($k\Omega$);
- R_0 – yuqori konsentratsiyalardagi to‘yinish qarshiligi ($k\Omega$);
- A_1 – pre-eksponentsial koeffitsiyent;
- t_1 – qarshilikning kamayish tezligini xarakterlovchi konsentratsion doimiy ($massa\ \%$) [2-5].



a)



b)



c) *d*)

2-rasm. Legirlangan silikat shishadan tayyorlangan rezistorlarda qarshilikning konsentratsiyaga bog‘liqligi. *a*) 1023K, *b*) 1073K, *c*) 1123K va *d*) 1173K

Eksponentsial model ma'lumotlariga ko‘ra, barcha haroratlarda approksimatsiya aniqligi juda yuqori ($R^2 > 0.997$) ekanligi ko‘rsatildi (2-rasm). Tizimda perkolyatsiya bo‘sag‘asi $p_c \approx 7 - 9\ massa\ \%$) qarshilikning eng keskin pasayishi ro‘y beradigan ($C = 5 - 10\%$) oraliqqa to‘g‘ri keladi.

Pishirish haroratining oshishi shisha fazasi qovushqoqligini kamaytirib, zarrachalararo kontakt yuzasini kengaytiradi (wetting) va qisman sinterlash orqali “bo‘yin” (neck) hosil qiladi – bu jarayonlar effektiv koordinatsion sonni oshiradi va shu tariqa **tunnel-perkolyatsiya bo‘sag‘asini** pastroq siljitishi mumkin [4, 5]. Shu sababli harorat ta'sirini faqat R_0 (to‘yinish qarshiligi) o‘zgarishi bilan emas, balki p_c ning haroratga bog‘liq siljishi sifatida ham talqin qilish maqsadga muvofiqdir.

Xulosa

Barcha pishirish haroratlarida RuO_2 konsentratsiyasining ortishi bilan rezistorlarning elektr qarshiligi monoton ravishda kamayib borishi kuzatildi. Grafik ma'lumotlari tahlili shuni ko‘rsatadiki, barcha haroratlarda 5 dan 10 massa % gacha bo‘lgan oraliqda qarshilikning eng keskin pasayishi kuzatiladi. Masalan, $1023\ K$ da $C = 5\%$ dan $C = 10\%$ ga o‘tganda qarshilik $\sim 100k\Omega$ dan $\sim 18k\Omega$ gacha, ya'ni taxminan 5–6 barobar kamaydi. Bir xil RuO_2 konsentratsiyasida pishirish haroratini $1023\ K$ dan $1173\ K$ gacha oshirish rezistorning elektr qarshiligini sezilarli darajada kamaytiradi. Masalan, $C = 5\%$ da $1023\ K$ da $R \approx 100k\Omega$ bo‘lsa, $1173\ K$ da $R \approx 11k\Omega$ ni tashkil etadi, ya'ni ~ 9 barobar pasayish kuzatiladi. Bu tendentsiya quyidagi mexanizmlar bilan izohlanadi:

- Shisha fazasining yaxshiroq oqishi (wetting): harorat oshishi bilan qo‘rg‘oshin-silikatli shisha qovushoqligi kamayib, RuO_2 zarrachalarini yanada zichroq o‘rab oladi va ular orasidagi kontakt yuzasi ortadi;
- Zarrachalararo diffuziya: yuqori haroratda RuO_2 zarrachalari orasidagi granitsa diffuziyasi tezlashib, o‘tkazuvchan klasternning ulanuvchanligi (connectivity) oshadi[6];
- Qisman sinterlash: $850 - 900°C$ harorat oralig‘ida zarrachalararo bo‘yin (neck) hosil bo‘lishi elektr o‘tkazuvchanlikni yanada yaxshilaydi [7].

Foydalanilgan adabiyotlar

1. **Efros A. L., Shklovskii B. I.** Critical behaviour of conductivity and dielectric constant of percolation systems // *Physica Status Solidi (b)*. – 1976. – Vol. 76, No. 2. – P. 475–485.

2. **Stauffer D., Aharony A.** Introduction to Percolation Theory. – 2nd ed. – London: Taylor & Francis, 1994. – 192 p.
3. **Pike G. E., Seager C. H.** Percolation modeling of powder mixtures: Application to thick-film resistors // *Journal of Applied Physics*. – 1977. – Vol. 48, No. 12. – P. 5152–5169.
4. **Vest R. W.** Material science of thick film technology // *American Ceramic Society Bulletin*. – 1986. – Vol. 65, No. 4. – P. 631–636.
5. **Kuznetsov A. A.** Study of electrical properties of lead-silicate glass matrices doped with conductive oxides // *Journal of Non-Crystalline Solids*. – 2021. – Vol. 553. – Art. no. 120510.
6. **Vest R.W.** Conduction Mechanisms in Thick Film Microcircuits // IEEE Transactions on Parts, Hybrids, and Packaging. – 1967. – Vol. PHP-3, No. 4. – P. 211–225.
7. **Chiang Y.M., Birnie D., Kingery W.D.** Physical Ceramics: Principles for Ceramic Science and Engineering. – Wiley, 1997. – 522 p.

^{60}Co NURLANTIRILGAN $Bi_{0,5}Sb_{1,5}Te_3$/PET YUPQA PARDALARIDA TUZILMAVIY O‘ZGARISHLAR VA ZEEBEK KOEFFITSIENTINING BARQARORLASHUV PLATOSI

Omonov B.U.[1], Maxmudov Sh.A.[2]

[1]Farg‘ona davlat universiteti, Farg‘ona

[2]O‘zR FA Yadro fizikasi instituti, Toshkent

$Bi_{0,5}Sb_{1,5}Te_3$ qotishmasi xona haroratida ishlaydigan p-tipli termoelektrik materiallar orasida eng yuqori samaradorlikni beradi. Uni egiluvchan polietilentereftalat taglikka o‘tqazish tana harorati bilan atrof-muhit orasidagi kichik gradientdan tok oladigan tanaga integratsiyalangan generatorlar va avtonom sensorlar uchun imkoniyat yaratadi.

Bunday elementlar ko‘pincha radiatsion fon sharoitida ishlaydi: past Yer orbitasidagi apparatlar, yadro qurilmalari yonidagi monitorlar, tibbiy nurlantirish xonalari. Shu bois yupqa parda tuzilishi va termoelektrik parametrlarining gamma nurlanishiga ta’sirini eksperimental aniqlash zarur.

Bi_2Te_3 nanokompozitlarida ^{60}Co nurlanishi kristallit o‘lchamini dozaga monoton bog‘lamasligi ko‘rsatilgan: oraliq dozalarda o‘lcham kichrayadi, 400 kGy ga kelib esa 34,70 nm dan 42,69 nm gacha o‘sib, Ostwald yetilishi belgilarini namoyon qiladi [1]. Tellur asosidagi yupqa pardalarda 10–40 kGy oralig‘ida nuqsonlarning qisman tiklanishi qayd etilgan [2]. PET taglikdagi $Bi_{0,5}Sb_{1,5}Te_3$ pardalari uchun esa tuzilmaviy o‘zgarishlar bilan termoelektrik ko‘rsatkichlari yagona o‘lchov seriyasida birgalikda tahlil qilinmagan, α ning ΔT bo‘yicha bog‘liqligi esa doza funksiyasi sifatida umuman qaralmagan. Mazkur ishda $1\cdot10^6$ dan $1\cdot10^7$ R gacha uch dozada bitta namuna difraktometrda, Raman spektrometrida, atom kuch mikroskopida va zondli elektrofizik yacheykada ketma-ket o‘lchandi.

Pardalar UVN-71 P2 qurilmasida tantal bug‘latgich orqali vakuumda termik bug‘latish yo‘li bilan olindi. Kamerada bosim $1\cdot10^{-5}$ mm sim. ust., qoldiq kislorod bosimi $2\cdot10^{-6}$ mm sim. ust. dan oshmagani uchun oksid fazalari hosil bo‘lmadi. Bug‘latish harorati 610 ± 10 °C, taglik harorati 90 °C, bug‘latgich bilan taglik orasidagi masofa 7 sm, shixta massasi 70 mg, jarayon davomiyligi 8 daqiqa qilib olindi; shu rejimda kondensatsiya tezligi 1,65 nm/s ni tashkil etdi. Rejim parametrlarining tanlanishi [3] da asoslangan. Interferometrik nazorat parda qalinligini 0,790 ± 0,008 mkm deb ko‘rsatdi, kontaktlar kumushdan tayyorlandi.

Gamma kvantlari kristallda vakansiya va Frenkel juftlarini hosil qiladi; zaryadlangan V_{Te} va V_{Sb} nuqsonlari keyingi elektr o‘zgarishlarining fizik asosini tashkil etadi. Nurlantirish O‘zR FA Yadro fizikasi

institutining ^{60}Co gamma-qurilmasida uch dozada bajarildi: $1\cdot10^6$ R (materialda 7,2 kGy), $5\cdot10^6$ R (36 kGy) va $1\cdot10^7$ R (72 kGy). Manba fotonlarining yarim susayish qalinligi 1,9 sm ga teng va parda qalinligidan to‘rt tartib katta, shu sababli yutilgan energiya qatlam hajmi bo‘ylab bir tekis taqsimlanadi. Namuna seriyasi [4] da tavsiflangan.

Kristall tuzilishi PANalytical Empyrean difraktometrida, tebranish xossalari Confotec MR350 spektrometrida (785 nm, 7,5 mVt, 5 s), sirt morfologiyasi SPM-9700 HT Plus mikroskopida 15×15 mkm^2 maydonda o‘rganildi. Solishtirma qarshilik ikki zondli usulda o‘lchandi: zondlar orasi 2 sm, tok yo‘li eni 0,15 sm, geometrik omil $1{,}688\cdot10^7$ m^{-1}, o‘lchov toki 1 mA. Zeebek koeffitsienti to‘rt zondli sxemada olindi; keltirilgan qiymat ΔT = 15–65 K oralig‘ida 5 K qadam bilan olingan o‘n bir nuqtaning o‘rtachasidir. Xoll o‘lchovi bajarilmagani sababli tashuvchilar konsentratsiyasi va harakatchanligi alohida aniqlanmadi, issiqlik o‘tkazuvchanlik o‘lchanmay 1,0 W/(m·K) qiymati qabul qilindi, Sherrer hisobida asbob kengayishi ayirilmagani uchun kristallit o‘lchamlari kam baholangan qiymat sifatida qaraladi.

Uchala dozada ham difraktogrammalarda trigonal simmetriyaga xos yagona kristallik faza saqlanib qoldi, oksidlanish reflekslari qayd etilmadi. Kristallit o‘lchami dozaga monoton bog‘lanmadi: 36 nm dan D_1 da 34,8 nm gacha qisqarib, D_2 da boshlang‘ich qiymatiga qaytdi va D_3 da 38,1 nm ga yetdi. Boshlang‘ich qiymatning xatoligi 6 nm bo‘lgani uchun bu siljishlar 0,4σ dan oshmaydi va tendensiya sifatida qayd etiladi. Mikrozo‘riqish D_1 da $11{,}9\cdot10^{-4}$ dan $8{,}0\cdot10^{-4}$ gacha kamaydi, D_2 da deyarli tiklandi, D_3 da $10{,}2\cdot10^{-4}$ ni tashkil etdi. Panjara parametrlari shu ketma-ketlikni takrorladi: *a* 0,4290 dan 0,4279 nm gacha tushib D_3 da 0,4282 nm ga qaytdi, c esa 3,042 dan 3,030 nm gacha kamayib 3,039 nm da barqarorlashdi; kumulativ siljish mos ravishda −0,19 va −0,10 % ni tashkil etib, 1,7σ dan oshmadi. Bazal tekstura nisbati boshqacha tendensiya namoyon etdi: 1,088 dan D_1 da 0,729 gacha tushib, D_3 ga kelib 1,512 ga ko‘tarildi, ya’ni boshlang‘ich holatdan 39 % yuqori chiqdi. Bu o‘zgarish xatolikdan aniq katta va gamma nurlanishi bazal orientatsiyani kuchaytirishini ko‘rsatadi. D_1 dozasida kristallit o‘lchami va mikrozo‘riqishning birga kamayishi Kompton ko‘chish nuqsonlarining kogerentlik uzunligini toraytirishi bilan bog‘liq, D_2 da ikkala kattalikning bir vaqtda tiklanishi esa nuqsonlar rekombinatsiyasi boshlanganini ko‘rsatadi. Nuqson zichligining doza bo‘yicha o‘zgarishi $dN/dD = \sigma_d - \alpha_{rec}\cdot N^2$ ko‘rinishidagi kinetikaga bo‘ysunadi: birinchi dozada hosil bo‘lish hadi ustun, keyingi dozalarda kvadratik rekombinatsiya hadi ustunlik qiladi.

Raman spektrlarida to‘rtala faol moda barcha dozalarda saqlandi. Kumulativ siljish qizil tomonga yo‘nalgan: A_{1g}^1 uchun 4,45, DAM uchun 4,30, E_g^2 uchun 3,20, A_{1g}^2 uchun 3,00 sm^{-1}. D_1 dan D_2 ga o‘tishda A_{1g}^1 modasi 1,47 sm^{-1} ga ko‘k tomonga qaytdi. Chiziq kengligi D_1 dozasida keskin ortdi: A_{1g}^1 uchun 12,87 dan 22,44 sm^{-1} gacha. E_g^2 modasi uchun chiziq kengligi 15,35 dan 18,69 sm^{-1} gacha ortib, D_2 da 16,53 sm^{-1} gacha torayib, D_3 da yana 18,24 sm^{-1} ga chiqdi. Shu qiymatlardan $\tau = 1/(2\pi c\Gamma)$ munosabati bo‘yicha hisoblangan fonon yashash vaqti 0,346 dan 0,284 ps gacha qisqarib, D_2 da 0,321 ps gacha tiklandi va D_3 da 0,291 ps ni tashkil etdi. D_2 dagi tiklanish rentgen tahlilida qayd etilgan mikrozo‘riqish tiklanishi bilan mos keladi, D_3 dagi qayta kengayish esa kristallitlar o‘sishida vujudga kelgan yangi chegara yuzalarida fonon sochilishining kuchayishi bilan izohlanadi. Modalar intensivligi ham dozaga sezgir chiqdi: A_{1g}^2 modasi D_1 da 3,1 marta kuchaydi, D_3 da boshlang‘ich qiymatdan 64,5 % yuqori bo‘ldi.

Sirt morfologiyasi D_1 dozasida chiziqli relyef ko‘rinishini olib tekislandi: o‘rtacha g‘adir-budurlik 15,008 nm dan 12,198 nm gacha kamaydi, ayni paytda eng baland nuqta 133,595 nm dan 194,021 nm gacha ko‘tarildi. D_2 da skanerlash maydonida o‘n beshtagacha konus shaklidagi ko‘tarilma paydo bo‘ldi. D_3 da ularning soni uch-to‘rttaga kamayib balandligi ortdi, g‘adir-budurlik 14,338 nm ni tashkil etdi. Dona o‘lchami 200–500 nm dan D_1 da 150–400, D_2 da 150–350 nm gacha maydalanib, D_3 da yana 200–500 nm ga qaytdi. Yirik donalarning maydalarini yutishi Ostwald yetilishining klassik belgisi bo‘lib, [1] dagi 400 kGy manzarasiga mos tushadi. PET taglikning o‘zi qo‘llanilgan dozalarda shishasimon o‘tish harorati va mexanik holatini saqladi, ya’ni egiluvchan konstruksiya butunligicha qoldi.

Gamma nurlanish dozasiga bog‘liq tuzilmaviy va elektrofizik parametrlar

Parametr (usul)	D_0	D_1	D_2	D_3	Kumulativ
⟨D⟩, nm (XRD)	36 ± 6	34,8	36,0	38,1	+5,8 %
ε, $\times 10^{-4}$ (XRD)	11,9	8,0	11,8	10,2	−14,3 %
$I_{(0015)}/I_{(015)}$ (XRD)	1,088	0,729	0,894	1,512	+39 %
E_g^2 FWHM, sm^{-1} (Raman)	15,35	18,69	16,53	18,24	+18,8 %
τ(E_g^2), ps (Raman)	0,346	0,284	0,321	0,291	−15,9 %
Ra, nm (AKM)	15,008	12,198	12,254	14,338	−4,5 %
d_dona, nm (AKM)	200–500	150–400	150–350	200–500	—
ρ, $\times 10^{-4}$ Ω·m	1,50	83,0	21,9	11,85	×7,9
ᾱ, mkV/K	137,4	144,7	149,3	160,7	+17,0 %
dα/dΔT, mkV/K^2	0,380	—	—	0 ± 0,034	10σ pasayish

Solishtirma qarshilik gamma nurlanishiga eng sezgir parametr bo‘lib chiqdi: D_1 dozasidayoq u $1{,}50\cdot10^{-4}$ dan $83{,}0\cdot10^{-4}$ Ω·m gacha, ya’ni 55,3 marta ko‘tarildi; keyingi dozalarda $21{,}9\cdot10^{-4}$ va $11{,}85\cdot10^{-4}$ Ω·m gacha pasayib, boshlang‘ich darajadan 14,6 va 7,9 marta yuqori qoldi. Elektr o‘tkazuvchanlik mos ravishda $6{,}67\cdot10^{3}$ dan $0{,}12\cdot10^{3}$ S/m gacha tushib, D_2 da $0{,}46\cdot10^{3}$, D_3 da $0{,}84\cdot10^{3}$ S/m gacha tiklandi. To‘liq qarshilik 2500 Ω dan 140000 Ω gacha o‘sib, so‘ngra 20000 Ω gacha kamaydi. Zeebek koeffitsienti qarshilikdan farqli o‘laroq barcha dozalarda monoton ortdi: 137,4 dan 144,7 ga, so‘ng 149,3 va 160,7 mkV/K gacha, kumulativ o‘sish 17,0 ± 0,3 % ni tashkil etdi. Nurlantirilmagan pardaning quvvat koeffitsienti $12{,}59\cdot10^{-5}$ $W\cdot m^{-1}\cdot K^{-2}$ ni tashkil etadi; nurlanish uni D_1 da $0{,}251\cdot10^{-5}$ gacha tushiradi, D_3 ga kelib esa $2{,}169\cdot10^{-5}$ gacha, ya’ni 8,64 marta tiklaydi, bunda asosiy hissa o‘tkazuvchanlikka tegishli. Shunga qaramay D_3 dagi qiymat boshlang‘ich darajaning atigi 17,2 % ini tashkil etadi. Issiqlik o‘tkazuvchanlik 1,0 W/(m·K) deb qabul qilinganda samaradorlik ko‘rsatkichi boshlang‘ich holatdagi 0,0378 dan D_3 da 0,0065 gacha kamayadi. Kompton elektroni panjara atomiga ko‘pi bilan 9–38 eV bera oladi, holbuki Bi, Sb va Te atomlarini o‘rnidan qo‘zg‘atish uchun 10–50 eV talab etiladi. Ikki oraliqning faqat quyi chekkasida kesishuvi ko‘chish nuqsonlari siyrak hosil bo‘lishini va yutilgan energiyaning asosiy qismi ionlashuvga ketishini anglatadi.

α(ΔT) egri chizig‘ining shakli doza ortishi bilan o‘zgardi. Nurlantirilmagan pardada u chiziqli o‘sadi, qiyaligi 0,380 ± 0,017 mkV/K^2. D_1 dozasida bog‘liqlik L shakliga keldi (15 K da 166 mkV/K maksimum, so‘ngra 135 mkV/K gacha pasayish), D_2 da esa M shaklini oldi: 20 K da 135 mkV/K minimum, 35 K da 158 mkV/K maksimum. D_2 dagi M-shakl akseptor vakansiyalari konsentratsiyasining optimal darajaga yaqinlashishi bilan izohlanadi: shunda Fermi sathidagi d ln σ/dE qiymati ortadi va donor hamda akseptor nuqsonlarining murakkab energetik taqsimoti α(ΔT) egri chizig‘ida bevosita aks etadi. D_3 dozasida 20–50 K oralig‘ida qiyalik 0 ± 0,034 mkV/K^2 ni berdi, ya’ni nolga statistik jihatdan teng chiqdi va boshlang‘ich qiymatdan 10σ ga uzoqlashdi; butun 15–65 K oralig‘i bo‘yicha qiyalik 0,06 mkV/K^2 atrofida qoldi, ya’ni olti barobar kichraydi. Mott munosabatiga ko‘ra Zeebek koeffitsienti Fermi sathidagi o‘tkazuvchanlikning energiya bo‘yicha logarifmik hosilasi bilan belgilanadi; qiyalikning yo‘qolishi shu sath yaqinidagi holatlar zichligi harorat oralig‘ida deyarli o‘zgarmasligini bildiradi va Fermi sathining mahkamlanishi bilan izohlanadi. Nuqson holatlari spektrining torayishiga kristallitlar o‘sishi hissa qo‘shishi mumkin, ammo o‘lcham o‘zgarishi xatolik doirasida yotgani uchun bu bog‘lanish sifat darajasida qoladi. Bi–Sb–Te tizimida valent zonaning ikkinchi zonachasi 0,08–0,1 eV chuqurlikda yotgani, uning holatlar zichligi asosiy zonachanikidan o‘n barobar katta bo‘lib, $(8–10)\cdot10^{19}$ sm^{-3} konsentratsiyada to‘lishi [5] hisobga olinsa, akseptor nuqsonlari konsentratsiyasining ortishi Fermi sathini shu zonacha sohasiga siljitib mahkamlagan bo‘lishi mumkin.

Gamma nurlanish $1\cdot10^6$ dan $1\cdot10^7$ R gacha bo‘lgan oraliqda ikki bosqichli manzara hosil qildi: birinchi dozada nuqsonlar to‘planib elektr xossalarni keskin buzadi, yuqori dozalarda qayta kristallanish va rekombinatsiya ustunlik qiladi. Eng katta dozada o‘rtacha Zeebek koeffitsienti 160,7 mkV/K ga yetdi va 20 K dan 50 K gacha bo‘lgan oraliqda uning harorat farqiga sezgirligi amalda yo‘qoldi; bu xossa o‘zgaruvchan gradient sharoitida ishlaydigan sensorlar uchun qulaylik yaratadi. Kristallit o‘lchamining shu dozada 5,8 % o‘sishi xatolik chegarasidan kichik bo‘lgani uchun tendensiya darajasida qoladi, biroq uni uchta mustaqil kuzatuv qo‘llab-quvvatlaydi: bazal teksturaning 39 % kuchayishi, E_g^2 modasi chiziq kengligining qayta ortishi va yirik donalar sonining kamayib balandligining oshishi. Doza $1\cdot10^6$ R dan oshmagan sohada qarshilikning dozaviy sezgirligi $|\Delta\rho/\rho_0|/D_1 = 54{,}33/10^6 = 5{,}43\cdot10^{-5}$ R^{-1} ni tashkil etdi, ammo ρ(D) monoton bo‘lmagani sababli bu ko‘rsatkich yuqori dozalarga tatbiq etilmaydi. Tuzilmaviy va elektrofizik ko‘rsatkichlarning burilish nuqtasi bitta dozaga — D_1 ga — to‘g‘ri keladi: shu dozada qarshilik maksimumga chiqadi, mikrozo‘riqish bilan g‘adir-budurlik esa minimumga tushadi. Kuzatilgan effektlarda kompensatsiya, energetik filtrlash va ikkinchi valent zonachaning ulushlarini ajratish Xoll o‘lchovlarini talab qiladi, issiqlik o‘tkazuvchanlikning bevosita o‘lchanishi esa samaradorlik baholarini aniqlashtiradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Shalaby M.S. et al. Structural, optical, and physical properties investigations of Bi_2Te_3 topological insulator nanocomposites exposure to ^{60}Co γ-rays // Materials Science and Engineering B. – 2021. – Vol. 271. – Art. 115246.

2. Rasmi T. et al. Impact of Gamma Irradiation on Thermoelectric Efficiency of Te-Based Thin Films // SSRN Preprint. – 2025. – Art. 5367473.

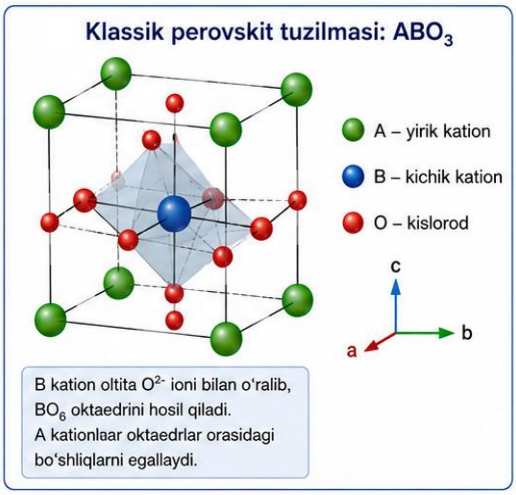
3. Omonov B.U., Maxmudov Sh.A. Optimization of a vacuum thermal evaporation system for the deposition of Bi–Sb–Te thin films // East European Journal of Physics. – 2026. – №1. – P. 302–307.

4. Onarqulov K.E., Omonov B.U. Divergent mechanisms of the effects of electron and gamma irradiation on the structural and thermoelectric properties of Bi_2Te_3–Sb_2Te_3 thin films // Journal of Problems of Evolution of Open Systems. – 2026. – №1(28). – P. 13–19.

5. Атакулов Ш.Б., Гафуров У.А., Казьмин С.А. Исследование структуры края валентной зоны в пленках теллурида висмута-сурьмы // Физика и техника полупроводников. – 1987. – Т. 21, вып. 3. – С. 557–559.

PEROVSKIT TIPIDAGI MIS OKSIDLARIDA YUQORI HARORATLI O‘TA O‘TKAZUVCHANLIKNING KASHF ETILISHI VA RIVOJLANISHI

A.A.Turayev
BuxDU “Fizika” kafedrasi professori, f.-m.f.f.d. (PhD), professor



1-rasm. ABO_3 klassik perovskit kristall panjarasi.

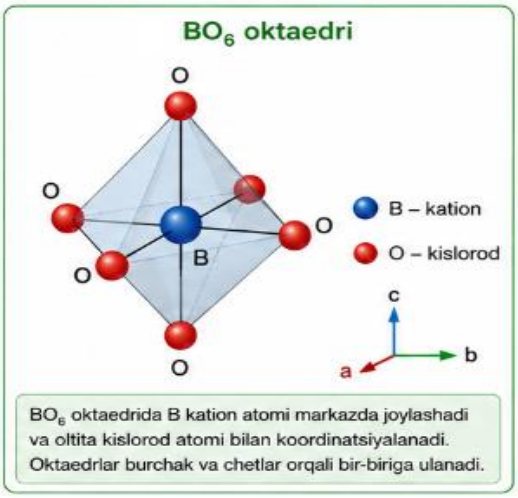
O‘ta o‘tkazuvchanlikda elektr qarshilikning nolga intilishi va magnit maydonni siqib chiqarish kabi makroskopik kvant hodisalari uzoq vaqt davomida asosan metall va intermetallik materiallarda kuzatilgan. 1980-yillar o‘rtalariga kelib yuqori kritik haroratni oshirish muammosi keskin dolzarb bo‘lib qolgandi. Bednorz va Müller yangi yondashuv sifatida o‘tish metallari oksidlarida kuchli elektron–panjara o‘zaro ta’siri, Jahn–Teller deformatsiyasi va aralash valentlikdan foydalanishni taklif etdilar. Mazkur tarixiy bosqichning muhim xususiyati shundaki, yuqori T_c ni izlash “mavjud rekordni biroz oshirish” masalasidan

“yangi material sinfini fizik mezonlar asosida izlash” masalasiga aylandi. Aynan shu yondashuv keyinchalik kupratlarning yuqori T_c li o‘ta o‘tkazuvchilar sifatida shakllanishiga olib keldi.

Perovskit-kristall tuzilishning muayyan turini ifodalovchi atama bo‘lib, klassik perovskit oksidlari-ning umumiy kimyoviy formulasi ABO_3 ko‘rinishida ifodalanadi. Bunda A-nisba-tan yirik kation, B esa kichikroq kation bo‘lib, u kislorod ionlari bilan koordinatsion bog‘lanish hosil qiladi. Perovskit strukturasida B kationlari oltita O^{2-} ioni bilan o‘ralgan holda BO_6 oktaedrlarini**,** A kationlari esa ushbu oktaedrlar orasidagi kristallografik bo‘shliqlarni egallaydi. Natijada uch o‘lchamli, nisbatan barqaror kristall panjara shakllanadi (1-rasm). Perovskit strukturasining muhim xususiyati shundaki, BO_6 oktaedrlari bir-biri bilan umumiy kislorod atomlari orqali bog‘lanib**,** fazoviy tarmoq hosil qiladi. A kationining o‘lchami, B-O bog‘ining uzunligi, oktaedrlarning burilish va deformatsiya darajasi kristall tuzilmaning barqarorligi hamda uning elektr, magnit va strukturaviy xususiyatlarini belgilashda muhim rol o‘ynaydi (2-rasm). Yuqori haroratli kuprat o‘ta o‘tkazgichlarning barchasi aynan oddiy ABO_3 perovskit strukturasi-ning bevosita nusxasi hisoblan-maydi. Ularning ko‘pchiligi perovskit strukturasiga asoslangan bo‘lsa-da, qatlamli yoki perovskit-simon murakkab kristall tuzilmalarga ega. Shu sababli ilmiy adabiyotlarda **“**perovskit tipidagi kupratlar**”** atamasi qo‘llanadi. Ushbu atama mazkur materiallarning kristall panjarasi perovskit strukturasining asosiy elementlari-xususan, BO_6 oktaedrlari va ularning qatlamli hosilalari bilan strukturaviy jihatdan bog‘liqligini anglatadi.

La_2CuO_4 birikmasida CuO_2 tekisliklari va La-O qatlamlari navbatma-navbat joylashgan murakkab qatlamli kristall struktura mavjud. Bunday tuzilishda CuO_2 qatlamlari materialning elektron va magnit xususiyatlarini belgilovchi asosiy strukturaviy birliklardan biri hisoblanadi. Cu ionlari kislorod ionlari bilan birgalikda deyarli kvadrat tekislik hosil qilib, CuO_2 tekisliklarini tashkil etadi.

Yana bir muhim kuprat-$YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (YBCO) bo‘lib, uning kristall tuzilishida CuO_2 tekisliklari**,** Cu-O zanjirlari va Y-Ba-O qatlamlari mavjud. Ayniqsa, CuO_2 tekisliklari materialdagi zaryad tashuvchilarning harakatlanishi va yuqori haroratli supero‘tkazuvchanlik hodisasining yuzaga kelishida muhim ahamiyatga ega. δ parametri kislorod yetishmovchiligi darajasini bildiradi va uning qiymati materialning zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi hamda fizik xususiyatlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Bednorz va Müller o‘tish metallari oksidlarida electron-panjara o‘zaro ta’sirini kuchaytirish orqali yuqori T_c ga erishish imkoniyatini ko‘rib chiqdilar. Jahn-Teller effekti lokal kristall deformatsiyani yuzaga keltirib, elektron holatlari va panjara tebranishlari o‘rtasidagi bog‘lanishga ta’sir qiladi. Aralash valentlik esa zaryad tashuvchilarni boshqarish imkonini beradi. 1988-yilgi Nobel ma’ruzasida aynan shu material tanlash strategiyasi batafsil muhokama qilingan. Bu yondashuv keyinchalik kupratlarning oddiy metall emas, kuchli elektron korrelyatsiyalarga ega tizim ekanini ko‘rsatuvchi tajribalar bilan yanada murakkablashdi. Shuning uchun yuqori T_c mexanizmini faqat an’anaviy BCS modelining zaif bog‘lanish chegarasi orqali izohlash masalasi ochiq ilmiy muammo bo‘lib qoldi.



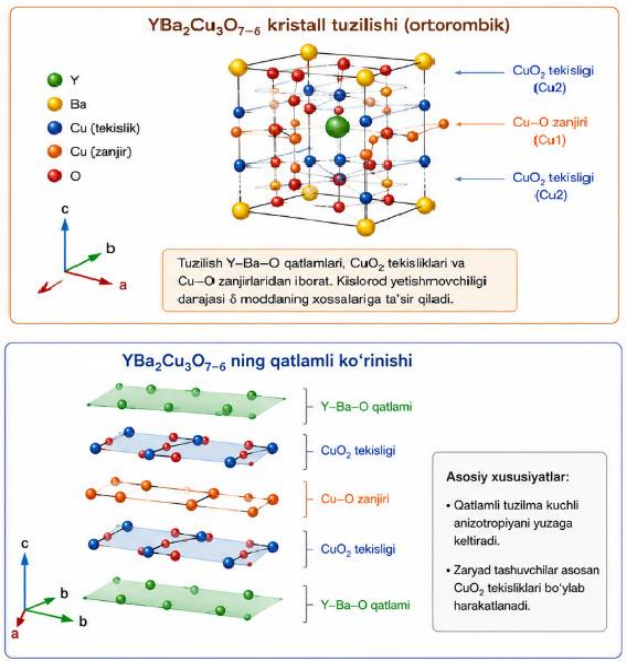
2-rasm. BO_6 oktaedrlari bir-biri biri bilan umumiy kislorod atomlari orqali bog'lanishi.

Bednorz va Müller 1986-yilda Ba-La-Cu-O tarkibli, kislorod tanqis Ba–La–Cu–O polikristall namunalarini tadqiq qildilar. x=1 va 0,75 hamda y>0 bo‘lgan, 900 °C dan past haroratlarda qaytaruvchi sharoitda tavlangan namunalar uch fazadan iborat bo‘lgan; ulardan biri perovskit-simon, aralash valentli mis birikmasi edi. Sovitishda qarshilik dastlab kamaygan, keyin lokalizatsiyaga mos ravishda taxminan logarifmik ortgan va nihoyat uch tartibgacha keskin kamaygan. Eng yuqori onset harorat taxminan 30 K diapazonida kuzatilgan. Muhim jihat -

yuqori tok zichligi bu o‘tishni pastroq haroratga siljitgan. Mualliflar buni perkolyatsion tabiat va ehtimol ikki o‘lchovli o‘ta o‘tkazuvchan fluktuatsiyalar bilan bog‘lagan. Shuning uchun dastlabki maqola natijani qat’iy “bulk superconductivity” deb emas, balki ehtiyotkorlik bilan “possible high Tc superconductivity” deb nomlagan. Ba–La–Cu–O tizimidagi natija uchta fizik bosqichni ajratish imkonini beradi: birinchidan, yuqori haroratda metallik transport; ikkinchidan, past haroratda lokalizatsiya tendensiyasi; uchinchidan, keskin qarshilik pasayishi. Qarshilikning uch tartibgacha kamayishi o‘ta o‘tkazuvchan sohalar paydo bo‘lganini ko‘rsatuvchi kuchli belgi bo‘lsa-da, polikristall va ko‘p fazali materiallarda bunday o‘tish makroskopik perkolyatsiya bilan ham bog‘liq bo‘lishi mumkin. Bu ishning fundamental yangiligi faqat 30 K qiymatida emas. Eng muhim jihat - mualliflar kristall kimyo, aralash valentlik va o‘tish metallari oksidlarining elektron xossalarini yuqori Tc izlashning yagona materialshunoslik strategiyasiga birlashtirdilar.

1987-yilda La–Ba–Cu–O tizimida 40 K dan yuqori kritik haroratga ega bo‘lgan o‘ta o‘tkazuvchanlik holatlarining mustaqil ravishda kuzatilishi yuqori haroratli o‘ta o‘tkazuvchanlik bo‘yicha dastlabki xulosalarni yanada mustahkamladi. Shu davrda $La_{2-x}Sr_xCuO$ tizimida ham bulk, ya’ni materialning butun hajmini qamrab oluvchi o‘ta o‘tkazuvchanlik taxminan 36 K atrofida qayd etildi. Turli tadqiqot guruhlari tomonidan olingan ushbu natijalar 1986-yilda Ba–La–Cu–O tizimida kuzatilgan yuqori haroratli o‘ta o‘tkazuvchanlik hodisasi tasodifiy yoki alohida tajriba natijasi emasligini ko‘rsatdi. Aksincha, bu kuzatuvlar mis oksidlariga asoslangan keramika materiallarining yangi va mustaqil o‘ta o‘tkazuvchan materiallar sinfini tashkil etishini ko‘rsatib, kritik haroratni an’anaviy o‘ta o‘tkazuvchilarga nisbatan sezilarli darajada oshirish mumkinligini tasdiqladi. Ayniqsa, $La_{2-x}Sr_xCuO$ tizimida Sr^{2+} ionlari orqali La^{3+} ionlarining qisman almashinishi zaryad tashuvchilar konsentratsiyasini boshqarish va o‘ta o‘tkazuvchanlikni yuzaga keltirish imkonini berishi bilan muhim ahamiyat kasb etdi. Natijada 1986–1987-yillardagi ushbu kashfiyotlar yuqori haroratli o‘ta o‘tkazuvchanlik sohasida yangi tadqiqot yo‘nalishining shakllanishiga va keyinchalik kritik harorat yanada yuqori bo‘lgan kuprat materiallarining kashf etilishiga kuchli turtki berdi.

Y-Ba-Cu-O tizimida 80-93 K oralig‘ida o‘tishning ham qarshilik, ham magnit o‘lchovlar orqali kuzatilgani-ni va Hc2(0) uchun 80-180 T oralig‘idagi bahoni berganini bildiradi. Bu natijaning ilmiy ahamiyati shundaki, yuqori Tc endi faqat qarshilikning keskin pasayishi bilan emas, mustaqil magnit dalillar bilan ham mustahkamlangan. 93 K atrofidagi Tc suyuq azotning qaynash harorati-dan yuqori bo‘lgani uchun materialning amaliy istiqbolini ham tubdan o‘zgartirdi.



4-rasm. YBCO kupratining kristall tuzilishi.

$YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ kabi kupratlarda δ parametri materialning elektron va strukturaviy xossalarini sezilarli o‘zgartiradi.

Kislorodning kamayishi Cu–O zanjirlaridagi tartibni, zaryad tashuvchilar konsentratsiyasini va natijada Tc ni o‘zgartiradi. Shu sababli yuqori Tc materiallarini sintez qilishda nominal kimyoviy formula bilan birga kislorod tarkibini ham nazorat qilish zarur. Adabiyotlar tahlilidan ko‘rinadiki, 1986-yildagi 30 K kuzatuv bir martalik anomaliya bo‘lib qolmadi. 1986-yildagi ≈30 K qiymatdan 1987-yildagi ≈93 K qiymatgacha bo‘lgan sakrash juda qisqa tarixiy davrda materiallar sinfi bo‘yicha katta T_c o‘sishini ko‘rsatadi. Ayniqsa Y-Ba-Cu-

O tizimining paydo bo‘lishi yuqori T_c tadqiqotlarini yangi bosqichga olib chiqdi. Perovskit tipidagi mis oksidlarida yuqori haroratli o‘ta o‘tkazuvchanlikning kashf etilishi XX asr kondensatlangan modda fizikasidagi eng muhim burilishlardan biri bo‘ldi. 1986-yilda Bednorz va Müller Ba-La-Cu-O tizimida ≈30 K onset kuzatib, o‘tish metallari oksidlarini yuqori Tc izlashning istiqbolli sinfi sifatida namoyon etdilar. 1987-yilda La-Sr-Cu-O va La-Ba-Cu-O tizimlaridagi natijalar, undan so‘ng Y-Ba-Cu-O tizimida 93 K gacha o‘tishning aniqlanishi yuqori Tc tadqiqotlarini keskin tezlashtirdi. Wu va hamkorlarining natijasida o‘ta o‘tkazuvchanlik ham elektr, ham magnit usullar bilan kuzatilgani ayniqsa muhim bo‘ldi. Ilmiy nuqtai nazardan, bu tarix shuni ko‘rsatadiki, yuqori Tc ni tushunish uchun faqat kimyoviy formula yetarli emas. CuO_2 qatlamlari, teshik konsentratsiyasi, kislorod stexiometriyasi, strukturaviy tartib va kuchli elektron korrelyatsiyalarni yagona tizim sifatida ko‘rib chiqish zarur. Shu sababli kupratlar bugungi kungacha yuqori Tc mexanizmini tushunishning asosiy materiallaridan biri bo‘lib qolmoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Bednorz, J. G., Müller, K. A. Possible High Tc Superconductivity in the Ba–La–Cu–O System. Zeitschrift für Physik B, 1986, 64, 189–193. DOI: 10.1007/BF01303701.
2. Bednorz, J. G., Müller, K. A. Perovskite-type oxides—The new approach to high-Tc superconductivity. Reviews of Modern Physics, 1988, 60, 585–600. DOI: 10.1103/RevModPhys.60.585.
3. Bednorz, J. G., Müller, K. A. Perovskite-Type Oxides—the New Approach to High-Tc Superconductivity. Nobel Lecture. Angewandte Chemie International Edition in English, 1988, 27, 735–748. DOI: 10.1002/anie.198807351.
4. Wu, M. K., Ashburn, J. R., Torng, C. J., Hor, P. H., Meng, R. L., Gao, L., Huang, Z. J., Wang, Y. Q., Chu, C. W. Superconductivity at 93 K in a new mixed-phase Y-Ba-Cu-O compound system at ambient pressure. Physical Review Letters, 1987, 58, 908–910. DOI: 10.1103/PhysRevLett.58.908.
5. Chu, C. W., Hor, P. H., Meng, R. L., Gao, L., Huang, Z. J., Wang, Y. Q. Evidence for superconductivity above 40 K in the La-Ba-Cu-O compound system. Physical Review Letters, 1987, 58, 405.
6. Cava, R. J., van Dover, R. B., Batlogg, B., Rietman, E. A. Bulk superconductivity at 36 K in La1.8Sr0.2CuO4. Physical Review Letters, 1987, 58, 408–410.

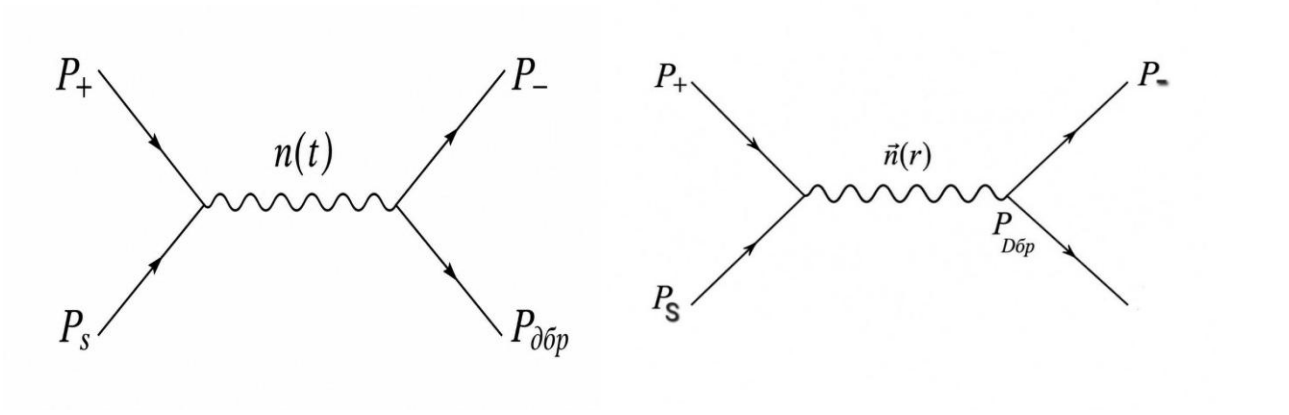
ОБРАЩЕНИЕ ВОЛНОВОГО ФРОНТА В АКУСТИКЕ И ВОЗМОЖНЫЕ ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ

Каршиев К., Рустамова М.

Обращение фазового фронта волновых процессов- одна из наиболее интересных и перспективных с точки зрения приложений физических явлений. Его обычно называют обращением волнового фронта (ОВФ). Возможность реализации нелинейных механизмов ОВФ звуковых волн открывает перспективы построения технологически простых и надежных зеркал с высокими коэффициентами отражения. Наиболее перспективными представляются четырех волновые процессы, обеспечивающие беспороговое ОВФ при значительных КПД и коэффициентах усиления.

Интерес к этому явлению связан с обширными потенциальными приложениями устройств, обращающих волновой фронт (ОВФ) звуковых пучков в гидролокации, технике, медицине и научном эксперименте, Основная особенность приложений явления ОВФ связана с возможностью автоматической фокусировки и концентрации акустической энергии в заданной точке пространства в том числе фокусировки через акустически неоднородную среду. Одно из основных особенностей явление ОВФ является, если падающая волна исходит из какой-либо точки пространства, то при

своем обратном распространении после падения на ОВФ зеркало, оно автоматически фокусируется в ту же самую точки [1,2]. В ниже укажем некоторые особенности явление ОВФ в акустике: Во-первых, при реализации голографического механизма различную природу могут иметь также левые и правые пары волн [1]. Например, если P_+ и P_s звуковые волны, то P_- и $P_{обр}$



а) б)

Рис.1. Диаграмма четырех волнового взаимодействия:
а) голографическая схема, б) параметрическая схема

могут быть световыми (рис.1). Во-вторых, частоты и волновые числа взаимодействующих полей в ряде случаев могут заметно отличаться по величине. Как и в обычной голографии, это приводит к изменению масштаба изображения, а также частоты обращенной волны. В-третьих, взаимодействие волн не обязательно должно происходить в трехмерной нелинейной среде. Сходные явления могут наблюдаться и при взаимодействии волн на поверхности, при этом в диаграммах четырех волновых взаимодействий параметр модуляции μ следует заменить параметром модуляции поверхности. В-четвертых, возможны определенные вырожденные режимы, когда вместо двух волн накачки P_+ и P_- можно использовать поле от одного источника. Обращение волнового фронта можно осуществить как в статическом, так и динамическом вариантах. Статическое ОВФ, реализуемое в голографии, позволяет формировать обращение пучка лишь после проявления голограммы, тогда как динамическое ОВФ происходит в реальном масштабе времени. Поэтому наиболее важные применения связываются именно с динамическим вариантом ОВФ. Из высказанные выше соображения следует провести ряд экспериментов в параметрическом в том числе голографическом механизмов ОВФ в акустике. На основе выше предложенных схемах ОВФ проведены ряд экспериментальных работ и получены интереснейшие экспериментальные результаты (например, [3,4]). Системы ОВФ могут применяется, в таких, например, автоматическое наведение звукового пучка может оказаться полезным для выявления шумящих элементов работающих механизмов, а также при проведении мероприятий по борьбе с городским и производственными шумами. В технологических процессах автоматическая фокусировка мощного ультразвука может усилить эффекты разрушения, лежащие в основе ультразвуковой обработки. Для этого можно предложить установку слабых микроизлучателей в тех местах, которые требуется разрушать при помощи адаптивной системы с использованием ОВФ. Наконец, системы ОВФ могут быть использованы для решения некоторых задач медицинской ультразвуковой акустики. В частности, речь может идти об автоматическом наведении ультразвукового пучка на почечные камни с целью их разрушения и т. д. Разумеется, приложения системы ОВФ в лабораторной, промышленной и медицинской практике

потребует немалых усилий и значительного объема научных исследований и технических разработок.

Таким образом, имеются широкие возможности использования ОВФ волн различной физической природы для решения научных и практических задач.

Литература

1.Ф.В.Бункин, Д.В.Власов. Вестник АН СССР . № 11, с.52-59, 1982.
2. Ф.В.Бункин, Д.В.Власов, Ю.А.Кравцов. Письма в ЖТФ, том.7 вып.6, с.325- 329, 1982.
3.Н.П.Андреева, Ф.В.Бункин, Д.В.Власов, К.Каршиев. Письма в ЖТФ, т.8, вып.2, с.104-108.
4. А.П.Брысев, Ф.В.Бункин, Д.В.Власов, Ю.Е.Казаров. Письма в ЖТФ, т.8, вып.9, с.546-549.

RODIY BILAN LEGIRLANGAN KREMNIYDA FAZAVIY HOLATNING SOVUTISH TEZLIGIGA BOG‘LIQLIGI

[1]Rafikov A.K., [2]*Boboyev A*.Y., [1]Mahmudov Sh.A., [1]Sulaymonov A.A., [2]Ibrohimov Z.

[1]O‘zR FA Yadro fizikasi institute,

[2]Andijon davlat universiteti,

email: rafikov@inp.uz

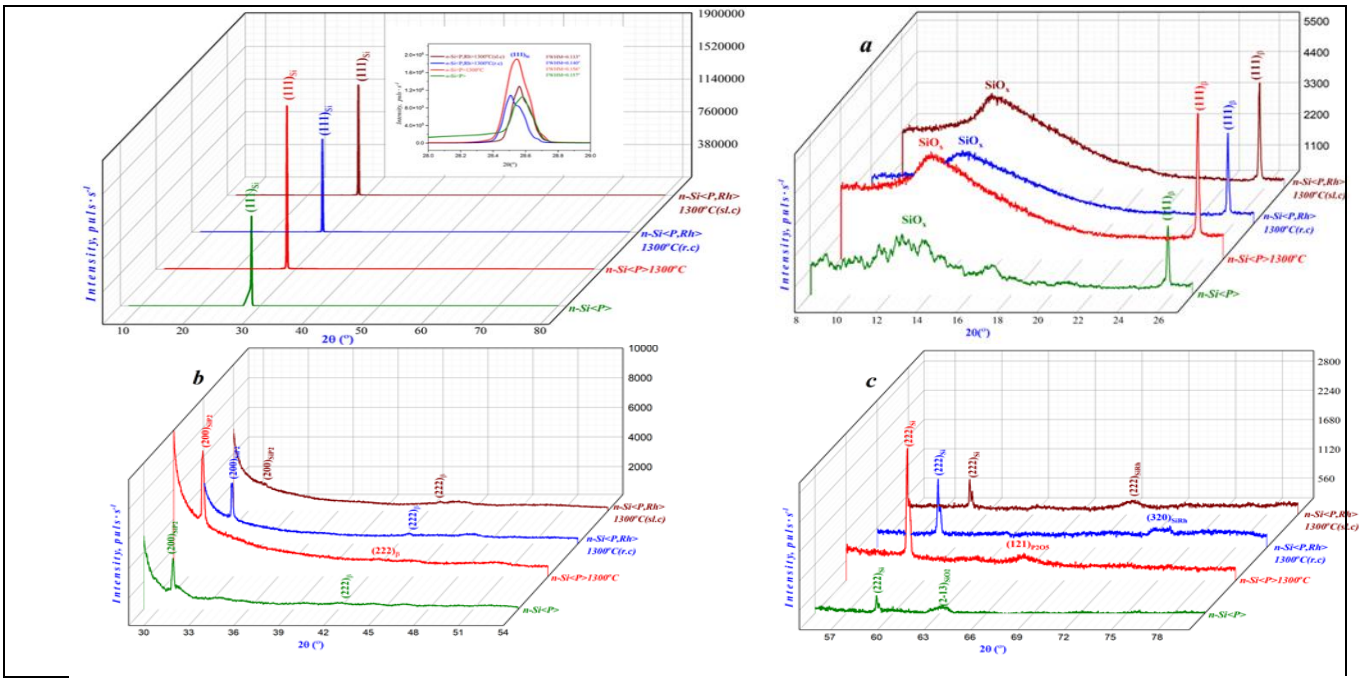
Yarimo‘tkazgichlar fizikasi va nanoelektronika rivojlanishining zamonaviy bosqichida monokristalli kremniy materialining tuzilmaviy mukammalligi, fazaviy barqarorligi hamda kirishma atomlar bilan o‘zaro ta’sirlashuv jarayonlarini chuqur o‘rganish dolzarb ilmiy masalalardan biri hisoblanadi. Chunki hozirgi kunda mikroelektron qurilmalar, integrallashgan sxemalar, optoelektronik sensorlar hamda radiatsion detektorlarning asosiy elementi sifatida aynan yuqori sifatli monokristalli kremniy (Si) keng qo‘llanilmoqda [1]. Ayniqsa, yuqori tozalik va minimal defektlarga ega bo‘lgan kremniy kristallari zamonaviy yarimo‘tkazgich texnologiyalarining asosiy platformasi hisoblanadi.

BKEF kremniy dislokatsiyalar zichligining juda pastligi ($N_d \leq 10^2$ cm^{-2}) va “aylanma” (spiralsimon) defektlarning yo‘qligi bilan ajralib turadi, bu esa uni yuqori aniqlikdagi elektrofizik tadqiqotlar uchun optimal materialga aylantiradi [2]. Biroq hatto bunday yuqori sifatli kremniy kristallarida ham fon kirishmalarining (kislorod, uglerod kabi) mavjudligi muhim ahamiyat kasb etadi. Fon kirishmalar kristall panjarada nuqta defektlar, mikrokuchlanishlar hamda oksid fazalar hosil bo‘lishiga sabab bo‘lib, materialning fazaviy barqarorligiga ta’sir ko‘rsatadi [3]. Ayniqsa, yuqori haroratli jarayonlar davomida O va C atomlari kremniy bilan birikib, SiO_2 yoki boshqa oksid birikmalarini shakllantirishi mumkin [4].

Mazkur ishda tadqiqot obyekti sifatida yuqori sifatli “BKEF” markali kremniy tanlangan bo‘lib, unda dislokatsiyalar zichligi juda past ($N_d \leq 10^2$ cm^{-2}) darajada chegaralangan. Bundan tashqari, mikrodefektlar zichligi kristallografik oriyentatsiyaga bog‘liq ravishda (100)/(013) hamda (111) yo‘nalishlar uchun $2\cdot10^5$ cm^{-2} va $3\cdot10^5$ cm^{-2} dan oshmaydi. Tadqiqot jarayonida BKEF kremniy namunalariga bir necha bosqichli termik ishlov berildi. Dastlabki namuna boshlang‘ich holatda sifatida qabul qilindi. Keyingi bosqichda namunalar 1300°C haroratda 10 soat davomida termik ishlov jarayonidan o‘tkazildi. Keyingi bosqichda esa kremniy namunalariga rodiy (Rh) atomlari diffuziya usuli bilan kiritildi.

Rentgen difraksion tahlil natijalari shuni ko‘rsatdiki, barcha tadqiq qilingan namunalarda asosiy intensiv maksimum kremniyning (111) kristallografik tekisligiga mos keladi (1-rasm). Bu holat BKEF markali kremniyning yuqori darajada oriyentirlangan monokristall ekanligini hamda uning strukturasida asosiy fazaviy komponent sifatida kremniy panjarasi saqlanib qolayotganini tasdiqlaydi. Odatda (111) tekisligi kremniy kristallida atomlar eng zich joylashgan yo‘nalishlardan biri bo‘lib, uning difraksion maksimumlari

yuqori aniqlik va katta intensivlik bilan namoyon bo‘ladi. Shu sababli (111)Si cho‘qqisi kremniy strukturasining mukammallik darajasini baholashda muhim diagnostik parametr hisoblanadi. Boshlang‘ich holatdagi BKEF-15 namunasi rentgenogrammalarining 2θ=28.57° sochilish burchaklarida yuqori (I=1045300 imp/s) intensivlikdaga asosiy (111)Si akslanish kuzatilgan (1-rasm yashil rangli chiziq). Ushbu yuqori intensivlik qiymati kremniy kristallida rentgen nurlarining sochilishi minimal darajada buzilayotganini, ya’ni strukturada dislokatsiyalar va nuqsonlar konsentratsiyasi juda past ekanligidan dalolat beradi. 1300°C haroratda 10 soat davomida termik ishlov jarayoni amalga oshirilgan yuqoridan so‘ng kremniy namunasining rentgenogrammalarida sezilarli o‘zgarishlar kuzatildi (1-rasm qizil rangli chiziq). Xususan, asosiy (111)Si akslanishning intensivligi (I=1916400 imp/s) ortgan bo‘lib, bu holat kristall panjarada strukturaning yanada tartiblanishi va mukammallashuvi sodir bo‘lganini ko‘rsatadi. Intensivlikning keskin ortishi yuqori harorat ta’sirida nuqsonlar va dislokatsiyalar konsentratsiyasi kamaygani, atomlarning qayta joylashuvi orqali rekristallanish jarayonlari faol kechgani bilan izohlanadi . Shuningdek, termik ishlov vaqtida kremniy kristallida ichki mikrodefektlar qizdirish mexanizmi orqali bartaraf etiladi, subkristallit chegaralari qisqaradi va kristallitlarning o‘zaro muvofiqlashuvi kuchayadi. Natijada rentgen nurlarining sochilishi kamroq buzilib, difraksion maksimumlar yanada aniq va yuqori intensivlik bilan namoyon bo‘ladi. Shu bilan birga, qizdirish jarayonidan so‘ng panjara tekisliklari oralig‘i d=3.120 Å gacha biroz kengayganligi qayd etildi. Bu holat termik ta’sir natijasida kristall panjaradagi ichki kuchlanishlarning qayta taqsimlanishi hamda atomlar orasidagi masofaning qisman o‘zgarishi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin. Muhim jihat shundaki, difraksion cho‘qqining burchak qiymatida ham kichik siljish kuzatilishi mumkin. Bu siljish odatda (Bragg) burchagining kichik burchaklar tomon surilishi bilan namoyon bo‘lib, panjara doimiylarining ortishi (a = 5.404 Å) yoki ichki mikrokuchlanishlarning relaksatsiyasiga dalolat qiladi. Bunday holatda difraksion maksimumning kichik burchakli sochilish sohasi tomon surilishi strukturadagi mikrodeformatsiyalar kamayib, kristallning termodinamik barqaror holatga yaqinlashayotganini ko‘rsatadi.



1 -rasm. Boshlang‘ich BKEF-15 namuna (n-Si<P>), 1300 °C haroratda 10 soat davomida termik ishlov berilgan namuna – n-Si<P>1300°C), rodiy atomlari diffuziyasidan so‘ng sekin sovutilgan namuna – n-

Si<P,Rh>1300°C(sl.c.), rodiy bilan legirlangan va tez sovutilgan namuna – n-Si<P,Rh>1300°C(r.c.). Uшbu namunalarning rentgenogrammalarini 8-28° (a), 29-54° (b) va 54-81° (c) keltirilgan.

Rodiy (Rh) atomlarining kremniy panjarasiga yuqori haroratda (1300°C da 10 soat davomida) diffuziya qilinib, sekin sovutilishi (10°C/min) natijasida namunalarning rentgenogrammasida sezilarli tuzilmaviy o‘zgarishlar kuzatildi (1-rasm jigarrangli chiziq). Rodiy diffuziyasidan keyin sekin sovitish rejimi qo‘llanilgan namunada kristallit o‘lchamining (D = 64.3 nm) ortishi qayd etildi. Bu holat strukturada subkristallitlarning yiriklashuvi va kristall tartiblanish darajasining oshganini ko‘rsatib, yuqori haroratda atomlarning diffuzion harakatchanligi ortishi va sovitish jarayonida ularning energetik jihatdan barqaror holatlarga qayta joylashishi bilan izohlanadi. Rodiy atomlari ba’zi defektlar bilan bog‘lanib, ularning elektr faolligini pasaytirishiga olib keladi. Shu bilan birga, panjara tekisliklari oralig‘i d = 3.122 Å qiymatini tashkil qilib, boshlang‘ich holatga nisbatan (panjara doimiysi a = 5.407 Å) juda katta deformatsiya yuzaga kelmaganini ko‘rsatadi. Bu esa sekin sovitish rejimida ichki mikrokuchlanishlarning relaksatsiya qilinishi va panjaraning termodinamik muvozanat holatiga yaqinlashishi bilan bog‘liqdir. Rodiy (Rh) atomlarining kremniy panjarasiga yuqori haroratda diffuziyasidan so‘ng tez sovitish (θ = 300 °C/min) rejimi qo‘llanilgan holatda namuna strukturasida o‘ziga xos tuzilmaviy o‘zgarishlar kuzatildi (1-rasm ko‘k rangli chiziq). Tez sovitish jarayonida haroratning keskin pasayishi tufayli atomlarning diffuziyaviy qayta taqsimlanishi cheklanadi, natijada kristall panjaraning termodinamik muvozanat holatiga to‘liq o‘tishi uchun yetarli vaqt bo‘lmaydi va metastabil struktura shakllanadi. Ushbu rejimda kristallit o‘lchami D = 65.3 nm qiymatga yetgan bo‘lib, bu holat subkristallitlarning ma’lum darajada yiriklashuvini ko‘rsatadi. Biroq, tez sovitish jarayonida strukturada metastabil holatlar saqlanib qolishi mumkinligi sababli kristall tartiblanishi sekin sovitish rejimiga nisbatan kamroq mukammallashadi. Difraksion cho‘qqining intensivligi esa (I=1120100 imp/s) sekin sovitish rejimiga nisbatan pasayganligi qayd etilgan. Bu esa o‘z navabatida kristall panjarada ichki nuqsonlar va mikrodeformatsiyalar saqlanib qolgani, rentgen nurlarining sochilishida buzilishlar kuchaygani bilan izohlanadi.

Rentgen difraksion tahlil natijalari shuni ko‘rsatdiki, tadqiq qilingan kremniy namunalarida asosiy Si fazasidan tashqari qo‘shimcha fazalar ham shakllangan. Bunday fazaviy o‘zgarishlar kirishma atomlarning (P va Rh) yuqori haroratda kremniy panjarasi bilan o‘zaro ta’sirlashuvi natijasida yuzaga keladi. Qo‘shimcha fazalarning paydo bo‘lishi kremniy strukturasida yangi kimyoviy birikmalar hosil bo‘layotganini va diffuziya jarayoni faqat atomlarning kirishi bilan cheklanib qolmasdan, balki fazaviy transformatsiyalar bilan ham kechayotganini tasdiqlaydi. 2-*a*, *b* va *c* rasmlarda boshlang‘ich holatdagi BKEF-15 namunasi va unga termik ishlov hamda yuqori harortalarda rodiy atomlar sekin hamda tez diffuziyalangan xolatidagi kichik, o‘rta va yuqori burchaklar sochilishlardagi rentgenogramma shakllari keltirilgan. 2-*b* rasmda keltirilgan rentgenogrammalarining barchasida 2θ = 30.9° burchakli sochilishlarda qo‘shimcha (200) kristallografik oriyentatsiyali akslanishlar kuzatilgan. Bu akslanishlar SiP_2 fazasiga mos kelib, uning panjara doimiylari aniqlanda $a = b = c$ = 5.744 Å ni tashkil etib, subkristallitlarining bo‘linish chegarlarida Pa_3 fazoviy guruhiga mansub kub elementar kataklardan tuzilgan nanokristallitlar shakllanganidan dalolat beradi. Namunalarga termik ishlov berish va ularda Rh atomlarini sekin va tez diffuziyalanishi natijasida SiP_2 fazasining kristallit o‘lchami (D =55÷65.3 nm) va panjara doimiylaridagi ($a = b = c$ = 5.738÷5.744 Å) o‘zgarishlar kremniy strukturasida fazaviy transformatsiyalar kechayotganini ko‘rsatadi. Hosil bo‘lgan nanokristallitlarning yiriklashishi yoki qayta tashkillanishi materialning elektr o‘tkazuvchanligi, rekombinatsiya markazlari va umumiy elektrofizik xususiyatlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatishga olib keladi.

Rh atomlarining kremniyga diffuziyasidan so‘ng rentgenogrammlarda yangi akslanishlar paydo bo‘lgan (2-*c* rasm, ko‘k va jigarrang chiziqlar). Jumladan, 2θ=69.3° va 2θ=73.27° sochilish burchaklarida mos ravishda (222)SiRh hamda (202)SiRh akslanishlari qayd etilgan. Mazkur akslanishlar kremniy va rodiy o‘rtasida SiRh silitsid fazalarining shakllanganini va ular P213 fazoviy guruhiga tegishli panjara doimiylari

a = *b* = *c*= 4.731 Å kubik kristall tuzilmaga ega kristallitlar ekanligini ko'rsatadi. Rh atomlarining kremniyga tez va sekin diffuziyalanishi natijasida mazkur kristallitlarning o'lchami (*D*=64.6 nm) deyarli o'zgamagan. 2-*a* rasmlarda kuzatilgan rentgenogrammalarning $2\theta \approx 10° \div 17°$ burchakli sochilishlar oralig'ida SiO_x fazasiga tegishli diffuzion akslanish ham kuzatilgan. Bu akslanish asosan kremniy yuzasida tabiiy ravishda hosil bo'ladi yoki yuqori haroratli ishlov jarayonlarida oksidlanish natijasida shakllanadi. Rh atomlarining kremniyga diffuziyasidan so'ng ham SiO_x diffuzion akslanish saqlanib qolganligi kuzatildi. Bu kremniy yuzasidagi oksid qatlam diffuziya jarayonida to'liq yo'qolmasligini, balki strukturada fon faza sifatida ishtirok etishini ko'rsatadi. Mazkur SiO_x fazasining eksperimental natijalari yordamida ular barcha namunlarning sirtida kichik o'lchamdagi (2÷3 nm) klasterlarni shakllantirishi aniqlandi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Bandarenka H. et al. Photoluminescence spectroscopy sheds new light on silicon microchip functional properties //ACS omega. – 2024. – T. 9. – №. 31. – S. 34036-34045. https://doi.org/10.1021/acsomega.4c04590
2. Kukurudziak M. S. Effect of structural defects on parameters of silicon four-quadrant pin photodiodes //East European Journal of Physics. – 2024. – №. 2. – S. 345-352. https://doi.org/10.26565/2312-4334-2024-2-41
3. Korte-Kerzel S. et al. Defect phases–thermodynamics and impact on material properties //International Materials Reviews. – 2022. – T. 67. – №. 1. – S. 89-117. https://doi.org/10.1080/09506608.2021.1930734
4. Altuntas I. et al. Influence of the PALE growth temperature on quality of MOVPE grown AlN/Si (111) //Materials Science in Semiconductor Processing. – 2021. – T. 127. – S. 105733. https://doi.org/10.1016/j.mssp.2021.105733

TEMPERATURE DEPENDENCE OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN $TlSe_xS_{1-x}$ (*x* = 0.8, 0.9, 1.0) SOLID SOLUTIONS AT LOW TEMPERATURES

*R.A. Mammadov[1], R.M. Sardarly[1, 2], N.A. Aliyeva[1, 3], M.N. Mamatkulov[4], F.T. Salmanov[1, 2]

[1]*Institute of Physics, Ministry of Science and Education of Azerbaijan Republic, Baku, Azerbaijan*
[2]*National Aviation Academy, Baku, Azerbaijan*
[3]*Azerbaijan University of Architecture and Construction, Baku, Azerbaijan*
[4]*Tashkent Institute of Chemical Technology, Tashkent, Uzbekistan*
*ramil.m.azadoglu@gmail.com

In the presented work, the temperature dependence of electrical conductivity in $TlSe_xS_{1-x}$ (x = 0.8; 0.9; 1.0) solid solutions was investigated at temperatures below room temperature, and the conduction mechanism was explained within the framework of the Mott variable-range hopping (VRH) model.

Thallium-based TlSe-type compounds are low-dimensional materials characterized by highly anisotropic physical properties, which make them promising for the investigation of charge transport phenomena. In particular, the formation of solid solutions based on TlSe and TlS provides an opportunity to modify the degree of structural disorder and, consequently, the electrical conductivity through localized states [1-3].

In this work, the electrical conductivity of $TlSe_xS_{1-x}$ (x = 0.8; 0.9; 1.0) solid solutions was investigated in the temperature range of 130–300 K.

TlS–TlSe solid solutions were synthesized from the constituent elements taken in stoichiometric proportions and sealed in evacuated quartz ampoules at a pressure of approximately 10^{-3} Pa. The ampoules were heated to a temperature 20–30 °C above the melting point and subsequently slowly cooled to room temperature. Single crystals were grown by the vertical directional zone-melting method at a growth rate of 1–1.5 mm/h. The temperature dependence of electrical conductivity was measured by the four-probe method in a nitrogen cryostat in the temperature range of 130–300 K, with the measurements performed perpendicular to the tetragonal c-axis. An E7-25 digital immittance meter was used for the conductivity measurements [3-5].

The temperature dependence of electrical conductivity, $\sigma(T)$, was investigated for $TlSe_xS_{1-x}$ (x = 0.8; 0.9; 1.0) solid solutions in the temperature range of 100–300 K. An exponential dependence of $\sigma(T)$ was observed, with the temperature interval of hopping conductivity changing with composition: 218–255 K for $TlSe_{0.8}S_{0.2}$, 220–250 K for $TlSe_{0.9}S_{0.1}$, and 224–245 K for TlSe. Thus, with decreasing sulfur content, the temperature interval of hopping conductivity becomes narrower and shifts toward higher temperatures [4, 5]. The linear dependence of $\ln\sigma$ on $T^{-1/4}$ in the Mott coordinates confirms that charge transport in the investigated temperature range occurs via variable-range hopping between localized states (Figure 1). The observed compositional dependence can be attributed to a decrease in the additional structural disorder as the sulfur content decreases.

The linear dependence of $\ln\sigma$ on $T^{-1/4}$ in the Mott coordinates confirms that charge transport occurs via variable-range hopping between localized states. The Mott VRH parameters were calculated at 225 K for the investigated solid solutions. As the sulfur content decreases, the characteristic Mott temperature T_0, hopping distance R, energy difference ΔE, and activation energy E_a increase, whereas the density of localized states near the Fermi level N_F and trap concentration N_t decrease. These changes indicate that sulfur incorporation modifies the distribution of localized states and the parameters of hopping charge transport [5].

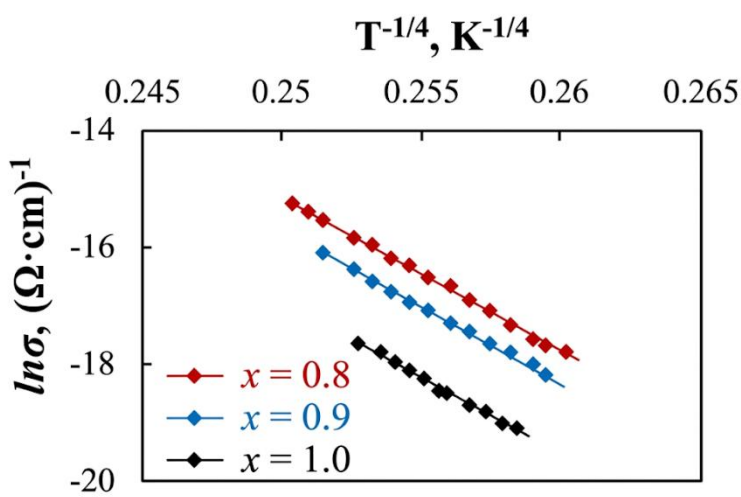


***Fig. 1**. Dependence of $\ln\sigma$ on $T^{-1/4}$ for $TlSe_xS_{1-x}$ (x = 0.8; 0.9; 1.0) solid solutions of various compositions based on Mott's VHR model.*

It is known that, compared with the parent crystals, solid solutions generally possess a more defective structure due to compositional disorder. This additional disorder can lead to the localization of electronic states near the Fermi level.

In the DC electric field, as the sulfur content decreases in $TlSe_xS_{1-x}$ solid solutions, the temperature range of hopping conductivity becomes narrower and shifts toward higher temperatures. At the same time, the density of localized states and traps decreases, while the hopping distance and the energy difference

between localized states increase. These changes indicate a reduction in the additional disorder associated with sulfur incorporation and a corresponding modification of the hopping conduction mechanism.

Thus, varying the sulfur content provides a means of modifying the localized states and charge-carrier transport in $TlSe_xS_{1-x}$ (x = 0.8; 0.9; 1.0) solid solutions. The observed DC conductivity behavior demonstrates the dominant role of the hopping mechanism in the investigated materials.

REFERENCES

1. D. Muller, H. Hahn, *Z. Anorg. Allg. Chem.* **438** (1), 258-272 (1978). https://doi.org/10.1002/zaac.19784380128
2. S. Kashida, Y. Kobayashi, *J. Phys.: Condens. Matter* **11**, 1027-1035 (1999). https://doi.org/10.1088/0953-8984/11/4/010
3. R.M. Sardarly, N.N. Gadzhieva, N.A. Aliyeva, S.M. Gakhramanova, R.A. Mammadov, *Probl. At. Sci. Technol.* **152** (4), 23–28 (2024). https://doi.org/10.46813/2024-152-023
4. R.M. Sardarly, N.A. Aliyeva, R.A. Mammadov, A.J. Mikayilova, *J Mater Sci: Mater Electron* **37**, 581 (2026). https://doi.org/10.1007/s10854-026-17019-z
5. R.M. Sardarly, N.A. Aliyeva, I.Kh. Mammadov, F.T. Salmanov, R.A. Mammadov, G.E. Mammadova, A.A. Rasulova, *Sci Rep* **16**, 19861 (2026). https://doi.org/10.1038/s41598-026-49668-9

Al BILAN LEGIRLANGAN ZnO/CdTe PLYONKALARINING TUZILISHI VA OPTIK XOSSALARI

Yusupov Faxriddin Tojimamat o'g'li

Farg'ona davlat texnika universiteti, PhD katta o'qituvchi

E-mail: yusupov.fizika@gmail.com

Annotatsiya:*Shaffof o'tkazuvchi oksidlar yupqa plyonkali optoelektron qurilmalarda yorug'likni o'tkazuvchi va zaryad tashuvchilarni yig'uvchi qatlam vazifasini bajaradi. Rux oksidini alyuminiy bilan legirlash uning optik yutilish chegarasi va mikrostrukturasini boshqarish imkonini beradi. Eritmadan zol–gel va spin-coating usulida olinadigan Al bilan legirlangan ZnO (AZO) plyonkalari tarkibni boshqarish hamda qatlamlarni ketma-ket hosil qilish uchun qulaydir [1]. CdTe bilan bevosita tutashuvda bunday qatlamlarni o'rganish CdS bufer qatlamisiz geterostrukturalar yaratish nuqtayi nazaridan ahamiyatli.*

Ushbu ishning maqsadi p-CdTe ustiga o'stirilgan ZnO va 2 mol% Al/Zn nisbatidagi AZO yupqa plyonkalarining strukturaviy xossalarini hamda Al qo'shilganda optik yutilish chegarasining o'zgarishini tadqiq etishdan iborat. Optik javob yutilish spektrining birinchi hosilasi va Tauc ekstrapolyatsiyasi orqali taqqoslandi. Natijalar optik chegaraning yuqori energiyalar tomon kichik siljishi uning kengayishi bilan birga kechishini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: Al bilan legirlangan ZnO (AZO), CdTe, geterostruktura, yupqa plyonka, zol–gel usuli, rentgen difraksiyasi, optik yutilish, Tauc tahlili, taqiqlangan zona kengligi, Burstein–Moss effekti.

AZO/CdTe geterotuzilmasida oksid qatlamning vazifasi CdTe yutuvchi qatlamiga yorug'lik yetib borishini ta'minlash bilan birga elektr kontakt hosil qilishdir. Shu bois legirlash natijasidagi o'zgarishni faqat optik chegara energiyasi bilan baholash yetarli emas: qatlamning uzluksizligi, kristallit o'lchami va yutilish chetining kengligi ham hisobga olinishi lozim. ZnO asosidagi plyonkalarni kimyoviy usullarda olish bo'yicha tadqiqotlar texnologik sharoitlarning material xossalariga ta'sirini ko'rsatadi [2]. Mazkur

ishda legirlangan va legirlanmagan namunalarni birgalikda tahlil qilish Al qo‘shilishiga bog‘liq optik farqlarni aniqlashga xizmat qiladi.

Namunalarni olish va tadqiqot usullari

Prekursor sifatida rux atsetat digidrati, legirlovchi manba sifatida alyuminiy nitrat nonagidrati, erituvchi sifatida etanol va stabilizator sifatida monoetanolamin (MEA) ishlatildi. Zn^{2+} konsentratsiyasi 0,60 mol/l, Zn:MEA molyar nisbati 1:1 qilib olindi. Eritma 65 °C da 60 minut aralashtirildi, xona haroratida 24 soat saqlandi va 0,22 μm li filtrdan o‘tkazildi. Shisha asosdagi p-tur polikristall CdTe sirtlari atseton, izopropanol va deionlangan suvda ketma-ket ultratovush yordamida tozalandi.

Qoplama avval 500 ayl/min tezlikda 10 s, so‘ng 3000 ayl/min tezlikda 30 s aylantirish orqali hosil qilindi. Har bir qatlam 250 °C da 10 minut quritildi; jarayon 10 marta takrorlandi. Yakuniy termik ishlov havoda 500 °C da 45 minut davomida bajarildi. Ko‘ndalang kesim SEM tasvirlari bo‘yicha ustki qatlam qalinligi 0,10–0,60 μm oralig‘ida bo‘ldi.

Fazaviy tarkib Cu Kα nurlanishli (λ = 0,15406 nm) rentgen difraksiyasi yordamida tekshirildi. Kristallit o‘lchami $D = K\lambda/(\beta \cos\theta)$ Scherrer ifodasidan [3] baholandi; bunda K = 0,9, β — instrumental kengayish hisobga olingan yarim balandlikdagi pik kengligi. Optik yutilish 200–800 nm oralig‘ida o‘lchandi. Yutilish koeffitsiyenti $\alpha = 2{,}303A/t$ orqali aniqlandi; A — optik zichlik, t — plyonka qalinligi. Morfologiya skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM) bilan o‘rganildi.

Rentgen o‘lchovlari 40 kV kuchlanish va 30 mA tokda, 0,02° burchak qadami bilan bajarildi. Fazalarni identifikatsiyalashda CdTe uchun PDF 15-0770 va ZnO uchun PDF 36-1451 ma’lumotlari qo‘llanildi. SEM kuzatuvlari 15 kV tezlashtiruvchi kuchlanishda olib borildi. Rentgen va mikroskopik usullarni birgalikda qo‘llash kristallitning kogerent soha o‘lchamini sirt donalarining geometrik o‘lchamidan ajratib baholash imkonini berdi.

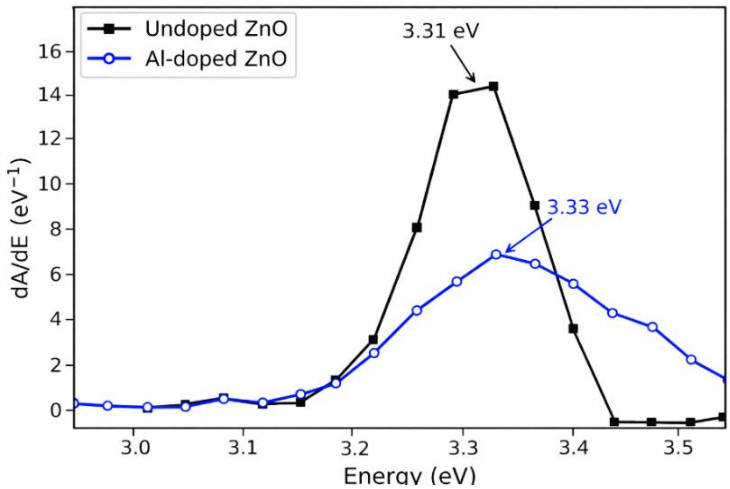
Strukturaviy va morfologik natijalar

Rentgen difraksiyasi CdTe ning kubik va ZnO ning geksagonal vyurtsit fazalari mavjudligini ko‘rsatdi. CdTe uchun $2\theta \approx 23{,}8°$ dagi (111) refleksi ustun bo‘ldi. ZnO ga tegishli 31,8°, 34,4° va 36,3° reflekslar mos ravishda (100), (002) va (101) tekisliklariga taalluqli. ZnO (002) refleksining ustunligi c o‘qi bo‘ylab yo‘nalgan o‘sishni bildiradi. AZO kristallitlarining o‘rtacha o‘lchami 27 ± 5 nm ni tashkil etdi. Al yoki Al_2O_3 ga xos alohida reflekslar kuzatilmadi; bu natija ularning XRD aniqlash chegarasidan past bo‘lishi ehtimolini istisno qilmaydi.

SEM tasvirlarida zich joylashgan donalardan tashkil topgan uzluksiz qatlam kuzatildi. Donalar o‘lchami 30–80 nm, 50 ta dona bo‘yicha o‘rtacha qiymati 52 ± 12 nm bo‘ldi. SEM bo‘yicha dona o‘lchamining Scherrer kristallit o‘lchamidan kattaligi donalar bir nechta kogerent difraksiyalovchi sohalardan tuzilishi mumkinligini ko‘rsatadi. Tekshirilgan sohalarda yirik yoriqlar va ochiq teshiklar aniqlanmadi.

Optik yutilish chegarasining hosilaviy tahlili

ZnO va AZO plyonkalarida taxminan 380 nm dan qisqa to‘lqinlarda kuchli yutilish, uzun to‘lqinlar tomon esa keskin pasayish kuzatildi. AZO ning yutilish chegarasi kengroq bo‘lib, uzun to‘lqinli qismda fon yutilishi yuqoriroq. Bu xususiyatni erkin tashuvchilar va tartibsizlik bilan bog‘liq holatlarning mumkin bo‘lgan hissasi bilan izohlash mumkin. Chegara sohasidagi o‘zgarishni ajratish uchun A(E) ning birinchi hosilasi tahlil qilindi (1-rasm).



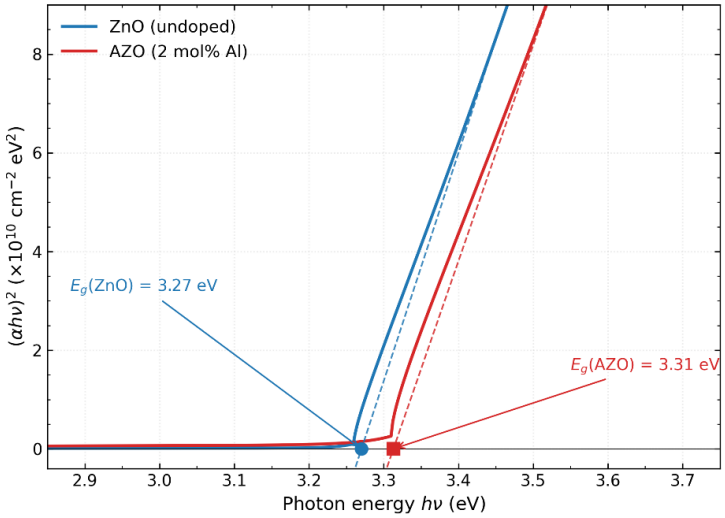
1-rasm. ZnO va AZO plyonkalari uchun yutilishning birinchi hosilasi dA/dE ning foton energiyasiga bog‘liqligi.

Legirlanmagan ZnO uchun hosila maksimumi 3,31 ± 0,01 eV, AZO uchun 3,33 ± 0,01 eV da joylashgan. Maksimumning taxminan 0,02 eV ga siljishi bilan birga AZO chegarasi kengayib, yuqori energiyali qanoti taxminan 3,45 eV gacha cho‘ziladi. Demak, Al qo‘shilishi chegaraning faqat joylashuvini emas, uning shaklini ham o‘zgartiradi. Hosila maksimumi optik chegaraning xarakterli energiyasi bo‘lib, uni Tauc usulidagi taqiqlangan zona kengligi bilan aynan tenglashtirish kerak emas.

Legirlanmagan namuna hosila pikining yarim balandlikdagi kengligi taxminan 0,09 eV ni tashkil etdi. AZO da kengroq maksimum kuzatilishi optik o‘tishlar chegarasining aniq bir energiya bilan to‘liq ifodalanmasligini ko‘rsatadi. Shu sababli hosila maksimumi, uning kengligi va Tauc ekstrapolyatsiyasi natijalari birgalikda tahlil qilindi.

Tauc tahlili va natijalar talqini

To‘g‘ri ruxsat etilgan optik o‘tishlar uchun $(\alpha h\nu)^2 = B(h\nu - E_g)$ munosabatidan foydalanildi. Bu yerda $h\nu$ — foton energiyasi, B — proporsionallik koeffitsiyenti, E_g — optik taqiqlangan zona kengligi. $(\alpha h\nu)^2$ ning $h\nu$ ga bog‘liqligidagi chiziqli qism energiya o‘qigacha ekstrapolyatsiya qilindi (2-rasm). Optik chegarani baholashda spektral ma’lumotni qayta ishlash usulining ahamiyati [4] da ham muhokama qilingan.



2-rasm. ZnO va 2 mol% Al bilan legirlangan AZO plyonkalarining Tauc grafiklari va optik chegara ekstrapolyatsiyasi.

Tauc usulida ZnO uchun E_g = 3,27 ± 0,02 eV, AZO uchun E_g = 3,31 ± 0,02 eV olindi. Markaziy qiymatlar farqi $\Delta E_g \approx$ 0,04 eV. Hosilaviy va Tauc tahlillaridagi siljishlar bir xil yo‘nalishda bo‘lsa-da, ularning kattaligi usullar turli spektral xususiyatlarni baholagani sababli farq qiladi. Siljish kichik va keltirilgan noaniqliklarga yaqin bo‘lgani uchun uning mexanizmini qat’iy belgilashda ehtiyotkorlik zarur.

Optik chegaraning yuqori energiyaga siljishi Al donorlaridan kelgan elektronlar pastki o‘tkazuvchanlik holatlarini to‘ldirishi bilan bog‘liq Burstein–Moss hissasiga mos keladi. Biroq chegaraning kengayishi tartibsizlik va zona chetidagi lokal holatlar hissasi ham mavjud bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatadi. Shu sababli siljishni faqat tashuvchilar konsentratsiyasi ortishi bilan izohlash yetarli emas; buni tekshirish uchun Hall o‘lchovlari va Al tarkibi bo‘yicha tizimli tajribalar kerak.

Xulosa

Zol–gel usulida p-CdTe ustida CdS buferisiz ZnO va AZO qatlamlari olindi. AZO da o‘rtacha 27 ± 5 nm kristallitlar va 52 ± 12 nm donalar kuzatildi. Al/Zn = 2 mol% sharoitida Tauc optik chegarasi 3,27 dan 3,31 eV ga, yutilish hosilasi maksimumi 3,31 dan 3,33 eV ga siljidi. Natijalar Al bilan legirlash optik chegara holati va kengligiga birgalikda ta’sir qilishini ko‘rsatadi. Keyingi tadqiqotlarda Al ulushi, qatlam qalinligi va termik ishlovning ushbu xossalarga ta’sirini alohida baholash maqsadga muvofiq.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Rahman M. R. et al. Conductive and optically transparent zol–gel spin coated Al^{3+} and Sn^{4+} doped ZnO nano-crystalline thin-films. J. Mater. Sci.: Mater. Electron. 2024. Vol. 35. Art. 1618.
2. Gartner M., Stroescu H., Mitrea D., Nicolescu M. Various applications of ZnO thin films obtained by chemical routes in the last decade. Molecules. 2023. Vol. 28(12). Art. 4674.
3. Scherrer P. Bestimmung der Grösse und der inneren Struktur von Kolloidteilchen mittels Röntgenstrahlen. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen. 1918. P. 98–100.
4. Jubu P. R. et al. Dispensability of the conventional Tauc’s plot for accurate bandgap determination from UV–Vis optical diffuse reflectance data. Results in Optics. 2022. Vol. 9. Art. 100273.

PEI/PET POLIMER ARALASHMALARINING IQ - SPEKTROSKOPIYA TAHLILI

Dusiyorov Nizomiddin Zokir o‘g‘li, Haqberdiyev Elshod Olmosovich,

Berdinazarov Qodirbek Nuritdin o‘g‘li, Ashurov Nigmat Rustamovich.

O‘zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi Polimerlar kimyosi va fizikasi instituti,

Toshkent, O‘zbekiston.

ndusiyorov@gmail.com

Zamonaviy muhandislikda zaruriy xususiyatlarga ega materiallarni ishlab chiqishda polimer aralashmalardan foydalanish muhim o‘rin tutadi. Ikki yoki undan ortiq polimerlarni aralashtirish orqali mexanik, termik, kimyoviy, qayta ishlash kabi ekspluatatsion xususiyatlarining sinergik kombinatsiyasini namoyon etadigan materiallarni yaratish mumkin bo‘lib, polimer aralashmalar alohida komponentlarning xususiyatlarini o‘zida mujassamlashtirgan material xususiyatlarini o‘zida namoyon qiladigan konstruksiyon material sifatida ko‘riladi. Ikki xil polimerning aralashtirilishi ilmiy va sanoat sohalarida katta qiziqish uyg‘otib kelmoqda, chunki bunday yondashuv alohida polimerlarga xos bo‘lgan xususiyatlardan farq qiluvchi xususiyatlar majmuasini hosil qilish va ko‘p funksiyali materiallarni ishlab chiqish imkonini beradi. Sozlanishi mumkin bo‘lgan ko‘p funksional xususiyatlari tufayli polimer aralashmalari qadoqlash,

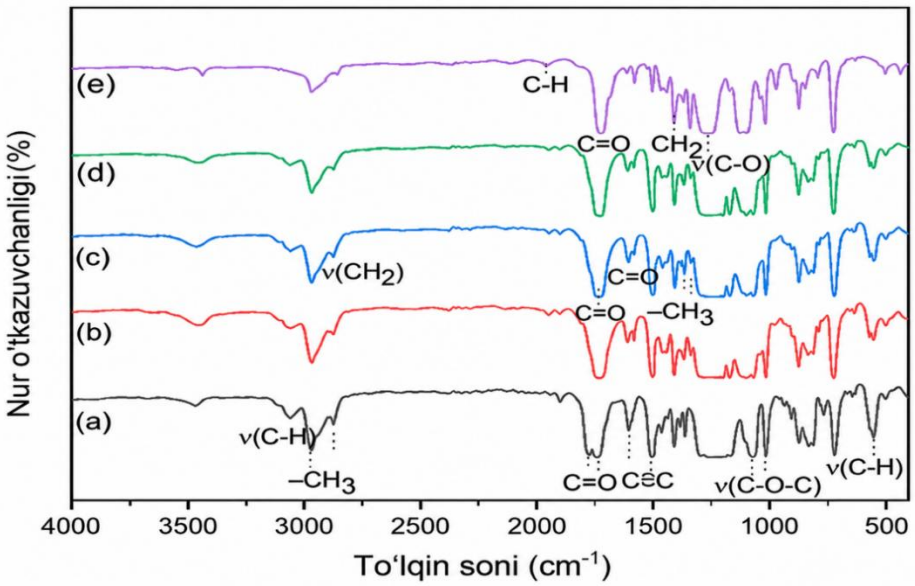
elektronika, qurilish, aerokosmik sanoat, to‘qimachilik, energetika va barqaror materiallar kabi keng ko‘lamdagi sohalarda qo‘llanilishi mumkin. Polimerlarni aralashtirish interfeysaro o‘zaro ta’sirlar mavjudligi hisobiga qovushqoqlik, kristallik darajasi va termik barqarorlik kabi fizik xususiyatlarni optimallashtirish imkonini beradi. Biroq polimer aralashmalarining o‘zaro mosligi va interfeys morfologiyasi optimal xususiyatlarga erishishda muhim omillar hisoblanadi.[1]

So‘nggi yillarda o‘rganilgan ko‘plab polimer aralashmalar orasida poliefirimid (PEI) va polietilen tereftalat (PET) polimer aralashmalari har bir polimerda mavjud bo‘lgan afzalliklar va yuqori samaradorlikka ega materiallarni yaratish imkoniyati tufayli katta e’tibor qozondi. Polieterimid (PEI) yuqori termik barqarorlik, o‘ziga xos alangaga chidamlilik va 200 °C gacha bo‘lgan haroratlarda yaxshi mexanik xususiyatlarga ega amorf muhandislik polimeri bo‘lib, bu uni konstruksion va elektronika sohalarida qo‘llash uchun istiqbolli materialga aylantiradi. Polietilentereftalat (PET) taxminan 78 °C ga teng past shishalanish haroratiga (Tg) va taxminan 255 °C ga teng erish haroratiga ega bo‘lgan yarim kristallik polimerdir. Shu sababli, PEI ni past Tg qiymatiga (78 °C) ega yarim kristallik polietilentereftalat — PET polimeri bilan aralashtirish PEI ning qayta ishlanish xususiyatini, erituvchilarga chidamliligini va mexanik xususiyatlarini yaxshilaydi hamda uning tannarxini kamaytirishi mumkin. Bundan tashqari, PEI-PET polimer aralashmasi PEI ning yuqori shishalanish haroratidan foydalanadi, bu termik barqarorlikni ta’minlaydi, PET esa o‘lchamiy barqarorlik va kristallikni ta’minlaydi.[2]

Ma’lumki, IQ spektroskopiya usuli polimerlarning funksional guruhlarini aniqlash, ularning makromolekulyar tuzilishdagi o‘zgarishlarini baholash va aralashma komponentlari o‘rtasidagi o‘zaro ta’sir mexanizmlarini o‘rganishda muhim ahamiyat kasb etadi. Shu sababi, ushbu tadqiqot doirasida PEI, PET va ularning teng nisbatdagi aralashmasini IQ spektroskopiya usuli orqali chuqur tahlil qilish rejalashtirildi. Polimer materiallarining IQ spektroskopik tahlili ularning kimyoviy tuzilishini, bog‘lanish tabiatini va polimer zanjirlari orasidagi ichki o‘zaro ta’sirlarni aniqlashga imkon beradi. PEI va PET polimerlari o‘ziga xos kimyoviy tarkibga ega bo‘lib, ularning aralashmasi turli xil fizik-kimyoviy va mexanik xossalarga ega yangi materiallar yaratish imkonini beradi. Ilmiy adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatdiki, mazkur polimer tizimlarining IQ spektroskopik tadqiqotlari yetarli darajada rivojlanmagan bo‘lib, ayniqsa, PEI va PET aralashmalarining spektral xususiyatlari va molekulyar o‘zaro ta’sir mexanizmlari haqida to‘liq tasavvur mavjud emas.

Matritsa polimer materiallari sof PEI, PET hamda massa nisbatlari 90/10, 70/30 va 50/50 bo‘lgan PEI/PET polimer aralashmalari asosida tayyorlandi. Polimerlar vint diametri 21,7 mm va L/D nisbati 40 bo‘lgan bir yo‘nalishda aylanuvchi ikki vintli ekstruder (KTE-20A Lab) yordamida suyuqlanma holatida aralashtirildi. Ekstruziya jarayoni 240 ± 5 °C haroratda amalga oshirilib, vintning aylanish tezligi va materialni uzatish tezligi mos ravishda 50 ayl/min va 5 kg/soat qiymatlarida saqlandi. Mazkur barqaror ish sharoitlarida materialning ekstruder silindri ichida o‘rtacha bo‘lish vaqti taxminan 1,5–2 minutni tashkil etdi. Ushbu konfiguratsiya komponentlarning optimal distributiv va dispersiv aralashishini ta’minlash hamda termomexanik degradatsiya xavfini kamaytirish maqsadida tanlandi.

IQ tahlili polimerlarning funksional guruhlarini aniqlash hamda aralashma tarkibidagi komponentlar o‘rtasidagi kimyoviy o‘zaro ta’sir darajasini baholash maqsadida amalga oshirildi. Quyidagi 1-rasmda turli massa nisbatlarida tayyorlangan sof PEI, sof PET va PEI/PET polimer aralashmalarining IQ spektrlari keltirilgan. Spektrning "barmoq izi" (600–1500 sm^{-1}) sohasida aromatik va alifatik guruhlarning tebranishlariga mos yutilish polosalari kuzatiladi. Valent tebranishlar (1500–3500 sm^{-1}) sohasida esa karbonil (C=O) va efir guruhlariga xos polosalar aniqlanadi.



1-Rasm. IQ spektrlari namunalari uchun (a) PEI 100, (b) PEI/PET 90/10, (c) PEI/PET 70/30, (d) PEI/PET 50/50 va (e) PET 100.

Sof PEI spektrida (1a-rasm) 1898 sm^{-1} da imid karbonil guruhlariga xos xarakterli cho‘qqi kuzatiladi. 3467 sm^{-1} dagi yutilish polosasi kuchli imid karbonil valent tebranishlarining overtone (yuqori tartibli garmonik) tebranishlari yoki oz miqdorda yutilgan namlik mavjudligi bilan izohlanadi. 2968 sm^{-1} va 2873 sm^{-1} dagi cho‘qqilar mos ravishda metil (CH_3) guruhlarining asimmetrik va simmetrik valent tebranishlariga tegishlidir. Bundan tashqari, 3060 sm^{-1} dagi kuchsiz yutilish aromatik halqalardagi C–H bog‘larining valent tebranishlariga mos keladi [3].

Imid guruhi 1775 sm^{-1} va 1736 sm^{-1} dagi asimmetrik hamda simmetrik C=O valent tebranishlari bilan tavsiflanadi. Aromatik halqalarning (C=C) tebranishlari 1603 sm^{-1} dagi kuchsiz va 1504 sm^{-1} dagi kuchli cho‘qqilar orqali kuzatiladi. 1464 sm^{-1} va 1436 sm^{-1} dagi polosalar metil guruhlarining mos ravishda asimmetrik va simmetrik deformatsion (scissoring) tebranishlariga tegishlidir. 1408 sm^{-1} dagi polosasi aromatik halqa skeletining tebranishlariga, 1386 sm^{-1} va 1364 sm^{-1} dagi o‘rtacha intensivlikdagi polosalar esa CH_3 guruhlarining tekislik ichidagi deformatsion tebranishlariga mos keladi[3] . 1298 sm^{-1} va 1241 sm^{-1} dagi kuchli cho‘qqilar efir (C–O–C) bog‘larining asimmetrik valent tebranishlari bilan bog‘liq.

PEI/PET asosidagi polimer aralashmalari tayyorlangandan so‘ng yutilish polosalarida sezilarli o‘zgarishlar kuzatildi. Bu esa PEI va PET funksional guruhlari o‘rtasida molekulalararo o‘zaro ta’sirlar mavjudligini ko‘rsatadi. Tajriba natijalariga ko‘ra, PEI/PET 90/10 aralashmasida (1b-rasm) dastlabki polimerlarga xos xarakterli polosalar saqlanib qolgan, biroq ularning joylashuvida sof komponentlarga nisbatan kichik siljishlar kuzatilgan.

Sof PEI spektridagi 3467 sm^{-1} dagi kuchsiz yutilish polosasi aralashmalarda 3447 sm^{-1} ga siljigan (1b–d-rasmlar). Ushbu siljish kuchli imid karbonil tebranishlarining overtone tebranishlari yoki oz miqdordagi yutilgan namlik bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin. Shu bilan birga, bu holat aralashtirish natijasida vodorod bog‘lari muhiti yoki dipol–dipol o‘zaro ta’sirlarining o‘zgarganligini ham ko‘rsatadi.

Sof PEI spektridagi 1898 sm^{-1} dagi imid karbonil guruhiga tegishli yutilish chizig‘i PEI/PET aralashmalarida 1948–1900 sm^{-1} oralig‘idagi ikkita polosaga ajraladi. Bu karbonil guruhlari atrofidagi kimyoviy muhit PET zanjirlarining yaqinlashuvi natijasida o‘zgarganligini bildiradi. Sof PEIda alohida kuzatilgan 1775 sm^{-1} va 1736 sm^{-1} cho‘qqilari o‘rniga aralashmalarda 1728 sm^{-1} da yagona keng polosasi hosil bo‘ladi. Ushbu polosasi imid C=O guruhlarining valent tebranishlariga mos keladi.

IQ natijalarida C=O polosalarining kengayishi va kichik to‘lqin sonlariga siljishi PEI hamda PET zanjirlari o‘rtasidagi tarkibga bog‘liq molekulalararo o‘zaro ta’sirlarning mavjudligini ko‘rsatadi. Bundan tashqari, 1607–1579 sm^{-1} oralig‘ida o‘rtacha intensivlikdagi dubletning paydo bo‘lishi ikkala polimerning aromatik halqalari o‘rtasidagi π–π stacking (halqalarning ustma-ust joylashishi) PEI/PET aralashmalarining barqarorligini oshirishga hissa qo‘shishini ko‘rsatadi.

Sof PET spektrida (1e-rasm) 2967 sm^{-1} va 2856 sm^{-1} dagi cho‘qqilar metilen (CH_2) guruhlarining mos ravishda asimmetrik va simmetrik valent tebranishlariga tegishlidir. 3060 sm^{-1} dagi yelka shaklidagi polosasi aromatik halqadagi C–H bog‘larining valent tebranishlariga mos keladi. 1960 sm^{-1} dagi polosasi para-almashgan aromatik halqalarga xos bo‘lgan yig‘indi/overtone tebranishlari bilan bog‘liq [4].

1727 sm^{-1} dagi kuchli yutilish karbonil (C=O) guruhining valent tebranishlariga tegishlidir. 1613 sm^{-1}, 1579 sm^{-1} va 1504 sm^{-1} dagi kuchsiz cho‘qqilar aromatik halqalardagi C=C bog‘larining valent tebranishlariga mos keladi. PET spektridagi 1470 sm^{-1} va 1445 sm^{-1} dagi dublet metilen guruhlarining mos ravishda asimmetrik va simmetrik deformatsion tebranishlarini ifodalaydi. 1409 sm^{-1} dagi o‘rtacha intensivlikdagi cho‘qqi aromatik halqa tebranishlariga tegishlidir. Metilen guruhlarining asimmetrik va simmetrik tebranishlari mos ravishda 1371 sm^{-1} va 1342 sm^{-1} da kuzatiladi.

1270 sm^{-1} dagi keng va juda kuchli polosasi efir (ester) C–O bog‘larining asimmetrik valent tebranishlariga mos keladi. Ushbu bog‘larning simmetrik tebranishlari esa ularning trans yoki gauche konformatsiyasiga qarab 1174–973 sm^{-1} oralig‘ida kuzatiladi. 727 sm^{-1} dagi cho‘qqi para-almashgan aromatik halqalardagi C–H bog‘larining tekislikdan tashqaridagi deformatsion tebranishlariga tegishli bo‘lib, tereftalat birligidagi uglerod–vodorod bog‘larining deformatsiyasini ifodalaydi [5].

IQ tahlili natijalari shuni ko‘rsatadiki, PEI/PET polimer aralashmalarida funksional guruhlar o‘rtasidagi molekulalararo o‘zaro ta’sirlar tufayli infraqizil spektrdagi yutilish polosalari sezilarli darajada o‘zgaradi. Ushbu o‘zgarishlar hosil bo‘lgan polimer aralashmalarining fizik-kimyoviy xususiyatlariga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Demak, IQ natijalari funksional guruhlar o‘rtasidagi molekulalararo o‘zaro ta’sirlar PEI/PET polimer aralashmalarining tuzilishi va xossalarini shakllantirishda muhim rol o‘ynashini tasdiqlaydi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. N.Z. Dusiyorov, Sh. G`. Mardonova, Q.N. Berdinazarov, N.F. Normuradov, E.O. Haqberdiyev. PEI/PET aralashmasining IQ-spektroskopiya tahlili: polimer o‘zaro ta’sirlari va tarkibiy o‘zgarishlar// O`zMU xabarlari, 3/1 2025, 361-364 b. ISSN 2181-7324.
2. Kaftelen-Odabaşı, H., Olmosovich, E. K., Berdinazarov, Q. N. U., Dusiyorov, N. Z. U., Ashurov, N. R., Odabaşı, A., & Helhel, S. Investigation of Thermal, Mechanical, and EMI Shielding Response of PEI/PET Polymer Blends. In 2025 8th International Electromagnetic Compatibility Conference (EMC Turkiye) (pp. 1-6). IEEE.
3. Courvoisier, E. Bicaba, Y. Colin, X. Multi-scale and multi-technical analysis of the thermal degradation of poly(ether imide). Polym. Degrad. Stab. 2017, 147, 177–186.
4. Nunes, C.S.; da Silva, M.J.V.; da Silva, D.C.; dos Reis Freitas, A.; Rosa, F.A.; Rubira, A.F.; Muniz, E.C. PET depolymerisation in supercritical ethanol catalysed by [Bmim][BF4]. RSC Adv. 2014, 4, 20308–20316.
5. Nunes, C.S.; Souza, P.R.; Freitas, A.R.; da Silva, M.J.V.; Rosa, F.A.; Muniz, E.C. Poisoning effects of water and dyes on the [Bmim][BF4] catalysis of poly(ethylene terephthalate) depolymerization under supercritical ethanol. Catalysts 2017, 7, 43.

CdS/CdTe YUPQA QATLAMLI GETEROTUZILMALARDA OYNA QATLAMI QALINLIGINING FOTOGENERATSIYA VA REKOMBINATSIYA JARAYONLARIGA TA’SIRI

Raximjonov Jahongir Saydaxmat o‘g‘li
Farg‘ona davlat texnika universiteti, O‘zbekiston. rahimjonov_jahongir@mail.ru

Annotatsiya. Ushbu ishda CdS/CdTe yupqa qatlamli geterotuzilmalarda CdS oyna qatlamining qalinligi fotogeneratsiya va zaryad tashuvchilarning rekombinatsiya jarayonlariga ta’siri optik modellashtirish asosida tadqiq qilindi. CdS qatlami yupqa qatlamli fotoelektrik qurilmalarda yorug‘likni faol absorber qatlamiga uzatuvchi hamda geterointerfeys hosil qiluvchi muhim element hisoblanadi. Tadqiqotda turli CdS qatlam qalinliklari uchun fotogeneratsiya tezligi va Shockley–Read–Hall (SRH) rekombinatsiya jarayonlarining fazoviy taqsimoti tahlil qilindi. Hisoblash natijalari CdS qatlam qalinligi ortishi bilan undagi optik yo‘qotishlar oshib, CdTe absorber qatlamiga yetib boradigan fotonlar oqimi kamayishini ko‘rsatdi. Shu bilan birga, CdS qatlamining juda yupqalashishi geterointerfeys xususiyatlariga ta’sir qilishi mumkinligi aniqlandi. Olingan natijalar CdS/CdTe asosidagi yupqa qatlamli fotoelektrik qurilmalar uchun optimal strukturaviy parametrlarni tanlashda muhim ahamiyatga ega.

Kalit so‘zlar: CdS/CdTe geterotuzilma, yupqa qatlam, oyna qatlami, fotogeneratsiya, SRH rekombinatsiya, optik yo‘qotishlar.

Kirish. Zamonaviy mikro va nanoelektronika hamda fotoelektrik texnologiyalarning rivojlanishi yuqori samaradorlikka ega bo‘lgan yupqa qatlamli yarimo‘tkazgich qurilmalarni yaratishni talab qilmoqda. Bunday qurilmalarda yorug‘lik energiyasini samarali yutish, zaryad tashuvchilarni hosil qilish va ularni tashqi elektr zanjiriga samarali uzatish jarayonlari asosiy ilmiy masalalardan biri hisoblanadi.

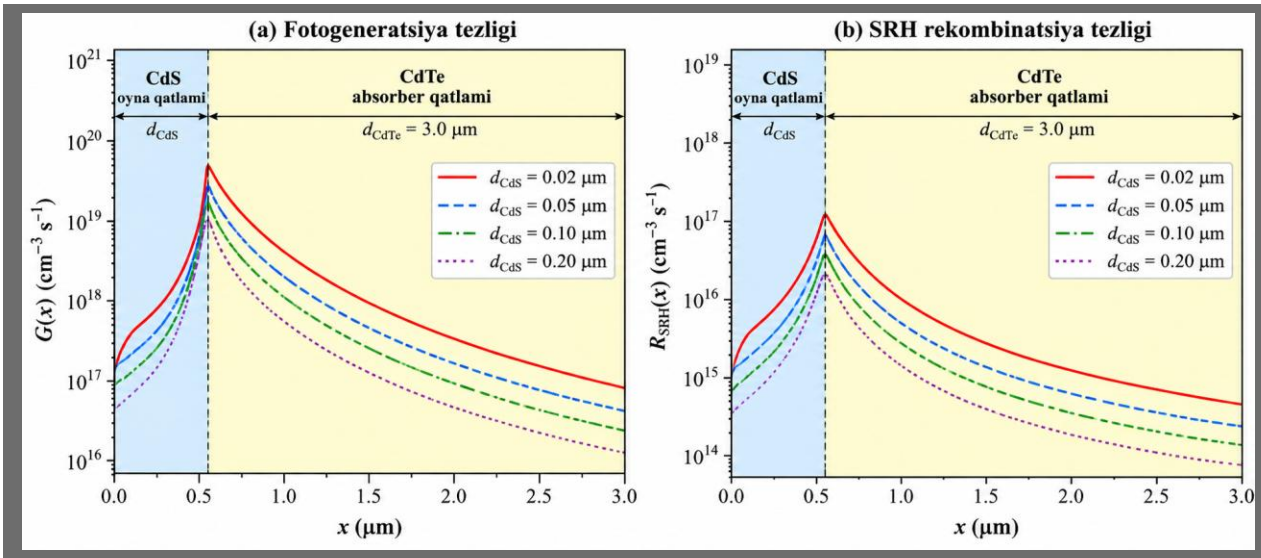
CdS/CdTe geterotuzilmasi yupqa qatlamli quyosh elementlari uchun keng qo‘llaniladigan istiqbolli yarimo‘tkazgich tizimlardan biridir. Ushbu tuzilishda CdS qatlami oyna qatlami (window layer) vazifasini bajarib, tushayotgan yorug‘lik oqimini CdTe absorber qatlamiga yetkazadi hamda samarali geterointerfeys hosil bo‘lishini ta’minlaydi. CdTe esa yuqori yorug‘lik yutish qobiliyatiga ega bo‘lgan faol absorber qatlam sifatida xizmat qiladi.

Fotoelektrik qurilmalarning samaradorligi CdS qatlamining optik xususiyatlari va qalinligiga kuchli bog‘liq. CdS qatlamining ortiqcha qalinlashishi undagi parazit optik yutilishni oshirib, CdTe qatlamiga yetib boradigan fotonlar sonini kamaytirishi mumkin. Boshqa tomondan, juda yupqa CdS qatlami geterointerfeysning sifatiga va zaryad tashuvchilarning ajralish jarayonlariga ta’sir ko‘rsatishi mumkin.

Shu sababli CdS qatlam qalinligini optimallashtirishda faqat optik o‘tkazuvchanlikni emas, balki fotogeneratsiya va rekombinatsiya jarayonlarini ham birgalikda hisobga olish zarur. Ushbu ishda CdS/CdTe yupqa qatlamli geterotuzilmalarda CdS oyna qatlamining turli qalinliklarida fotogeneratsiya va SRH rekombinatsiya jarayonlarining fazoviy taqsimoti optik modellashtirish asosida o‘rganildi.

Tadqiqot usullari. CdS/CdTe yupqa qatlamli geterotuzilmalarda fotogeneratsiya va rekombinatsiya jarayonlarini baholash uchun optik modellashtirish usulidan foydalanildi. Tadqiqotda CdS oyna qatlamining qalinligi 0,02–0,30 μm oralig‘ida o‘zgartirilib, uning fotogeneratsiya tezligi va SRH rekombinatsiya jarayonlariga ta’siri hisoblandi. Hisoblashlar natijasida yorug‘lik oqimining qatlamlar bo‘ylab taqsimlanishi, CdTe absorber qatlamida hosil bo‘ladigan zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi hamda rekombinatsiya yo‘qotishlari tahlil qilindi.

Natijalar va muhokama. Hisoblash natijalari CdS qatlam qalinligi CdS/CdTe geterotuzilmasining fotoelektrik jarayonlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatishini ko‘rsatdi. CdS qalinligi oshishi bilan oyna qatlamida yutiladigan yorug‘lik miqdori ortadi va natijada CdTe absorber qatlamiga yetib boradigan fotonlar oqimi kamayadi 1-rasm.



1-rasm. *Turli CdS oyna qatlami qalinliklarida CdS/CdTe geterotuzilmasida fotogeneratsiya tezligi va SRH rekombinatsiya tezligining fazoviy taqsimoti.*

CdS qatlamining qalinlashishi ayniqsa CdS/CdTe interfeysi yaqinidagi fotogeneratsiya jarayonlariga ta’sir qiladi. Optik yo‘qotishlarning ortishi natijasida CdTe qatlamida hosil bo‘ladigan zaryad tashuvchilar soni kamayadi. Bu esa fotoelektrik qurilmaning qisqa tutashuv toki va umumiy samaradorligiga salbiy ta’sir ko‘rsatishi mumkin.

Tadqiqot natijalarida CdS qalinligining o‘zgarishi SRH rekombinatsiya profillarining ham o‘zgarishiga olib kelishi aniqlandi. Chunki fotogeneratsiya qilingan tashuvchilarning fazoviy taqsimoti o‘zgarganda, faol sohadagi muvozanatdan tashqari tashuvchilar konsentratsiyasi va rekombinatsiya yo‘qotishlari ham o‘zgaradi.

Juda kichik CdS qalinliklarida CdTe absorber qatlamiga yorug‘lik uzatilishi yaxshi bo‘lsa-da, geterointerfeysning samarali ishlashi uchun yetarli qalinlik talab qilinadi. Hisoblash natijalari bo‘yicha taxminan 0,10 μm CdS qatlami optik o‘tkazuvchanlik va samarali geterotuzilma hosil bo‘lishi o‘rtasida qulay muvozanatni ta’minlashi aniqlandi.

Xulosa. Ushbu ishda CdS/CdTe yupqa qatlamli geterotuzilmalarda CdS oyna qatlamining qalinligi fotogeneratsiya va SRH rekombinatsiya jarayonlariga ta’siri optik modellashtirish asosida o‘rganildi.

Olingan natijalar asosida quyidagi xulosalarga kelindi:

- CdS qatlam qalinligi geterotuzilmaning optik xususiyatlari va fotoelektrik ko‘rsatkichlarini belgilovchi muhim parametr ekanligi aniqlandi;
- CdS qatlamining ortiqcha qalinlashishi undagi optik yo‘qotishlarni oshirib, CdTe absorber qatlamiga yetib boruvchi fotonlar oqimini kamaytirishi ko‘rsatildi;
- fotogeneratsiya jarayonining fazoviy taqsimoti CdS qatlam qalinligi bilan bog‘liq ravishda o‘zgarishi va bu holat rekombinatsiya jarayonlariga ta’sir qilishi aniqlandi;
- CdS qatlamining optimal qalinligini tanlashda yorug‘lik o‘tkazuvchanligi, geterointerfeys sifati va zaryad tashuvchilar rekombinatsiyasini kompleks hisobga olish zarurligi ko‘rsatildi;
- olingan natijalar CdS/CdTe asosidagi yuqori samarali yupqa qatlamli fotoelektrik qurilmalarni loyihalash uchun muhim ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Yulchiyev, I. I., Khidirov, D. S., Raximjonov, J. S., Madraximov, M. M., Abdullaev, S. S., & Mirzayev, V. T. (2026). Comprehensive Analysis of Morphology, Structure, and Photovoltaic Properties of CdTe and CdTe: In Thin Films. *East European Journal of Physics*, (2), 411-418.
2. Mirzaev, V. T., Akhmadaliyev, B. J., Yulchiev, I. I., Madraximov, M. M., & Rakhmonov, T. I. (2025). Temperature and Infrared Quenching of Equilibrium Conductivity in CdSexS1-x Film. *East European Journal of Physics*, (2), 247-251.
3. Ayibzhanov, M., Mamatov, O., Mirzaev, V., & Tuychibaev, B. (2024). Luminescence spectrum of cadmium chalcogenide photovoltaic film structures and their power enhancement. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 583, p. 04003). EDP Sciences.
4. Rakhmonov, T., Yusupov, F., Mirzaev, V., Tursunov, I., Rakhimjonov, J., & Akhmadaliyev, J. (2025). Bio-engineered ZnO/PSi nanocomposites: Structural and optical properties for biosensing applications. In *BIO Web of Conferences* (Vol. 173, p. 03015). EDP Sciences.

CdS/CdTe YUPQA QATLAMLI GETEROTUZILMALARDA CdTe ABSORBER QATLAMI QALINLIGINING FOTOGENERATSIYA VA ZARYAD TASHUVCHILAR YIG‘ILISHIGA TA’SIRI

Raximjonov Jahongir Saydaxmat o‘g‘li (doktorant), Mirzayev Valijon Tulqinovich (PhD)
Farg‘ona davlat texnika universiteti, O‘zbekiston. rahimjonov_jahongir@mail.ru, valijon.mirzayev@bk.ru

Annotatsiya. Ushbu ishda CdS/CdTe yupqa qatlamli geterotuzilmalarda CdTe absorber qatlamining qalinligi fotogeneratsiya, zaryad tashuvchilar transporti va rekombinatsiya jarayonlariga ta’siri optik modellashtirish asosida tadqiq qilindi. CdTe qatlami fotoelektrik qurilmalarda yorug‘lik energiyasini samarali yutuvchi faol qatlam sifatida muhim ahamiyatga ega. Tadqiqotda absorber qatlam qalinligi 0,5–6,0 μm oralig‘ida o‘zgartirilib, fotogeneratsiya tezligi hamda Shockley–Read–Hall (SRH) rekombinatsiya jarayonlarining fazoviy taqsimoti tahlil qilindi. Hisoblash natijalari kichik CdTe qalinliklarida yorug‘lik yutilish hajmi yetarli bo‘lmasligi sabab fotogeneratsiya darajasi cheklanishini ko‘rsatdi. Qatlam qalinligining ortishi bilan yorug‘lik yutilishi oshadi, biroq zaryad tashuvchilarning uzoq masofaga harakatlanishi rekombinatsiya yo‘qotishlarini kuchaytirishi mumkin. Optimal absorber qalinligini tanlashda optik yutilish, zaryad transporti va rekombinatsiya jarayonlarini kompleks hisobga olish zarurligi aniqlandi.

Kalit so‘zlar: CdS/CdTe geterotuzilma, CdTe absorber qatlam, yupqa qatlam, fotogeneratsiya, SRH rekombinatsiya, zaryad tashuvchilar.

Kirish. Zamonaviy mikro va nanoelektronika hamda fotoelektrik texnologiyalarning rivojlanishi yuqori samaradorlikka ega bo‘lgan yupqa qatlamli yarimo‘tkazgich qurilmalarni yaratishni talab qilmoqda. Ayniqsa, quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirish jarayonida qo‘llaniladigan yupqa qatlamli geterotuzilmalar optik yutilish, zaryad tashuvchilar generatsiyasi va ularning samarali yig‘ilishi kabi jarayonlarni boshqarish imkoniyati bilan katta ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etmoqda.

CdS/CdTe yupqa qatlamli geterotuzilmasi yuqori optik yutilish koeffitsiyenti, mos energetik tuzilishi va barqaror fotoelektrik xususiyatlari sababli zamonaviy fotovoltaik qurilmalar uchun istiqbolli yarimo‘tkazgich tizimlardan biri hisoblanadi. Ushbu tuzilishda CdS qatlami yorug‘likni o‘tkazuvchi oyna qatlami (window layer) vazifasini bajaradi, CdTe esa tushayotgan nurlanishni samarali yutuvchi absorber qatlam sifatida xizmat qiladi.

Fotoelektrik qurilmaning samaradorligi ko‘p jihatdan CdTe absorber qatlamining qalinligiga bog‘liq. Juda yupqa absorber qatlamlarda tushayotgan yorug‘likning bir qismi to‘liq yutilmay qolishi natijasida fotogeneratsiya qilingan zaryad tashuvchilar soni kamayishi mumkin. Aksincha, absorber qatlam qalinligining ortishi yorug‘lik yutilish hajmini kengaytiradi, biroq chuqur hosil bo‘lgan zaryad

tashuvchilarning kollektor kontaktlariga yetib borish masofasi ortishi sababli rekombinatsiya yo‘qotishlari kuchayishi ehtimoli mavjud.

CdTe absorber qatlamining optimal qalinligini aniqlashda faqat optik yutilish jarayonlarini emas, balki fotogeneratsiya, zaryad tashuvchilar transporti va rekombinatsiya jarayonlarini kompleks ravishda hisobga olish zarur. Ushbu ishda CdS/CdTe yupqa qatlamli geterotuzilmalarda CdTe absorber qatlamining turli qalinliklarida fotogeneratsiya va Shockley–Read–Hall (SRH) rekombinatsiya jarayonlarining fazoviy taqsimoti optik modellashtirish asosida tadqiq qilindi.

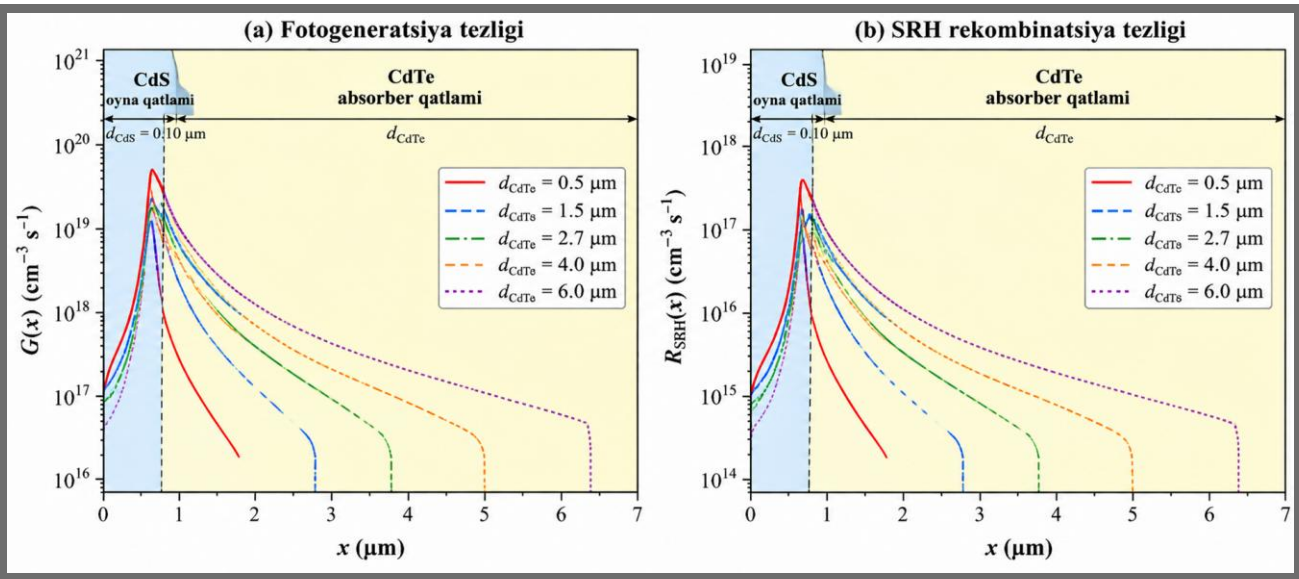
Tadqiqot usullari. Ushbu tadqiqotda CdS/CdTe yupqa qatlamli geterotuzilmalarda CdTe absorber qatlamining qalinligi fotogeneratsiya va zaryad tashuvchilar rekombinatsiyasi jarayonlariga ta’sirini baholash uchun optik modellashtirish usulidan foydalanildi. Hisoblashlar CdTe absorber qatlamining 0,5–6,0 μm oralig‘idagi turli qalinlik qiymatlari uchun amalga oshirildi.

Tadqiqot jarayonida AM1.5G standart quyosh nurlanishi sharoitida yorug‘lik oqimining geterotuzilma qatlamlari bo‘ylab taqsimlanishi, fotonlarning yutilishi va natijada hosil bo‘ladigan zaryad tashuvchilarning fazoviy taqsimoti tahlil qilindi. CdTe absorber qatlam qalinligining o‘zgarishi natijasida fotogeneratsiya tezligi hamda Shockley–Read–Hall (SRH) rekombinatsiya tezligining fazoviy profillari hisoblandi.

Olingan natijalarni tahlil qilishda absorber qatlam qalinligi, yorug‘lik yutilish hajmi, zaryad tashuvchilarning kontaktlargacha bo‘lgan harakat masofasi va rekombinatsiya yo‘qotishlari o‘rtasidagi bog‘liqlik baholandi. Ushbu yondashuv CdS/CdTe asosidagi yupqa qatlamli fotoelektrik qurilmalarda optimal absorber qatlam parametrlarini aniqlash imkonini beradi.

Natijalar va muhokama. CdS/CdTe yupqa qatlamli geterotuzilmalarda CdTe absorber qatlam qalinligining fotogeneratsiya va zaryad tashuvchilar yig‘ilish jarayonlariga ta’siri hisoblash natijalari asosida tahlil qilindi. Tadqiqot natijalari absorber qatlam qalinligi geterotuzilmaning optik va elektr xususiyatlarini belgilovchi muhim parametr ekanligini ko‘rsatdi 1-rasm.

Hisoblashlar shuni ko‘rsatdiki, kichik CdTe qalinliklarida tushayotgan yorug‘lik oqimining ma’lum qismi absorber qatlamida to‘liq yutilmaydi. Natijada faol qatlamda hosil bo‘ladigan fotogeneratsiya



1-rasm. *Turli CdTe absorber qatlam qalinliklarida CdS/CdTe geterotuzilmasida fotogeneratsiya va SRH rekombinatsiya tezliklarining fazoviy taqsimoti.*

qilingan zaryad tashuvchilar soni cheklanadi va fotoelektrik tok hosil bo‘lish jarayonining samaradorligi pasayadi.

CdTe absorber qatlam qalinligining oshishi bilan yorug‘likni yutish uchun faol hajm kengayadi va natijada fotogeneratsiya jarayoni kuchayadi. Biroq absorber qatlamning haddan tashqari qalinlashishi zaryad tashuvchilarning kollektor kontaktlariga yetib borish masofasini oshiradi. Bu esa tashuvchilarning rekombinatsiya ehtimolini kuchaytirib, ularning samarali yig‘ilishiga salbiy ta’sir ko‘rsatishi mumkin.

Fotogeneratsiya va SRH rekombinatsiya jarayonlarining fazoviy taqsimotini tahlil qilish natijasida absorber qatlam qalinligi ortishi bilan fotogeneratsiya jarayoni kattaroq hajmni qamrab olishi, biroq kontaktlardan uzoqda hosil bo‘lgan tashuvchilarning foydali fototok hosil qilishdagi hissasi kamayishi aniqlandi. Shu sababli absorber qatlam qalinligini faqat maksimal yorug‘lik yutilishini ta’minlash nuqtayi nazaridan tanlash yetarli emas, balki zaryad transporti va rekombinatsiya yo‘qotishlarini ham hisobga olish zarur.

Hisoblash natijalariga ko‘ra, tadqiq qilingan qalinlik oralig‘ida taxminan 2,7 μm CdTe absorber qatlami yorug‘lik yutilishi va zaryad tashuvchilar yig‘ilishi o‘rtasida eng qulay muvozanatni ta’minlaydi. Bunday qalinlikda CdTe qatlami tushayotgan nurlanishning katta qismini samarali yutadi, shu bilan birga zaryad tashuvchilarning ortiqcha transport masofasi va rekombinatsiya yo‘qotishlari cheklanadi.

CdTe absorber qatlamining optimal qalinligini aniqlashda optik yutilish, fotogeneratsiya, zaryad tashuvchilar transporti va SRH rekombinatsiya jarayonlarini o‘zaro bog‘liq holda tahlil qilish zarur. Olingan natijalar CdS/CdTe asosidagi yuqori samarali yupqa qatlamli fotoelektrik qurilmalarni loyihalash va parametrlarini optimallashtirish uchun muhim ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Xulosa. Ushbu ishda CdS/CdTe yupqa qatlamli geterotuzilmalarda CdTe absorber qatlam qalinligining fotogeneratsiya, zaryad tashuvchilar transporti va rekombinatsiya jarayonlariga ta’siri optik modellashtirish asosida tadqiq qilindi. Turli absorber qatlam qalinliklarida fotogeneratsiya tezligi va Shockley–Read–Hall (SRH) rekombinatsiya jarayonlarining fazoviy taqsimoti tahlil qilindi.

Olingan natijalar asosida quyidagi xulosalarga kelindi:

- CdTe absorber qatlamining qalinligi CdS/CdTe geterotuzilmasining fotoelektrik xususiyatlarini belgilovchi asosiy strukturaviy parametrlardan biri ekanligi aniqlandi;
- kichik CdTe qalinliklarida yorug‘likning absorber qatlamida yetarli darajada yutilmasligi sabab fotogeneratsiya qilingan zaryad tashuvchilar soni cheklanishi ko‘rsatildi;
- absorber qatlam qalinligining ortishi yorug‘lik yutilish hajmini kengaytirishi va fotogeneratsiya jarayonini kuchaytirishi bilan birga, zaryad tashuvchilarning uzoq masofaga harakatlanishi natijasida rekombinatsiya yo‘qotishlarini oshirishi mumkinligi aniqlandi;
- fotogeneratsiya va SRH rekombinatsiya jarayonlarini birgalikda tahlil qilish absorber qatlamining optimal qalinligini aniqlashda muhim ekanligi ko‘rsatildi;
- tadqiq qilingan qalinlik oralig‘ida taxminan 2,7 μm CdTe absorber qatlami yorug‘lik yutilishi va zaryad tashuvchilar yig‘ilishi o‘rtasida qulay muvozanatni ta’minlashi aniqlandi.

CdTe absorber qatlamining qalinligini faqat optik yutilishni maksimal darajada oshirish asosida emas, balki fotogeneratsiya, zaryad tashuvchilar transporti va rekombinatsiya jarayonlarini kompleks hisobga olgan holda tanlash zarur. Olingan natijalar CdS/CdTe asosidagi yuqori samarali yupqa qatlamli fotoelektrik qurilmalarni loyihalash va ularning ishlash parametrlarini optimallashtirish uchun muhim ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Yulchiyev, I. I., Khidirov, D. S., Raximjonov, J. S., Madraximov, M. M., Abdullaev, S. S., & Mirzayev, V. T. (2026). Comprehensive Analysis of Morphology, Structure, and Photovoltaic Properties of CdTe and CdTe: In Thin Films. *East European Journal of Physics*, (2), 411-418.

2. Mirzaev, V. T., Akhmadaliyev, B. J., Yulchiev, I. I., Madraximov, M. M., & Rakhmonov, T. I. (2025). Temperature and Infrared Quenching of Equilibrium Conductivity in CdSexS1-x Film. *East European Journal of Physics*, (2), 247-251.

3. Ayibzhanov, M., Mamatov, O., Mirzaev, V., & Tuychibaev, B. (2024). Luminescence spectrum of cadmium chalcogenide photovoltaic film structures and their power enhancement. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 583, p. 04003). EDP Sciences.

4. Rakhmonov, T., Yusupov, F., Mirzaev, V., Tursunov, I., Rakhimjonov, J., & Akhmadaliyev, J. (2025). Bio-engineered ZnO/PSi nanocomposites: Structural and optical properties for biosensing applications. In *BIO Web of Conferences* (Vol. 173, p. 03015). EDP Sciences.

CdS/CdTe YUPQA QATLAMLI GETEROTUZILMALARDA FOTOELEKTRIK JARAYONLARNI OPTIK MODELLASHTIRISH VA OPTIMALLASHTIRISH

Mirzayev Valijon Tulqinovich

Farg‘ona davlat texnika universiteti, O‘zbekiston. valijon.mirzayev@bk.ru

Annotatsiya. Ushbu ishda CdS/CdTe yupqa qatlamli geterotuzilmalarda yorug‘lik ta’sirida sodir bo‘ladigan fotogeneratsiya jarayonlari optik modellashtirish asosida tadqiq qilindi. CdS/CdTe tizimi yupqa qatlamli fotoelektrik qurilmalar uchun istiqbolli yarimo‘tkazgich geterotuzilmalardan biri bo‘lib, uning samaradorligi optik yutilish, qatlam qalinligi va zaryad tashuvchilarning fazoviy taqsimotiga bog‘liq. Tadqiqotda AM1.5G standart yorug‘lik sharoitida turli CdS va CdTe qatlam qalinliklari uchun fotogeneratsiya tezligining taqsimoti hisoblandi va tahlil qilindi. Olingan natijalar fotogeneratsiya jarayoni asosan CdS/CdTe interfeysi yaqinida intensiv kechishini, CdTe absorber qatlam chuqurligi ortishi bilan esa kamayishini ko‘rsatdi. Qatlam qalinliklarining optimal nisbatini tanlashda yorug‘lik yutilishi, zaryad tashuvchilar transporti va rekombinatsiya jarayonlarini kompleks hisobga olish zarurligi aniqlandi. Natijalar yuqori samarali yupqa qatlamli fotoelektrik qurilmalarni yaratishda muhim ahamiyatga ega.

Kalit so‘zlar: CdS/CdTe geterotuzilma, yupqa qatlam, fotogeneratsiya, optik yutilish, zaryad tashuvchilar, fotoelektrik qurilma.

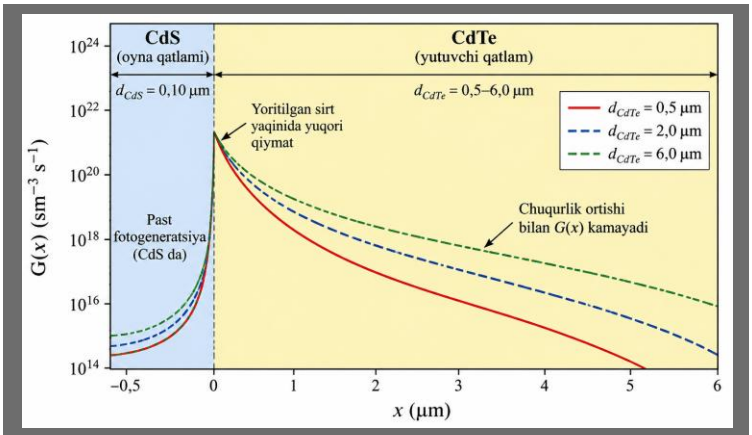
Kirish. Zamonaviy mikro va nanoelektronika hamda fotoelektrik texnologiyalarning jadal rivojlanishi yuqori samaradorlikka ega bo‘lgan yangi avlod yarimo‘tkazgich materiallari va yupqa qatlamli geterotuzilmalarni yaratishni talab qilmoqda. Ayniqsa, yorug‘lik energiyasini elektr energiyasiga aylantiruvchi fotoelektrik qurilmalarda yarimo‘tkazgich qatlamlarining optik, elektr va interfeys xususiyatlarini boshqarish muhim ilmiy-amaliy masalalardan biri hisoblanadi. Yupqa qatlamli geterotuzilmalar yorug‘lik yutilishini samarali boshqarish, zaryad tashuvchilar generatsiyasini oshirish hamda rekombinatsiya yo‘qotishlarini kamaytirish imkoniyati tufayli zamonaviy fotovoltaik qurilmalar uchun istiqbolli tizimlardan biri hisoblanadi.

CdS/CdTe geterotuzilmasi yupqa qatlamli quyosh elementlarida keng qo‘llaniladigan istiqbolli yarimo‘tkazgich tizimlardan biridir. Ushbu tuzilishda CdS qatlami optik oyna (window layer) vazifasini bajarib, tushayotgan nurlanishning faol qatlamga yetib borishini ta’minlaydi, CdTe esa yuqori yorug‘lik yutish qobiliyatiga ega bo‘lgan absorber qatlam sifatida xizmat qiladi. Bunday geterotuzilmalarda fotoelektrik xususiyatlar nafaqat materiallarning asosiy parametrlariga, balki qatlam qalinliklari, interfeys holati va yorug‘lik ta’sirida hosil bo‘ladigan zaryad tashuvchilarning fazoviy taqsimotiga ham kuchli bog‘liq.

Fotoelektrik qurilmalarda yuqori samaradorlikka erishish uchun fotonlarning yutilishi natijasida hosil bo‘ladigan elektron-kovak juftliklarining qayerda va qanday tezlikda hosil bo‘lishini aniqlash muhim ahamiyatga ega. Fotogeneratsiya jarayonining fazoviy taqsimoti zaryad tashuvchilarning keyingi transport

jarayonlari, rekombinatsiya ehtimoli va tashqi elektr zanjiriga yig‘ilish samaradorligini belgilaydi. Shu sababli yupqa qatlamli geterotuzilmalarda optik jarayonlarni modellashtirish va qatlam parametrlarining ta’sirini o‘rganish zamonaviy fotoelektronika uchun dolzarb yo‘nalishlardan biridir.

Ushbu ishda CdS/CdTe yupqa qatlamli geterotuzilmalarda AM1.5G standart yorug‘lik sharoitida fotogeneratsiya tezligining fazoviy taqsimoti optik modellashtirish asosida tadqiq qilindi. Turli CdTe absorber qatlam qalinliklarining fotogeneratsiya jarayoniga ta’siri tahlil qilinib, yuqori samarali fotoelektrik qurilmalarni yaratish uchun optimal strukturaviy parametrlarni tanlash imkoniyatlari baholandi.



1-rasm. *AM1.5G yoritish sharoitida turli CdTe qatlam qalinliklariga ega CdS/CdTe geterotuzilmalarida fotogeneratsiya tezligining fazoviy taqsimoti.*

Natijalar va muhokama. CdS/CdTe yupqa qatlamli geterotuzilmalarda fotogeneratsiya jarayonlarini tahlil qilish natijasida yorug‘lik energiyasining qatlamlar bo‘ylab taqsimlanishi va zaryad tashuvchilar hosil bo‘lish jarayonlari aniqlandi. AM1.5G standart yoritish sharoitida bajarilgan hisoblash natijalari fotogeneratsiya tezligining fazoviy taqsimoti geterotuzilmaning strukturaviy parametrlariga sezilarli darajada bog‘liq ekanligini ko‘rsatdi.

Hisoblash natijalariga ko‘ra, fotogeneratsiya tezligining eng yuqori qiymatlari yoritilgan sirt yaqinida hamda CdS/CdTe interfeys sohasi atrofida kuzatiladi. Buning asosiy sababi ushbu hududlarda tushayotgan yorug‘lik oqimining kuchli yutilishi va elektron-kovak juftliklarining faol hosil bo‘lishidir. CdTe absorber qatlamining chuqurligi ortishi bilan fotonlar oqimining kamayishi natijasida fotogeneratsiya tezligi pasayadi. Bu holat yarimo‘tkazgich qatlam ichida yorug‘lik intensivligining eksponensial kamayishi bilan bog‘liq.

CdTe absorber qatlam qalinligining oshirilishi tizimda yorug‘likni yutish uchun faol hajmni kengaytiradi va natijada hosil bo‘ladigan fotogeneratsiya qilingan zaryad tashuvchilar sonini oshiradi 1-rasm. Biroq, absorber qatlam hajmining ortishi avtomatik ravishda fotoelektrik samaradorlikning proporsional oshishiga olib kelmaydi. Chunki qatlam chuqurligida hosil bo‘lgan zaryad tashuvchilar yig‘uvchi kontaktlargacha yetib borish jarayonida transport yo‘qotishlari va rekombinatsiya jarayonlariga duch kelishi mumkin. Shu sababli fotogeneratsiya jarayonini faqat yutilgan fotonlar soni bilan emas, balki zaryad tashuvchilarning transport xususiyatlari bilan birgalikda baholash zarur.

CdS oyna qatlamining qalinligi ham geterotuzilmaning optik xususiyatlariga muhim ta’sir ko‘rsatadi. CdS qatlamining haddan tashqari qalinlashishi undagi parazit optik yutilishning ortishiga sabab bo‘lib, CdTe absorber qatlamiga yetib boradigan fotonlar oqimini kamaytirishi mumkin. Aksincha, yupqaroq CdS qatlamlari yorug‘likning CdTe qatlamiga samaraliroq kirib borishini ta’minlaydi. Shuning uchun CdS qatlam qalinligini tanlashda uning himoyalovchi va optik o‘tkazuvchi xususiyatlari o‘rtasidagi muvozanatni hisobga olish lozim.

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, CdS/CdTe yupqa qatlamli geterotuzilmalarda optimal parametrlarni aniqlash uchun faqat umumiy optik yutilish ko‘rsatkichlarini hisobga olish yetarli emas. Fotogeneratsiyaning fazoviy taqsimoti, zaryad tashuvchilarning harakat masofasi va rekombinatsiya jarayonlari birgalikda tahlil qilinishi kerak. Ushbu yondashuv yuqori samarali yupqa qatlamli fotoelektrik qurilmalarni loyihalash va ularning ishlash parametrlarini yaxshilash imkonini beradi.

Xulosa. Ushbu ishda CdS/CdTe yupqa qatlamli geterotuzilmalarda yorug‘lik ta’sirida yuzaga keladigan fotogeneratsiya jarayonlari optik modellashtirish asosida tadqiq qilindi. AM1.5G standart yorug‘lik

sharoitida turli qatlam qalinliklarining fotogeneratsiya jarayoniga ta’siri va zaryad tashuvchilar hosil bo‘lishining fazoviy taqsimoti tahlil qilindi.

Olingan natijalar asosida quyidagi xulosalarga kelindi:

- CdS/CdTe geterotuzilmasida fotogeneratsiya jarayoni qatlamlarning optik xususiyatlari va ularning qalinlik parametrlariga kuchli bog‘liq ekanligi aniqlandi;
- fotogeneratsiya tezligining maksimal qiymatlari asosan yoritilgan sirt va CdS/CdTe interfeysi yaqinida kuzatilishi, bu sohalarda yorug‘lik yutilishi va zaryad tashuvchilar hosil bo‘lish jarayonlari intensiv kechishi ko‘rsatildi;
- CdTe absorber qatlam qalinligining oshishi yorug‘lik yutilish hajmini kengaytirishi va hosil bo‘ladigan zaryad tashuvchilar sonini oshirishi aniqlangan bo‘lsa-da, qatlam qalinligini ortiqcha oshirish zaryad tashuvchilarning kontaktlarga yetib borish masofasini uzaytirishi va rekombinatsion yo‘qotishlarni kuchaytirishi mumkinligi ko‘rsatildi;
- CdS qatlamining qalinligi geterotuzilmaning optik samaradorligini belgilovchi muhim parametr ekanligi aniqlandi. CdS qatlamining ortiqcha qalinlashishi undagi parazit optik yutilish hisobiga CdTe absorber qatlamiga tushuvchi fotonlar oqimini kamaytirishi mumkin;
- CdS/CdTe yupqa qatlamli fotoelektrik qurilmalarni optimallashtirishda faqat yorug‘lik yutilishini emas, balki fotogeneratsiyaning fazoviy taqsimoti, zaryad tashuvchilar transporti va rekombinatsiya jarayonlarini kompleks ravishda hisobga olish zarurligi ko‘rsatildi.

Shunday qilib, amalga oshirilgan tadqiqot natijalari CdS/CdTe asosidagi yupqa qatlamli fotoelektrik qurilmalarning strukturaviy parametrlarini tanlash va ularning samaradorligini oshirish uchun muhim ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Yulchiyev, I. I., Khidirov, D. S., Raximjonov, J. S., Madraximov, M. M., Abdullaev, S. S., & Mirzayev, V. T. (2026). Comprehensive Analysis of Morphology, Structure, and Photovoltaic Properties of CdTe and CdTe: In Thin Films. *East European Journal of Physics*, (2), 411-418.
2. Mirzaev, V. T., Akhmadaliyev, B. J., Yulchiev, I. I., Madraximov, M. M., & Rakhmonov, T. I. (2025). Temperature and Infrared Quenching of Equilibrium Conductivity in CdSexS1-x Film. *East European Journal of Physics*, (2), 247-251.
3. Ayibzhanov, M., Mamatov, O., Mirzaev, V., & Tuychibaev, B. (2024). Luminescence spectrum of cadmium chalcogenide photovoltaic film structures and their power enhancement. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 583, p. 04003). EDP Sciences.
4. Rakhmonov, T., Yusupov, F., Mirzaev, V., Tursunov, I., Rakhimjonov, J., & Akhmadaliyev, J. (2025). Bio-engineered ZnO/PSi nanocomposites: Structural and optical properties for biosensing applications. In *BIO Web of Conferences* (Vol. 173, p. 03015). EDP Sciences.

n-SnO_2/p-Si GETEROSTRUKTURALARNING ELEKTROFIZIK VA MORFOLOGIK XUSUSIYATLARINI TADQIQ ETISH

Madraximov M.M. Sh.Sh.Abdullayev
Farg‘ona davlat universiteti, *O‘zbekiston. Madrahimovmuminjon43@gmail.com*

Annotatsiya

Ushbu ishda n-SnO_2/p-Si geterostrukturaning shakllanishi va uning sirt morfologiyasi bilan bog‘liq fizik xususiyatlari tahlil qilinadi. SnO_2 qatlamlari vakuumda termik bug‘latish usuli bilan Si(100) asosga hosil qilingan bo‘lib, qatlam qalinligi 50 nm atrofida deb qaraladi. Tadqiqotda sirt morfologiyasining donadorligi, zichligi, g‘ovakligi va kristallitlarning shakllanish darajasi SEM tasvirlari asosida baholandi.

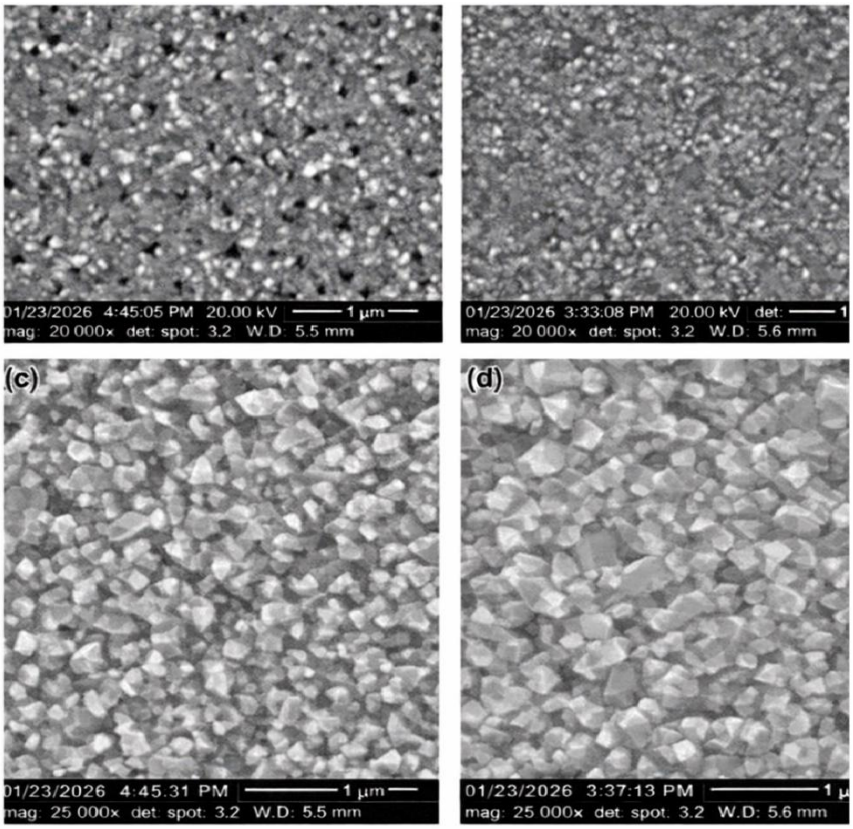
Olingan tasvirlar SnO_2 qatlamida polikristall nanodonali tuzilma mavjudligini hamda kristallanish jarayonida mayda donalardan yirikroq va zichroq kristallitlarga o‘tish tendensiyasi kuzatilishini ko‘rsatadi. Morfologik o‘zgarishlar heterostrukturaning zaryad tashuvchilar transporti, don chegaralaridagi sochilish va sirt holatlariga ta’sir qilishi mumkin.

Kalit so‘zlar: SnO_2, p-Si, n-SnO_2/p-Si, geterostruktura, SEM, sirt morfologiyasi, kristallit, don chegarasi, vakuumda termik bug‘latish, elektrofizik xossalar.

Kirish. SnO_2 keng taqiqlangan zonali, n-tip o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lishi mumkin bo‘lgan oksid yarimo‘tkazgich bo‘lib, yupqa qatlamli elektronika, sensorlar, optoelektronika va geterostrukturalarda keng qo‘llanadi. SnO_2 qatlamini p-tip Si bilan birlashtirish natijasida n-SnO_2/p-Si geterostruktura hosil bo‘ladi. Bunday tizimda ikki materialning taqiqlangan zonasi, ish funksiyasi, elektron affiniteti va zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi farqi kontakt sohasida energetik zonalarning qayta taqsimlanishiga olib keladi. Shu sababli qatlamning morfologik sifati va kristallanish darajasi geterostrukturaning tok-kuchlanish va sig‘im-kuchlanish xususiyatlarini talqin qilishda muhim omil hisoblanadi.

Tajriba va tadqiqot usuli.SnO_2 yupqa qatlami vakuumda termik bug‘latish usuli yordamida Si(100) asosga cho‘ktirilgan. Qatlamning nominal qalinligi 50 nm sifatida olindi. Sirt morfologiyasi SEM usulida o‘rganildi. SEM tasvirlari orqali donalarning shakli, o‘lchamining nisbiy o‘zgarishi, donalararo chegaralar, g‘ovaklik va qoplamaning kompaktligi sifat jihatdan baholandi. Ushbu tahlil qatlamning mikrostrukturasi va keyingi elektrofizik o‘lchovlarda kuzatiladigan transport jarayonlarini o‘zaro bog‘lash imkonini beradi.

SEM tasvirlari va sirt morfologiyasi tahlili. Quyidagi SEM tasvirlar to‘plami SnO_2 qatlamining turli morfologik holatlarini solishtirish imkonini beradi. Tasvirlarda uzluksiz qoplama, polikristall nanodonali tuzilma va sirtning granulali xususiyati kuzatiladi. Katta va uzluksiz yoriqlar yaqqol ko‘rinmaydi. Yorqin va to‘q kontrastlarning barchasini kimyoviy tarkib farqi sifatida talqin qilish to‘g‘ri emas; SEM kontrasti topografik va elektron-emissiya xususiyatlari bilan ham bog‘liq bo‘lishi mumkin.



1-rasm. SnO_2 qatlamining SEM tasvirlari: (a) mayda va nisbatan g‘ovak donali; (b) bir tekisroq va zichroq; (c) yirikroq, fasetkali kristallitlar; (d) kompakt va yaxshi shakllangan donador tuzilma.

Yuqori chapdagi (a) tasvirda sirt mayda va notekis shaklli donachalardan tashkil topgan. Donalarning taqsimoti bir jinsli emas, sirt nisbatan qo‘pol va heterogen. Qoramtir nuqtalar mikrobo‘shliqlar yoki zichlashishi pastroq hududlar mavjudligini ko‘rsatishi mumkin. Bunday morfologiya nukleatsiya markazlari ko‘pligi, biroq donlarning o‘sishi hali cheklangan bosqichda ekanligi bilan izohlanishi mumkin. Mayda donalar sirtning faol maydonini oshirishi mumkin, biroq don chegaralarining ko‘pligi zaryad tashuvchilar sochilishini kuchaytirib, elektr qarshilikni oshirishi ehtimoli mavjud.

Yuqori o‘ngdagi (b) tasvirda donalar mayda bo‘lsa-da, ularning taqsimoti (a) ga nisbatan bir tekisroq va sirt zichroq ko‘rinadi. Bo‘shliqlar sonining kamayishi qoplamaning uzluksizligi yaxshilanganini bildiradi. Bu holat sirt bo‘ylab yadro hosil bo‘lishining nisbatan bir maromda kechganini ko‘rsatadi. Qoplamaning kompaktligi oshishi elektron transport yo‘llarining uzluksizligiga ijobiy ta’sir ko‘rsatishi mumkin.

Pastki chapdagi (c) tasvirda morfologik jihatdan yirikroq va aniq shakllangan, ko‘p qirrali kristallitlar paydo bo‘lgan. Don chegaralari ravshan, g‘ovaklik esa oldingi tasvirlarga qaraganda kamaygan. Bu kristallitlarning o‘sishi va qatlamning zichlashish jarayoni kuchayganidan dalolat beradi. Don chegaralarining nisbatan kamayishi tashuvchilar sochilishining pasayishiga va elektr transportining yaxshilanishiga olib kelishi mumkin.

Pastki o‘ngdagi (d) tasvir eng rivojlangan morfologik holatlardan birini ifodalaydi. Donalar yirikroq, ravshanroq va ko‘p qirrali; sirt kompakt va bo‘shliqlar kam. Donalararo tutashuvning yaxshilanishi kristallitlarning koalesensiyasi va strukturaviy yetilish jarayonlari bilan bog‘lanishi mumkin. Bunday tuzilma don-chegara sochilishining kamayishi sababli elektr xususiyatlarga ijobiy ta’sir ko‘rsatishi mumkin, biroq sirt maydonining kamayishi ayrim sirtga sezgir jarayonlarda sezgirlikni pasaytirishi ehtimoli mavjud.

Morfologik rivojlanishning fizik talqini.SEM tasvirlari asosida morfologik evolyutsiyani shartli ravishda quyidagi ketma-ketlikda ifodalash mumkin: mayda va notekis donali holat → bir jinsli mayda donali holat → yirik fasetkali kristallitlar → zich va yaxshi yetilgan donador tuzilma. Bu jarayon davomida sirt energiyasini kamaytirishga intilish, kristallitlarning o‘sishi va donlarning koalesensiyasi muhim rol o‘ynaydi. Natijada donalararo kontaktlar yaxshilanib, qatlamning strukturaviy bir xilligi ortadi.

n-SnO_2/p-Si geterostrukturaning elektrofizik xossalariga ta’siri. Morfologiya geterostrukturaning elektr xususiyatlariga bevosita va bilvosita ta’sir qiladi. Don chegaralari zaryad tashuvchilar uchun sochilish markazlari va mahalliy potensial to‘siqlar hosil qilishi mumkin. Shuning uchun mayda va g‘ovak tuzilma bilan yirik, kompakt tuzilmaning VAX parametrlari farq qilishi kutiladi. Agar kontakt to‘g‘rilovchi xususiyatga ega bo‘lsa, past kuchlanishlar sohasidagi oqim diffuziya-termoion emissiya yoki tunnellanish mexanizmlari bilan, yuqori kuchlanishlarda esa fazoviy zaryad bilan cheklangan oqim va boshqa transport mexanizmlari bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin. Eksperimental VAX ma’lumotlaridan ideallik koeffitsienti va potensial to‘siq balandligini aniqlash mumkin.

Xulosa

SEM tahlili SnO_2 qatlamlarida polikristall nanodonali tuzilma mavjudligini ko‘rsatadi. Tasvirlar bo‘yicha morfologik rivojlanish mayda, nisbatan g‘ovak donalardan yirikroq, aniq shakllangan va kompakt kristallitlarga tomon boradi. Qatlamning zichligi va donalararo tutashuvi ortishi elektr transportida don-chegara sochilishining kamayishi uchun qulay sharoit yaratishi mumkin. Shu bilan birga, SEM natijalarini VAX, R(T) va C–V o‘lchovlari bilan birgalikda tahlil qilish n-SnO_2/p-Si geterostrukturaning zaryad tashuvchilar transport mexanizmini ancha ishonchli aniqlash imkonini beradi.

Adabiyotlar

1. Sultanov N.A., Mirzajonov Z., Madrahimov M.M. et al. Study of the technology for fabrication and electrical characteristics of SnO_2-based heterojunctions on silicon. Proceedings. 2024. DOI: 10.1117/12.3095571.

2. Batzill M., Diebold U. The surface and materials science of tin oxide. Progress in Surface Science.

3. Minami T. Transparent conducting oxide semiconductors for transparent electrodes. Semiconductor Science and Technology.

4. Wang Z.L. Zinc oxide nanostructures: growth, properties and applications. Journal of Physics: Condensed Matter.

5. Sze S.M., Ng K.K. Physics of Semiconductor Devices. Wiley.

6. Rhoderick E.H., Williams R.H. Metal-Semiconductor Contacts. Oxford University Press.

SNO_2 YUPQA PLYONKALARINING MIKROSTRUKTURASI VA FIZIK XOSSALARI

Madraximov M.M.

Farg‘ona davlat texnika universiteti O‘zbekiston. Madrahimovmuminjon43@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada SnO_2 asosidagi yupqa plyonkalarining mikrostrukturasi, elektr va optik xossalari, shuningdek ularning izotermik tavlanish natijasida o‘zgarishi o‘rganilgan. Termik bug’latishusuli yordamida tayyorlangan plyonkalar 600 °C da 4 soat davomida havo muhitida tavlangan. Rentgen difraksiya tahlili orqali donalarning o‘lchami Sherrer formulasi asosida hisoblandi, optik o‘lchovlar esa yutilish zonasi kengligini aniqlashga imkon berdi. Tajriba natijalari plyonkalar strukturasining va elektr qarshiligining barqarorlashuvi izotermik tavlash jarayoni bilan bog‘liqligini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar. SnO_2, magnitron purkash, yupqa plyonka, mikrostrukturasi, rentgen difraksiya, optik yutilish, elektr qarshilik.

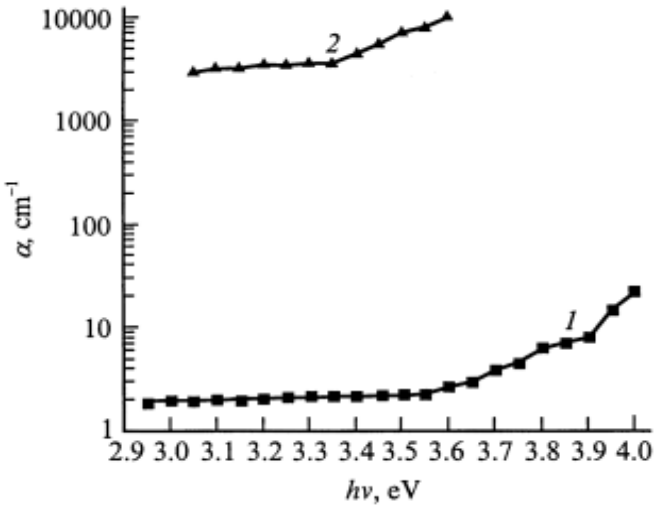
Kirish. SnO_2 asosidagi yarimo‘tkazgichli yupqa plyonkalar ekologik monitoring tizimlarida ishlatiladigan gaz sensorlarining sezgir qatlamlari sifatida keng qo‘llaniladi. Bu materiallar toksik va portlovchi gazlar konsentratsiyasini aniqlash imkonini beradi. Gazlar SnO_2 yuzasi bilan o‘zaro ta’sirlashganda, plyonkaning elektr o‘tkazuvchanligi o‘zgaradi, bu esa gaz konsentratsiyasiga proportsional bo‘ladi. Plyonkalar gaz sezgirligini aniqlovchi asosiy omillar — elektr qarshiligi, zaryad tashuvchilarning o‘tish mexanizmi, polikristall mikrostrukturasi va legirlanish darajasidir. SnO_2 plyonkalarning ishchi harorati 400 °C gacha yetishi mumkinligi sababli, ularning barqaror elektr parametrlari va strukturasi yuqori haroratli izotermik tavlash orqali ta’minlanadi.

Tajriba metodikasi. SnO_2 plyonkalari VUP-4 qurilmasida termik bug’latish usuli yordamida tayyorlandi. Ma’lum 99.98% sof qalay (Sn) maqsadi 3% surma (Sb) bilan legirlangan holda ishlatildi. Purkash jarayoni Ar (25%) va O_2 (75%) aralashmasida, 440 V kuchlanish va 0.25 mA tokda olib borildi. Plyonkalar oldindan qizdirilmagan shisha tagliklarda hosil qilindi. Plyonka qalinligi interferension mikroskop yordamida o‘lchandi va 1–5 mkm oralig‘ida bo‘ldi. Yuzaki qarshilik to‘rt zondli usulda, zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi va harakatchanligi esa Vander-Vals usuli bilan 0.63 T magnit maydonda aniqlangan.

Donalarning o‘rtacha o‘lchami Sherrer formulasi yordamida hisoblandi:

$$D = k\lambda / [(B - b) \cos \theta]$$

bu yerda k=0.89 – empirik konstanta, λ – nurlanish to‘lqin uzunligi, B – refleksning to‘liq kengligi, b – etalon kengligi, θ – Bragg burchagi. Donalarning morfologiyasi elektron mikroskop orqali tahlil qilindi. SnO_2 plyonkalar 600 °C da 4 soat davomida tavlandi va natijalar struktura barqarorligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatdi.

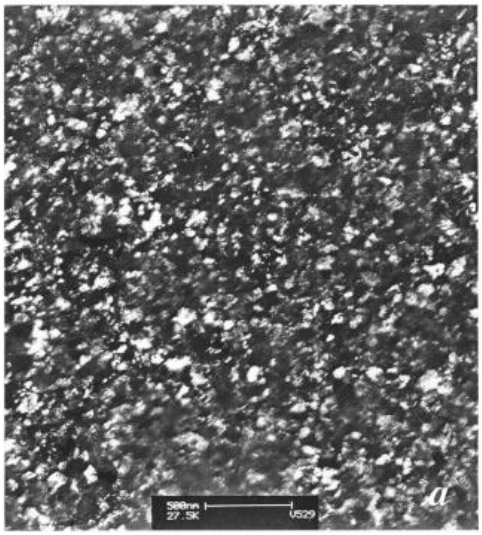


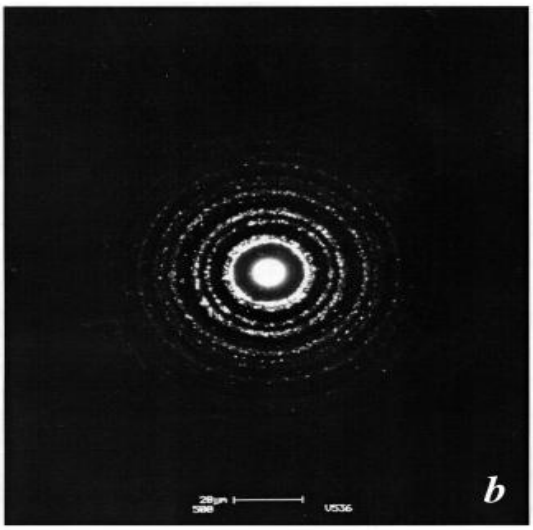
Rasm 1 – SnO_2 plyonkasining optik yutilish spektri

Eksperimental natijalar va muhokama. Olingan SnO_2 plyonkalar shaffof va sarg‘ish tusli bo‘lib, oynasimon silliq yuzaga ega edi. Optik yutilish spektrlari asosida yutilish koeffitsienti $\alpha = (10^3–10^4)$ sm^{-1} ekanligi aniqlandi. Yutilish chekkasi 2.8–3.3 eV oralig‘ida joylashgan. Tahlillar $\alpha^{1/2}=f(h\nu)$ koordinatalarida to‘g‘ri chiziqli ekanini ko‘rsatdi, bu bilvosita optik o‘tishlarga mos keladi. Taqiqlangan zona kengligi $\Delta E \approx$ 3 eV bo‘lib, bu monokristall SnO_2 uchun 3.54 eV dan kichikdir. Bunday farq namunadagi defektlar va nestechiometrik tarkib bilan izohlanadi.

Plyonkalar sirt qarshiligi $R_s = 10^2–10^3$ Om diapazonida bo‘lib, 400 °C da qizdirilgandan so‘ng bu qiymatlar barqarorlashadi. Bu holat kislorod atomlarining qayta taqsimlanishi va donalar chegaralarida defektlarning kamayishi bilan bog‘liq. Bundan tashqari, tavlangan namunalar gaz sezgirligida yuqori barqarorlikni ko‘rsatgan.

SnO_2 plyonkalarning mikrostrukturasi transmissiyali elektron mikroskopiya (TEM) usuli yordamida o‘rganildi (2-rasm). Olingan natijalar rentgen tahlili ma’lumotlariga to‘liq mos keladi. Donalarning o‘lchamlari va shakllarida sezilarli nojo‘ya birxillik (geterogenlik) mavjud bo‘lib, ularning agregat (aglomerat) holatlari ham kuzatildi.





2-rasm (a) da plyonkaning temnopol (dark-field) tasviri keltirilgan.

Bragg yo'nalishiga yaqin joylashgan kristallar yanada yorqin kontrast bilan ajralib turadi. Oraliq tekisliklar orasidagi masofalar birinchi yetti difraksiya halqalarining diametrlari bo'yicha o'lchanib (2-rasm, b), rentgen difraksiyasi ma'lumotlariga o'xshash turli strukturasiga mos kelishi aniqlangan.Temnopol tasvir asosida 100 dan ortiq kristallitlarning katta va kichik o'qlari bo'yicha o'lchamlari aniqlanib, o'rtacha qiymatlar hisoblab chiqildi. Natijada donalar o'lchami 11,0–19,4 nm diapazonida ekanligi aniqlandi. Afsuski, juda mayda (3 nm dan kichik) kristallitlarni hisobga olish qiyin bo'ldi.Kvantitativ mikroanaliz natijalariga ko'ra, plyonkadagi surma (Sb) ning o'rtacha miqdori 3 atom foiz (at%) ni tashkil etadi. Bunday surma konsentratsiyasiga ega SnO_2 plyonkalar yaxshi elektr o'tkazuvchanlik**,** barqarorlik va yuqori gaz sezgirlik xossalari bilan ajralib turadi [9].Shuningdek, surma miqdori plyonkaning markazida periferiyasiga nisbatan taxminan 1,5 marta yuqori ekanligi aniqlandi.

Xulosa. SnO_2 asosidagi yupqa plyonkalar termik bug'latish usuli bilan muvaffaqiyatli tayyorlandi. Ularning izotermik tavlanishi struktura barqarorligini oshirib, elektr qarshiligini pasaytiradi va optik xossalarini yaxshilaydi. O'tkazilgan tahlillar SnO_2 plyonkalarining gaz sezgirlik qurilmalarida samarali ishlatilishi mumkinligini ko'rsatadi.

Foydalanilgan adabiyotlar.

1. Gurlo A., Barsan N. Gas sensing with SnO_2: theory and applications. Sensors and Actuators B, 2019.
2. Korotcenkov G. Metal oxides for solid-state gas sensors. Elsevier, 2020.
3. Comini E., Faglia G., Sberveglieri G. Tin oxide nanowires as chemical sensors. J. Mater. Res., 2018.
5. Madraximov M.M. et al. Structural and optical properties of SnO_2 thin films, FerPI Conf., 2024.

EFFECT OF THERMAL ANNEALING ON THE SPECTRAL PHOTOSENSITIVITY OF GaSe SINGLE CRYSTALS IMPLANTED WITH 70 keV H^+ IONS

S.A.Hajiyeva[1,2]

1. Institute of Physics, Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

2. Chemlab LLC, Baku, Azerbaijan, E-mail: chemlab80@gmail.com

Abstract. The effect of thermal annealing at 100 °C for 60 minutes on the spectral photosensitivity of a GaSe single crystal implanted with 70 keV H^+ ions was investigated. It was determined that for a GaSe crystal irradiated at a fluence of 5×10^{15} ions/cm², the peak photosensitivity increased by approximately 10% after thermal annealing, whereas at a fluence of 5×10^{16} ions/cm², it decreased by approximately 33%. The increase in photosensitivity at low fluence can be attributed to the partial recombination of implantation-induced radiation defects during thermal annealing, whereas the decrease at high fluence can be linked to the incomplete recovery of defects due to their high concentration and the persistence of photocarrier trapping and recombination processes. At the same time, no significant change was observed in the energy position of the main spectral maximum.

Keywords: GaSe, H^+ ion implantation, thermal annealing, spectral photosensitivity.

GaSe is a semiconductor material with a layered structure, and its photoelectric properties are sensitive to the crystal's defect structure and the energy levels present within the band gap. Ion implantation is one of the methods used for the controlled modification of the physical properties of semiconductor materials. Radiation defects induced in the crystal lattice during implantation can influence charge-carrier trapping and recombination processes, thereby affecting the material's electrical and photoelectric properties. Previous studies have also demonstrated that photoconductivity processes in GaSe single crystals depend significantly on the state of trap and recombination centers, as well as on the crystal's defect structure [1].

Studies conducted on GaSe single crystals implanted with various ions have demonstrated that implantation and subsequent thermal annealing affect the electrical and photoconductive properties of the crystal [2,3]. In our previous research, we investigated the effects of implantation and subsequent thermal annealing on the electrical conductivity and charge transport mechanism of GaSe single crystals implanted with 70 keV H^+ ions, as well as the implantation-induced trap levels [4,5].

In this context, it is of interest to investigate how the defect system formed by implantation—and its subsequent evolution during thermal annealing—affects the spectral photosensitivity of GaSe single crystals. The aim of this study is to determine the effect of subsequent thermal annealing on the spectral photosensitivity of GaSe single crystals implanted with 70 keV H^+ ions at various fluences. To this end, the spectral photosensitivity characteristics of samples implanted at fluences of 5×10^{15} and 5×10^{16} ions/cm² were comparatively investigated before and after thermal annealing at 100 °C.

Results and Discussion

To evaluate the effect of thermal annealing on the photoelectric properties of H^+-ion-implanted GaSe single crystals, the spectral photosensitivity characteristics measured from the lower surface of the crystal at various implantation fluences were analyzed comparatively. Figure 1 shows the spectral photosensitivity characteristics measured from the lower surface of samples implanted at fluences of 5×10^{15} and 5×10^{16} ions/cm², both before and after thermal annealing at 100 °C.

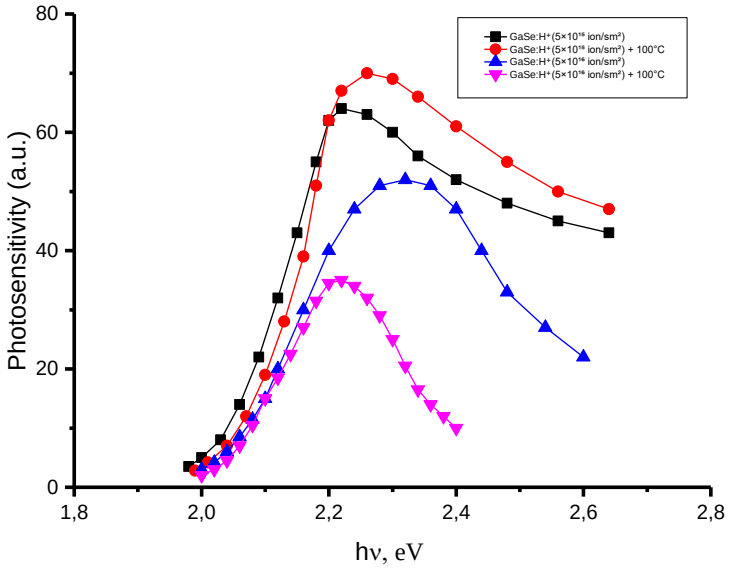


Figure 1. Dependence of the photosensitivity of the lower surface of H^+-ion-implanted GaSe single crystals on photon energy before and after thermal annealing: 1 – GaSe:H^+ (5×10^{15} ions/cm²); 2 – GaSe:H^+ (5×10^{15} ions/cm²) + 100 °C; 3 – GaSe:H^+ (5×10^{16} ions/cm²); 4 – GaSe:H^+ (5×10^{16} ions/cm²) + 100 °C.

In the sample implanted at a fluence of 5×10^{15} ions/cm², the main spectral maximum lies in the photon energy range of approximately 2.22–2.24 eV. While the maximum photosensitivity is approximately 63 relative units prior to thermal annealing, it rises to 69–70 relative units following thermal annealing at 100 °C. Thus, at this fluence, thermal annealing leads to a moderate increase in the maximum photosensitivity.

At a fluence of 5×10^{16} ions/cm², however, the opposite trend is observed. The maximum photosensitivity is approximately 51–52 relative units before thermal annealing and decreases to 34–35 relative units after thermal annealing. At the same time, no significant shift is observed in the energy position of the main spectral maximum.

The effect of implantation and subsequent thermal annealing on photoconductivity has also been observed in Si-ion-implanted GaSe single crystals, and these changes have been attributed to trap levels induced by the implantation [2]. Our results, however, indicate that in the case of H^+ implantation, the effect of thermal annealing can vary in opposite directions depending on the implantation fluence.

At low fluence, the increase in photosensitivity may be attributed to the partial recombination of implantation-induced radiation defects during thermal annealing, which reduces recombination losses and increases the effective photocarrier lifetime. At high fluence, however, the higher defect concentration may prevent complete defect recovery, so that photocarrier trapping and recombination processes remain significant, ultimately resulting in reduced photosensitivity.

Thus, the fact that the main spectral maximum remains practically unchanged in the 2.22–2.24 eV range following thermal annealing indicates that no significant shift occurs in the energy positions of the primary optical transitions responsible for photosensitivity. At the same time, the increase in the maximum intensity at low fluence and its decrease at high fluence may be attributed to changes in the state of implantation-induced defect centers and the associated photocarrier trapping and recombination processes during thermal annealing. Consequently, the nature of the observed spectral changes depends on the initial defect system determined by the implantation fluence.

Conclusion

It was determined that the effect of thermal annealing at 100 °C for 60 min on the spectral photosensitivity of GaSe single crystals implanted with 70 keV H^+ ions depended on the implantation fluence. While the maximum photosensitivity increased after thermal annealing at a fluence of 5×10^{15} ions/cm², it decreased significantly at a fluence of 5×10^{16} ions/cm². Furthermore, no noticeable change was observed in the energy position of the main spectral maximum. The results indicate that the changes occurring in GaSe:H^+ single crystals during thermal annealing depend on the state of the initial defect system formed by implantation and on the implantation fluence.

References

1. A.Sh. Abdinov, R.F. Babayeva, "Effects of Rare-Earth (Gd and Er) Doping and Electric Field on the Photoconductivity of p-GaSe Single Crystals," *Inorganic Materials*, 57 (2021). DOI: 10.1134/S0020168521020011.
2. O. Karabulut, M. Parlak, K. Yilmaz, R. Turan, B.G. Akinoglu, "Annealing effect on electrical and photoconductive properties of Si implanted GaSe single crystal," Crystal Research and Technology, 38(12), 1071–1076 (2003). DOI: 10.1002/crat.200310138
3. H. Karaağaç, M. Parlak, O. Karabulut, U. Serincan, R. Turan, B.G. Akınoğlu, "Structural, electrical and optical properties of Ge implanted GaSe single crystals grown by Bridgman technique," *Crystal Research and Technology*, 41(12), 1159–1166 (2006). DOI: 10.1002/crat.200610742
4. Madatov, R.S., Ahmedov, F.I., Mamedov, M.A., Hajiyeva, S., Nurmamadova, F.N. Characteristics of Injection Current in p-GaSe:H^+ Monocrystal Implanted with H^+ Ions. *Materials Open*, 2023. DOI: 10.1142/S2811086223500048.

5. Madatov, R.S., Alekperov, A.S., Haciyeva, S.A., Muradov, N.M., Huseynov, R.E. "Charge Transport Mechanism in Implanted p-GaSe:H^+ Single Crystal." *East European Journal of Physics*, No. 3, 2024, pp. 322–327. DOI: 10.26565/2312-4334-2024-3-35.

STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF Mn_4Si_7 CRYSTALS OBTAINED BY HIP AND SPS METHODS

B.D. Igamov[1] and I.R. Bekpulatov[2,*]
[1]Scientific and Technical Center with a Design Bureau and Pilot Production, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan 100125,
[2]Karshi State University 180119, Karshi, Uzbekistan,
*Corresponding author: ilkhomjon31121985@gmail.com

Abstract. In this study, manganese silicide (Mn_4Si_7) crystals obtained by Hot Isostatic Pressing (HIP) and Spark Plasma Sintering (SPS) were investigated using X-ray diffraction (XRD) and infrared (IR) transmission spectroscopy. The XRD analysis revealed 11 diffraction peaks in the samples obtained by HIP and 13 diffraction peaks in the samples produced by SPS. The crystallite size in the HIP samples ranged from 8.8×10^{-9} to 3.6×10^{-8} m, while the corresponding values for the SPS samples ranged from 3.8×10^{-9} to 3.6×10^{-8} m. The lattice deformation was found to vary from 0.01 to 0.41 for the HIP samples and from 0.002 to 0.19 for the SPS samples. The dislocation density at the crystal surface was estimated to be in the range of 3.5×10^{10}–3.2×10^{12} for the HIP samples and 7.4×10^{11}–7.9×10^{14} for the SPS samples. The degree of crystallization reached 6.4% and 7% for the HIP and SPS samples, respectively. The IR transmission spectra of the Mn_4Si_7 crystals obtained by the two processing methods exhibited differences, which can be associated with variations in their crystal structure and microstructural characteristics. The obtained results demonstrate that the processing technique has a significant effect on the structural parameters of Mn_4Si_7 crystals.

Keywords: Mn_4Si_7, manganese silicide, Hot Isostatic Pressing, Spark Plasma Sintering, X-ray diffraction, crystallite size, lattice deformation, dislocation density, IR spectroscopy.

Introduction

Manganese silicides are a class of functional materials whose physical properties are strongly related to their crystal structure and microstructural characteristics. In particular, crystallite size, lattice deformation, dislocation density, and degree of crystallization can significantly influence the structural and physical properties of these materials.The preparation technique is an important factor determining the final microstructure of a material [1-2]. Hot Isostatic Pressing (HIP) and Spark Plasma Sintering (SPS) are advanced powder-processing and sintering techniques that can produce materials with different structural characteristics. A comparative investigation of Mn_4Si_7 crystals prepared using these methods is therefore important for understanding the relationship between processing conditions and structural parameters. The aim of this work is to investigate and compare the structural characteristics of Mn_4Si_7 crystals obtained by HIP and SPS using X-ray diffraction and IR transmission spectroscopy [3-4].

Materials and Methods

Mn_4Si_7 crystals prepared using two different processing techniques, namely Hot Isostatic Pressing and Spark Plasma Sintering, were investigated. X-ray diffraction measurements were performed to characterize the crystal structure of the samples. The diffraction patterns were analyzed in terms of the number of diffraction peaks, crystallite size, lattice deformation, and dislocation density. For the HIP-produced samples, 11 diffraction peaks were identified. The crystallite size was determined to be within the range of 8.8×10^{-9}–3.6×10^{-8} m, while the lattice deformation varied from 0.01 to 0.41. For the SPS-produced

samples, 13 diffraction peaks were observed. The crystallite size ranged from 3.8×10^{-9} to 3.6×10^{-8} m, and the lattice deformation varied between 0.002 and 0.19. The structural characteristics of the samples were additionally investigated using IR transmission spectroscopy. Differences in the IR spectra were analyzed in relation to the structural characteristics of the Mn_4Si_7 crystals.

Results and Discussion

The XRD results demonstrate clear differences between the Mn_4Si_7 samples produced by HIP and SPS. The number of observed diffraction peaks was 11 for the HIP samples and 13 for the SPS samples. This difference indicates variations in the structural characteristics of the samples produced by the two processing techniques. The crystallite size of the HIP samples varied from 8.8×10^{-9} to 3.6×10^{-8} m. In the SPS samples, the crystallite size was found to be between 3.8×10^{-9} and 3.6×10^{-8} m. Thus, the samples produced by SPS exhibited a wider range of crystallite sizes toward the nanoscale region. The lattice deformation also differed considerably between the two groups of samples. For the HIP samples, the lattice deformation ranged from 0.01 to 0.41, whereas for the SPS samples it ranged from 0.002 to 0.19. These differences indicate that the sintering technique affects the structural state of the crystal lattice.

The dislocation density is another important parameter describing structural imperfections in crystalline materials. The dislocation density at the crystal surface was determined to be 3.5×10^{10}–3.2×10^{12} for the HIP samples and 7.4×10^{11}–7.9×10^{14} for the SPS samples. The considerably different ranges indicate that the processing technique influences the concentration and distribution of structural defects. The degree of crystallization was determined to be 6.4% for the HIP samples and 7% for the SPS samples. Although the difference is relatively small, it further indicates variations in the structural state of the samples obtained using the two techniques. The IR transmission spectra also differed between the HIP- and SPS-produced Mn_4Si_7 crystals. These spectral differences can be associated with variations in the crystal structure and microstructural state of the samples. Therefore, the IR spectroscopy results complement the XRD analysis and provide additional evidence of structural differences between the two groups of samples.

Conclusion

Mn_4Si_7 crystals obtained by Hot Isostatic Pressing and Spark Plasma Sintering were comparatively investigated using X-ray diffraction and IR transmission spectroscopy. The XRD analysis revealed 11 diffraction peaks in the HIP samples and 13 diffraction peaks in the SPS samples. The crystallite size ranged from 8.8×10^{-9} to 3.6×10^{-8} m for the HIP samples and from 3.8×10^{-9} to 3.6×10^{-8} m for the SPS samples. The lattice deformation varied from 0.01 to 0.41 in the HIP samples and from 0.002 to 0.19 in the SPS samples. The dislocation density was estimated to be 3.5×10^{10}–3.2×10^{12} for the HIP samples and 7.4×10^{11}–7.9×10^{14} for the SPS samples. The degree of crystallization reached 6.4% and 7% for the HIP and SPS samples, respectively. Differences observed in the IR transmission spectra further indicate variations in the structural characteristics of the samples. Overall, the results demonstrate that the preparation technique has an important influence on the crystal structure, crystallite size, lattice deformation, and defect characteristics of Mn_4Si_7 crystals.

References

1. Igamov, B. D., Kamardin, A. I., Nabiev, D. Kh., Bekpulatov, I. R., Imanova, G. T., Kosimov, A. S., Donaev, B. D., Normamatov, A. M., Jabarov, S. H., et al. (2025). **Study of Mn_4Si_7 silicide crystals obtained by hot isostatic pressing and spark plasma sintering methods in an X-ray diffractometer.** *Journal of Materials Science: Materials in Engineering*, 20, 45.

2. Liu, W.D., Chen, Z.G., & Zou, J. (2018). **Eco-Friendly Higher Manganese Silicide Thermoelectric Materials: Progress and Future Challenges.** *Advanced Energy Materials*, 8, 1800056.

3. Yang, L., Chen, Z.G., Dargusch, M. S., & Zou, J. (2018). **High-performance thermoelectric materials based on higher manganese silicides.** *Advanced Energy Materials*, 8, 1701797.

4. Girard, S. N., Chen, X., Meng, F., Pokhrel, A., Zhou, J., Shi, L., & Jin, S. (2014). **Thermoelectric Properties of Undoped High Purity Higher Manganese Silicides Grown by Chemical Vapor Transport.** *Chemistry of Materials*, 26(17), 5097–5104.

GAMMA-IRRADIATION-INDUCED STRUCTURAL AND DEFECT MODIFICATIONS AND THEIR EFFECT ON THE ELECTRICAL PROPERTIES OF $CuTlSe_2$ SINGLE CRYSTALS

R.S. Madatov[1,3], R.M. Mamishova[1,2], A.Sh. Khaligzade[1,2], S.Hasanzadeh[2]

[1] Institute of Physics PLE, Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, B. Vahabzadeh St. 9, AZ-1143, Baku, Azerbaijan

[2] Azerbaijan University of Architecture and Construction, Baku, Azerbaijan

[3] National Aviation Academy, Mardakan Avenue 30, AZ-1045, Baku, Azerbaijan

E-mail:rakshanamamishova26@yahoo.com

$CuTlSe_2$ is a layered chalcogenide semiconductor whose electrical properties are strongly related to structural disorder and native defect states. In this work, the effect of γ-irradiation on the structural state, surface morphology, defect structure, and electrical transport of $CuTlSe_2$ single crystals is considered. Structural and thermal characteristics were investigated together with microscopic surface observations, while electrical conductivity was measured in the 100–300 K temperature range. The results demonstrate that γ-irradiation modifies the defect system of $CuTlSe_2$ and changes the balance between donor- and acceptor-type radiation defects. At low irradiation doses, donor-type radiation defects partially compensate the initial acceptor defects, leading to a decrease in conductivity. With increasing dose, acceptor-type defects become dominant and the conductivity increases. The obtained results indicate a direct relationship between radiation-induced structural/defect modifications and charge-transport behavior in $CuTlSe_2$, which is relevant to the assessment of this material for radiation-resistant semiconductor applications[1-5].

$CuTlSe_2$ belongs to the family of layered ternary chalcogenide semiconductors and has attracted attention because of its structural and electronic properties. The tetragonal crystal structure is characterized by lattice parameters of approximately a = 4.08 Å and c = 8.16 Å, with z = 2. For semiconductor applications, the stability of charge transport under ionizing radiation is particularly important. γ-irradiation can introduce or modify point defects, change the compensation of native impurities and vacancies, and consequently alter the electrical response of a crystal. Therefore, analysis of the relationship between structural and defect changes and electrical conductivity provides information about the radiation response of $CuTlSe_2$.

$CuTlSe_2$ single crystals were investigated before and after exposure to γ-radiation. Structural and thermal characteristics were examined using X-ray phase analysis and differential thermal analysis, together with microscopic investigation of the crystal surface. The effect of irradiation on surface morphology was also observed by atomic-force microscopy. Electrical conductivity measurements were carried out in the temperature range of 100–300 K. The irradiation dose was varied over the range used for the electrical and structural investigations, including doses up to several hundred krad.

The structural investigations confirm the tetragonal character of $CuTlSe_2$. γ-irradiation produces measurable modifications of the crystal state and surface morphology. Microscopic observations show that

the surface relief changes after irradiation, with pronounced modifications observed at absorbed doses up to approximately 500 krad. These changes indicate that irradiation affects the defect structure and near-surface state of the crystal.

The electrical measurements reveal two characteristic temperature regions. In the 100–250 K interval, the activation energy is approximately 0.01 eV, whereas in the 250–300 K interval it increases to about 0.22 eV. Such a change indicates that different thermally activated charge-transport processes contribute in the investigated temperature ranges.

The dose dependence of conductivity can be interpreted in terms of competing radiation-induced donor- and acceptor-type defects. At relatively low doses ($D\gamma < 500$ Gy), donor-type radiation defects partially compensate the initial acceptor defects. As a result, the concentration of electrically active acceptor centers is reduced and the conductivity decreases. At higher doses ($D\gamma > 500$ Gy), the contribution of acceptor-type defects becomes dominant, resulting in an increase in conductivity. Thus, the non-monotonic radiation response reflects the evolution of the defect population rather than a simple degradation of the crystal.

The combined structural, morphological, and electrical observations demonstrate that radiation-induced defects play a central role in determining the charge-transport properties of $CuTlSe_2$. The observed correlation between irradiation-induced surface/structural modifications and conductivity changes provides a basis for evaluating $CuTlSe_2$ as a semiconductor material for operation in ionizing-radiation environments.γ-Irradiation produces structural, morphological, and defect-related modifications in $CuTlSe_2$ single crystals. The electrical conductivity measured between 100 and 300 K is characterized by activation energies of approximately 0.01 eV and 0.22 eV in the 100–250 K and 250–300 K ranges, respectively. At low doses, donor-type radiation defects partially compensate initial acceptor defects and reduce conductivity, whereas at higher doses acceptor-type defects dominate and conductivity increases. These results establish a clear relationship between radiation-induced defect evolution and electrical transport in $CuTlSe_2$.

References

1. R. Madatov, R. Mamishova, A. Abasova, Sh. Alahverdiyev, “Differential-thermal analysis and a microscopic study of the effect of γ-radiation on $CuTlSe_2$ single crystal,” International Journal of Modern Physics B, 37, 2350265 (2023). DOI: 10.1142/S021797922350265X.
2. R. S. Madatov, R. M. Mamishova, A. Sh. Khaligzade, L. E. Sadigli, “Radiation-Induced Property Modifications in $CuTlSe_2$ Single Crystals and Their Application in Gamma-Resistant Devices,” conference thesis (2025).
3. Joshua et al., “Insight on a novel layered semiconductors: CuTlS and CuTlSe,” Physical Review B, 78, 060505 (2008).
4. Abishov et al., Inorganic Materials, 15, 1514–1516 (1979).
5. R. Madatov et al., “Crystallin structure and differential thermal analysis of CuTlS compound,” Journal of Radiation Researches, 6(2), 50–54 (2019).

СТРУКТУРНОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ Bi(Pb)-Sr-Ca-Cu-O ПРЕКУРСОРОВ ПО ДАННЫМ XRD И XPS

Бобокулов С.Х., Эшонкулов Э.Б., *PhD по т.н.*, **Ибодуллаев С.А.**

Институт материаловедения Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан
E-mail: siroj-1705@mail.com

Аннотация. Исследовано структурное и химическое состояние двух прекурсорных образцов системы Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O, обозначенных 2245 и 2267. Рентгенодифракционные данные показывают сочетание широкого диффузного фона в области 2θ≈20-40° с набором узких брэгговских максимумов, что указывает на стеклокристаллическое, а не полностью аморфное состояние. Для образца 2245 наиболее интенсивный максимум наблюдается при 2θ≈29,6°, тогда как для 2267 выражены рефлексы около 36,5 и 29,4°. Методом XPS установлено присутствие Bi, Pb, Sr, Ca, Cu и O. После привязки энергетической шкалы по C 1s=284,8 эВ дублет Bi 4f располагается около 158,7/164,0 эВ. Спектры Cu 2p содержат основные линии и интенсивные shake-up-сателлиты, характерные для преимущественно Cu(II)-состояния. Асимметрия O 1s обусловлена вкладом как решёточного, так и поверхностного/дефектного кислорода. Совместный анализ XRD и XPS подтверждает многофазное неравновесное состояние прекурсоров и различия в локальном окружении меди.

Ключевые слова: Bi(Pb)-ВТСП, прекурсор, XRD, XPS, стеклокристаллическое состояние, Cu 2p, кислород.

Введение

Система Bi-Sr-Ca-Cu-O является одним из базовых семейств высокотемпературных купратных сверхпроводников; введение Pb в Bi-содержащую подсистему существенно влияет на фазообразование и способствует формированию высокотемпературной 2223-фазы при соответствующих термических условиях [1-3]. Кинетика образования фаз Bi(Pb)-Sr-Ca-Cu-O сложна и зависит от состава, температуры, времени выдержки и участия промежуточных жидких и вторичных фаз [4-6]. Поэтому для быстро сформированных прекурсоров важно одновременно характеризовать дальний структурный порядок методом XRD и локальное химическое состояние элементов методом XPS.

Цель работы - сопоставить структурное и поверхностно-химическое состояние прекурсорных образцов 2245 и 2267 и установить признаки их аморфно-кристаллической неоднородности и различия в локальном окружении Cu и O.

Материалы и методы

Исследованы пластинчатые прекурсорные образцы 2245 и 2267, полученные в рамках работ по быстрому плавлению многокомпонентной шихты с последующим интенсивным охлаждением. Количественная фазовая доля отдельных соединений в настоящей работе не определялась.

XRD-измерения выполнены на PANalytical EMPYREAN с CuK_α-излучением ($K_{\alpha1}$=1,540598 Å, $K_{\alpha2}$=1,544426 Å) при 45 кВ и 40 мА; диапазон 2θ=10,01-90,00°, шаг около 0,0131°. XPS проведён на Thermo Scientific ESCALAB 250Xi с монохроматическим AlK_α-излучением 1486,68 эВ и пятном около 500 мкм. Энергия пропускания составляла 100 эВ для survey и 20 эВ для спектров высокого разрешения; применялась компенсация заряда. Шкала энергии связи приведена к C 1s=284,8 эВ.

Результаты и обсуждение

Дифрактограммы обоих образцов содержат широкий диффузный вклад, наиболее заметный в области 2θ≈20-40°, на фоне которого присутствуют узкие брэгговские максимумы (рисунок 1). Такое сочетание показывает, что образцы нельзя считать полностью аморфными: их корректнее

описывать как стеклокристаллические прекурсоры с аморфной матрицей и кристаллическими включениями.

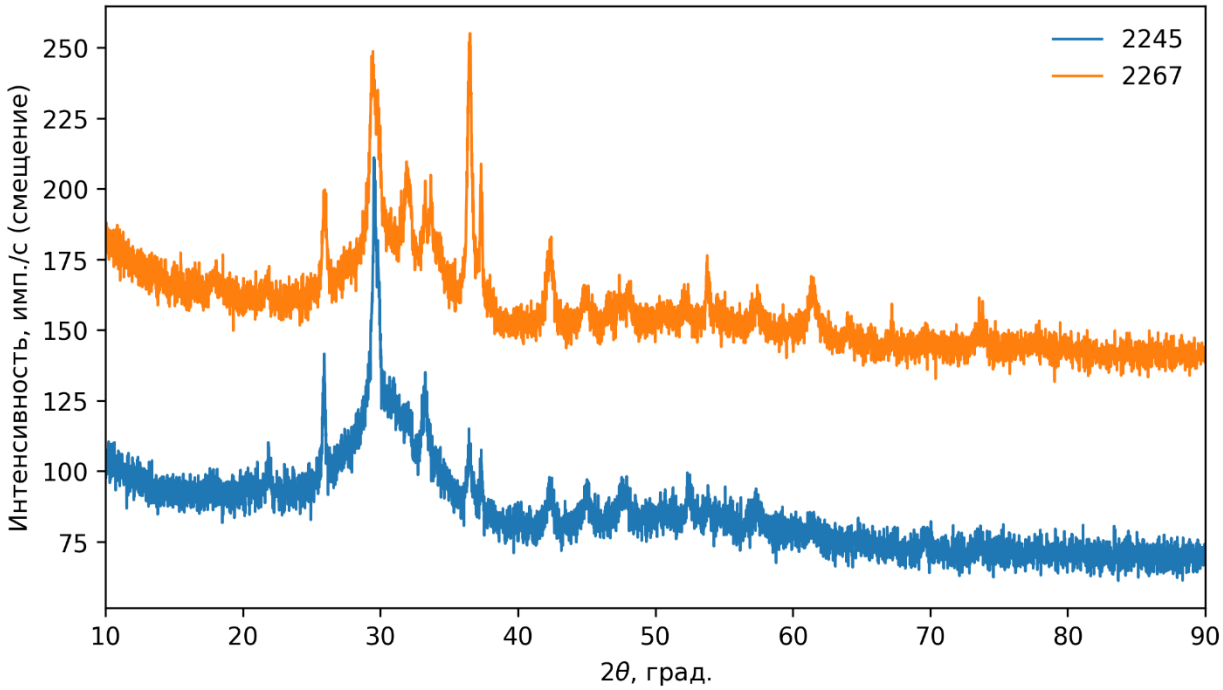


Рисунок 1. Дифрактограммы образцов 2245 и 2267 (кривая 2267 смещена по вертикали).

Для 2245 наиболее интенсивный максимум расположен при 2θ≈29,57°; заметны рефлексы около 25,88; 33,27; 36,49; 42,33; 47,89 и 52,44°. Для 2267 наиболее выражены максимумы около 36,49 и 29,44°, а также 31,95; 33,65; 37,32; 42,40; 48,06; 53,78 и 61,45°. Более развитый набор узких рефлексов у 2267 свидетельствует об отличии характера кристаллизации. Однозначно приписывать пики фазам 2212 или 2223 только по этим данным нельзя из-за перекрытия с вторичными фазами. Например, для Ca_2CuO_3 литературой приводятся рефлексы около 35,1 и 36,3° [10], поэтому максимум 2267 при 36,49° допускает вклад Ca-Cu-содержащей вторичной фазы.

Обзорные XPS-спектры подтверждают присутствие Bi, Pb, Sr, Ca, Cu и O. Положение Bi 4f после привязки по C 1s практически совпадает: Bi 4f7/2≈158,7 эВ и Bi 4f5/2≈164,0 эВ, что соответствует окисленному Bi в Bi-O окружении [7,8].

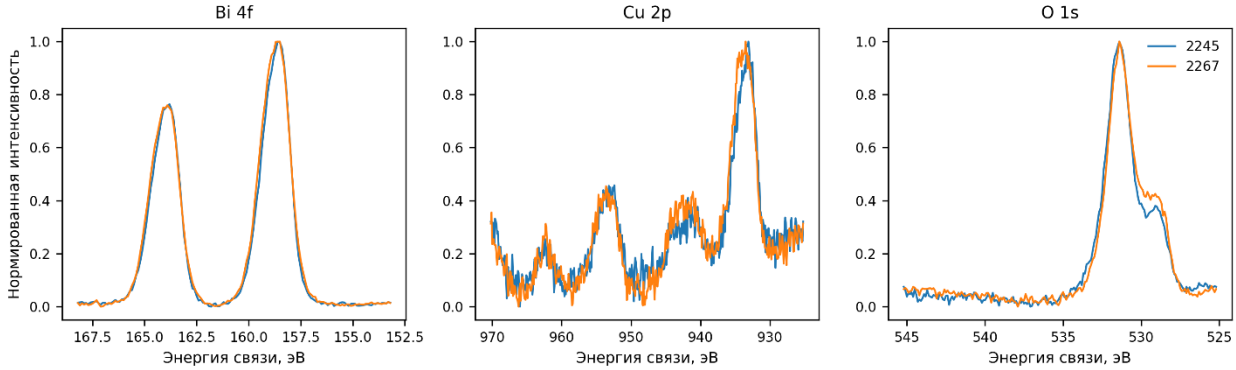


Рисунок 2. Нормированные XPS-спектры Bi 4f, Cu 2p и O 1s образцов 2245 и 2267.

Наиболее заметное различие обнаружено в Cu 2p. Для 2245 Cu 2p3/2 и Cu 2p1/2 расположены около 933,3 и 953,1 эВ, для 2267 - около 934,1 и 953,9 эВ. В обоих случаях наблюдаются shake-up-

сателлиты около 942-943 и 962-963 эВ, типичные для преимущественно Cu(II)-состояния с сильным взаимодействием Cu-O [7,8]. Сдвиг основных линий примерно на 0,8 эВ в 2267 указывает на изменение локального электронного окружения Cu; окончательная количественная интерпретация требует согласованного компонентного фитирования.

Контур O 1s асимметричен и содержит вклады около 529,0-529,1 и 531,4 эВ. Первый преимущественно связан с решёточным кислородом металл-O, второй может включать кислород в дефектном и поверхностном окружении. В C 1s, кроме линии 284,8 эВ, фиксируется слабый компонент около 288,6-289,0 эВ, совместимый с карбонатными/O-C=O-группами поверхности. Области Pb 4f и Sr 3d требуют совместного учёта перекрывающихся вкладов, поэтому количественное разложение здесь не использовалось.

Совместно XRD и XPS показывают аморфно-кристаллическую неоднородность прекурсоров и близкое состояние Bi и Ca при заметном различии Cu 2p. Эти особенности необходимо учитывать при последующей термообработке, поскольку формирование 2212/2223-фаз чувствительно к локальному составу и вторичным фазам [4-6,9,10].

Выводы

1. Оба прекурсора имеют стеклокристаллический характер: широкий диффузный фон XRD сочетается с дискретными брэгговскими рефлексами; у 2267 узкие рефлексы выражены сильнее.
2. XPS подтверждает наличие Bi, Pb, Sr, Ca, Cu и O. Положение Bi 4f и Ca 2p близко, тогда как линии Cu 2p в 2267 смещены примерно на 0,8 эВ к большим энергиям связи.
3. Shake-up-сателлиты Cu 2p указывают на преимущественно Cu(II)-состояние; асимметрия O 1s отражает решёточный и поверхностный/дефектный кислород.
4. Для количественной фазовой идентификации необходимы Rietveld-уточнение XRD и согласованное компонентное фитирование XPS.

Литература

1. Maeda H., Tanaka Y., Fukutomi M., Asano T. A New High-T_c Oxide Superconductor without a Rare Earth Element // Japanese Journal of Applied Physics. 1988. Vol. 27. P. L209-L210. DOI: 10.1143/JJAP.27.L209.
2. Takano M., Takada J., Oda K., Kitaguchi H., Miura Y., Ikeda Y., Tomii Y., Mazaki H. High-T_c Phase Promoted and Stabilized in the Bi, Pb-Sr-Ca-Cu-O System // Japanese Journal of Applied Physics. 1988. Vol. 27. P. L1041-L1043. DOI: 10.1143/JJAP.27.L1041.
3. Endo U., Koyama S., Kawai T. Preparation of the High-T_c Phase of Bi-Sr-Ca-Cu-O Superconductor // Japanese Journal of Applied Physics. 1988. Vol. 27. P. L1476-L1479. DOI: 10.1143/JJAP.27.L1476.
4. Chen Y.L., Stevens R. 2223 Phase Formation in Bi(Pb)-Sr-Ca-Cu-O: I. The Role of Chemical Composition // Journal of the American Ceramic Society. 1992. Vol. 75. P. 1142-1149. DOI: 10.1111/j.1151-2916.1992.tb05551.x.
5. Chen Y.L., Stevens R. 2223 Phase Formation in Bi(Pb)-Sr-Ca-Cu-O: II. The Role of Temperature-Reaction Mechanism // Journal of the American Ceramic Society. 1992. Vol. 75. P. 1150-1159. DOI: 10.1111/j.1151-2916.1992.tb05552.x.
6. Oh S.S., Osamura K. Temperature Dependence of the Phase Relation in the Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O Superconducting Ceramics // Superconductor Science and Technology. 1991. Vol. 4. P. 239. DOI: 10.1088/0953-2048/4/6/005.
7. Nguyen T.-P., Faulques E., Molinié P. XPS Studies of the Bi-Sr-Ca-Cu-O Ceramics at Temperatures near Tc // Physical Review B. 1993. Vol. 48. P. 12989-12992. DOI: 10.1103/PhysRevB.48.12989.
8. Dagoury G., Raffy H., Labdi S., Megtert S. Relationships between X-ray Photoelectron Spectra and Superconductivity in Bi-O Thin Films // Journal of the Less-Common Metals. 1990. Vol. 164-165. P. 1359-1368. DOI: 10.1016/0022-5088(90)90557-Z.

9. Kim S.H., Kim Y.Y., Lee S.H., Kim K.H. Thermodynamic Study of the Effects of Pb-Addition on the Formation of the 2223 Phase in the Bi-Based Superconductor System // Physica C. 1992. Vol. 196. P. 27-33. DOI: 10.1016/0921-4534(92)90133-W.

10. Nanda Kishore K., Muralidhar M., Hari Babu V. Effect of Ca_2CuO_3 on the Formation of (2223) Phase in the Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O System // Materials Science and Engineering B. 1992. Vol. 14. P. 401-407. DOI: 10.1016/0921-5107(92)90082-K.

ДЕГРАДАЦИЯ ПОЛИЭТИЛЕНА В ПРОЦЕССЕ УСКОРЕННОГО СТАРЕНИЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КОНЦЕНТРИРОВАННОГО СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Ш.Р. Нурматов, М.Х. Руми, М.А. Зуфаров, Э.П. Мансурова, С.Х. Уролов,
Н. Кенжаев, Р. Оринбоев, С. Гулматов
Институт материаловедения Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан.
E-mail: nur1973@list.ru

Проблемы деградации полиэтилена, составляющего значительную часть пластиковых отходов в мире, являются предметом многочисленных исследований. Изучение влияния природных факторов на процессы окисления проводят как в лабораториях, так и в естественных климатических условиях. В данном материале представлены результаты ускоренных испытаний изделий из полиэтилена высокой плотности в условиях циклического комбинированного воздействия концентрированного солнечного излучения на БСП (г. Паркент) и естественных климатических факторов в течение 75 дней. Плотность лучистого потока в центре зоны облучения составляла 0,6 Вт/см^2, температура на поверхности около 60°C [1]. Изделия представляли собой трубу (P-1) и геомембрану (P-2) черного цвета, а также фитинг оранжевого цвета (P-3). Методами ИК-спектроскопии и XRD определяли содержание продуктов окисления путем расчета кетонового и винильного индексов [2], а также сведения о кристаллической структуре и фазовом составе образцов.

Дифрактограммы всех образцов показывают типичную картину аморфно-кристаллического полиэтилена. На дифрактограмме образца P-1отмечено наличие $CaCO_3$. В таблице 1 приведены данные о параметрах элементарной ячейки и размерах кристаллитов, рассчитанных по формуле Шерера

$$L_c = \frac{K*\lambda}{B*\cos\theta},$$

где: B -полуширина пика (FWHM), K – постоянная Шеррера (0,89), λ –длина волны излучения, а θ – угол Брэгга.

Таблица 1. Данные о структуре полиэтилена в образцах до и после испытаний.

Образцы		Параметры элементарной ячейки ПЭ				Размеры кристаллов, D, нм	
		a,Å	b, Å	c, Å	V, Å^3	D 110	D 200
P-1	до	7,4394	4,9661	2,5558	94,42	21,1	17,9
	после	7,4300	4,9594	2,5515	94,02	25,3	22,5
P-2	до	7,4722	4,9708	2,5528	94,82	17,0	14,9

	после	7,4658	4,9647	2,5512	94,56	20,0	16,7
Р-3	до	7,5048	4,9952	2,5603	95,98	15,4	13,6
	после	7,4827	4,9718	2,5549	95,05	20,0	18,0

Из приведенных в таблице данных видно, что размеры кристаллитов (областей когерентного рассеяния) во всех образцах после испытаний увеличивался, при этом их рост коррелировал с толщиной образца. Можно предположить, что в нашем случае причиной роста кристаллитов является термическая кристаллизация, вызванная длительным, хотя и не непрерывным, нагревом при температуре около 60°C [3]. Толстые образцы (Р-1 и особенно Р-3) при смене условий окружающей среды более долгое время сохраняют накопленное тепло, по сравнению с наиболее тонким образцом Р-2. Степень изменения параметров ячейки также пропорциональна толщине образца. Литературные данные весьма противоречивы в обосновании динамики изменений данных характеристик. Поэтому для более полного понимания такого поведения требуется проведение дополнительных, более глубоких исследований

ИК-спектры исходных образцов отражали типичную картину спектра полиэтилена. При этом было установлено наличие неоднородности исходного состава образца Р-1, выражающиеся в наличии или отсутствии полос поглощения, относящиеся к наполнителю $CaCO_3$. Также во всех образцах в исходном состоянии отмечали наличие слабой полосы поглощения карбонильных групп в области 1690-1770 см$^{-1}$, обусловленных наличием технологических добавок и первичного термоокисления в процессе производства, что было учтено при расчете карбонильного и кетонового индексов. После испытаний было отмечено увеличение интенсивности полос поглощения связей C=O (карбонильных групп) и связей C-O с максимумом при 1030 см$^{-1}$, что свидетельствовало о протекании окислительных процессов. Характер и степень деградации испытуемых образцов зависели от фазового состава, цвета, а также толщины изделий. Так в наиболее тонком образце Р-2, превалирующим являлось фотоокисление, что нашло отражение в форме кривой ИК - спектра в области карбонильных соединений, увеличении кетонового и винильного индексов. В образцах большей толщины (Р-1 и Р-3) рост кетонового индексов сохранялся, достигая максимального значения у образца Р-3. При этом в последнем отмечали только расход ненасыщенных винильных связей, вследствие более заметного влияния процесса термоокисления [4]. На уменьшение стабильность трубы также оказало влияние наличие в ее составе неравномерно распределенного $CaCO_3$ [5]. Кетоновый индекс, рассчитанный по пику 1718 см$^{-1}$, составлял 0,045-0,053. После завершения испытаний черные образцы сохранили исходный цвет, поверхность фитинга обесцветилась.

Полученные данные свидетельствуют о начальной или умеренной степени деградации изделий, прошедших ускоренные испытания.

Ключевые слова: полиэтилен, фотоокисление, термоокисление, кетон, винил.

1. Sobirov, Yu. B.,Makhmudov, S. Sh., Abdurakhimov, F. F. Determination of the Resistance of Polymeric Materials to Solar Radiation./ Applied Solar Energy. 2022; 58:6. https://doi.org/10.3103/S0003701X22060159

2. Jasmine Almond, Piriya Sugumaar, Margot N. Wenzel, Gavin Hill, and Christopher Wallis, Determination of the carbonyl index of polyethylene and polypropylene using specified area under band methodology with ATR-FTIR spectroscopy./e-Polymers 2020; 20: 369–381. https://doi.org/10.1515/epoly-2020-0041

3. Nabila Rouba, Tahar Sadoun, Naima Boutagrabet et al. Thermo-Oxidation and Biodegradation Study of Low-Density Polyethylene /Starch Films by IR Spectroscopy/ Iranian Journal of Chemistry & Chemical Engineering-international English Edition, 2015,Vol. 34, Issue 4 - Serial 76, Pp 69-78 DOI: 10.30492/ijcce.2015.15458

4. Mélanie Gardette , Anthony Perthue , Jean-Luc Gardette , Tünde Janecska , Eniko Földes , Béla Pukánszky , Sandrine Therias, Photo- and thermal-oxidation of polyethylene: Comparison of mechanisms and influence of unsaturation content, , Polymer Degradation and Stability. 2013;98: 2383-2390. DOI : 10.1016/j.polymdegradstab.2013.07.017

5. Paula A. Zapata , Humberto Palza , Boris Díaz , Andrea Armijo , Francesca Sepúlveda , J. Andrés Ortiz , Maria Paz Ramírez and Claudio Oyarzún, Effect of $CaCO_3$ Nanoparticles on the Mechanical and Photo-Degradation Properties of LDPE/ Molecules 2019, 24, 126; DOI:10.3390/molecules24010126

ИЗМЕНЕНИЕ КРИСТАЛЛИЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНА ПОСЛЕ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ НА БСП

Ш.Р. Нурматов, М.Х. Руми, Э.П.Мансурова, М.А. Зуфаров, С.Х. Уролов,

Н. Кенжаев, Р. Оринбоев, С. Гулматов

Институт материаловедения Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан.

E-mail: uralovsiroj144@gmail.com

Для определения степени деградации изделий из полиэтилена, выпускаемых предприятием СП «Махсус Полимер Заводи» в условиях воздействия атмосферных факторов и концентрированного солнечного излучения в афокальной области БСП при плотности потока в центре зоны облучения 0,6 Вт/см^2. Температура на поверхности образцов составляла около 60°C [1].

Полиэтилен относится к группе полиолефинов, которые в твердом состоянии являются аморфно-кристаллическими микрогетерогенными полимерами. Кристалличность является одной из важнейших морфологических характеристик и влияет на многие макроскопические свойства. Процессы фотоокислительной деградации полимеров происходят в основном в аморфных областях и вызывают хемокристаллизацию. Существует ряд методов, используемых для определения кристалличности, однако из-за особенностей каждого, полученные результаты могут не совпадать.

Нами для определения кристалличности изделий из полиэтилена были использованы методы рентгеновской дифракции (XRD), ИК-Фурье спектроскопии и дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК). Кроме того, на основе данных ДСК был произведен расчет толщины ламелей по формуле Гиббса-Томсона [2]. С увеличением толщины образца ($h_{P-2} < h_{P-1} < h_{P-3}$) на кривых ДСК наблюдали расщепление максимума эндотермического пика плавления (рис.1).

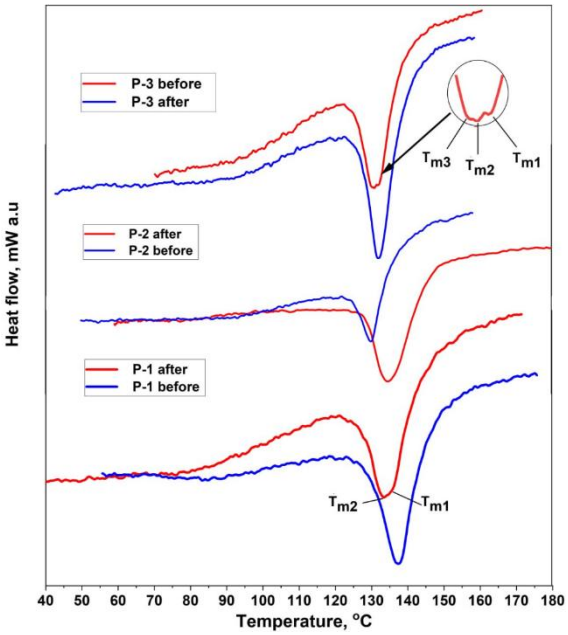


Рис.1. Кривые ДСК образцов полиэтилена до и после испытаний

Как видно из таблицы 1, по данным ИК и РФА в процессе испытаний происходит увеличение степени кристалличности во всех образцах. Результаты, полученные путем расчета по энтальпии плавления методом ДСК, показывают, что тенденция увеличения кристалличности после испытаний сохраняется только в образце Р-2, содержащем наибольшее количество аморфной фазы.

Таблица 1. Степень кристалличности образцов полиэтилена различной толщины до и после испытаний, полученная различными методами.

Образцы	ИК (Хс*100)		РФА		ДСК	
	до	после	до	после	до	после
Р-1	62	65	59	62	59	57
Р- 2	56	59	58	64	47	58
Р- 3	66	68	64	66	63	59

Кристалличность образца Р-1 стабильна в пределах ошибки измерений (±2%), что может быть обусловлено, в том числе, присутствием минерального наполнителя $CaCO_3$. Кристалличность образца Р-3 заметно снижается.

Полученные данные о степени кристалличности, температуре плавления и толщине ламелл свидетельствует о протекании процесса фотоиндуцированной хемокристаллизации в образце Р-2. С увеличением толщины образцов отмечается появление неоднородности в образцах, обусловленных превалированием термоокислительных реакций. Наиболее заметно это наблюдается в наиболее толстом образце Р-3. Образование тонких и дефектных ламелей до 6,5 нм (в сравнении с исходными около 10 нм), плавящихся при более низкой температуре, нашло отражение в уменьшении энтальпии плавления образца в отличие от остальных образцов. Полученные данные находятся в соответствии с имеющимися литературными данными, согласно которым значения

кристалличности, полученные методом ДСК, всегда ниже, и тенденции ее изменения отличаются от тенденций, наблюдаемых двумя другими методами [3].

Ключевые слова. полиэтилен, окисление, кристалличность, энтальпия.

1.Sobirov, Yu. B.,Makhmudov, S. Sh., Abdurakhimov, F. F. Determination of the Resistance of Polymeric Materials to Solar Radiation./ *Applied Solar Energy*. 2022; 58:6. https://doi.org/10.3103/S0003701X22060159

2.Rodriguez AK, Mansoor B, Ayoub G, Colin X, Benzerga AA, Effect of UV aging on the mechanical and fracture behavior of low density polyethylene /Polymer Degradation and Stability 2020; 180: 109185. doi: https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2020.109185

3.Mustapha Kaci , Tahar Sadoun & Sossio Cimmino Crystallinity Measurements of Unstabilized and HALS-stabilized LDPE Films Exposed to Natural Weathering by FT-IR, DSC and WAXS Analyses./International Journal of Polymer Analysis and Characterization. 2001; 6:5: 455-464, DOI: 10.1080/1023666010803396

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КАТИОННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НА МАГНИТНЫЕ И МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА $LiCoFeO_4$

Сатволдиев Иномжон Абдусалимович

Ферганский государственный технический университет, Фергана, Узбекистан

E-mail: gift.85@mail.ru

Шпинельные ферриты представляют собой функциональные оксидные материалы, магнитные, электрические и оптические свойства которых существенно зависят не только от химического состава, но и от распределения катионов по неэквивалентным кристаллографическим позициям. Структура шпинели включает одну тетраэдрическую A-позицию и две октаэдрические B-позиции на формульную единицу AB_2O_4. Изменение степени инверсии шпинели приводит к перестройке обменных взаимодействий, магнитной анизотропии и электронной проводимости [1–3].

Интерес к системе Li–Co–Fe–O связан с сочетанием нескольких физических факторов. Ионы Fe формируют магнитные подрешётки, ионы Co обеспечивают значительную спин-орбитальную связь, магнитокристаллическую анизотропию и магнитострикцию, а включение Li может изменять зарядовое состояние, концентрацию вакансий и распределение катионов. Для наночастиц $Li_{0.5}Co_{0.1}Fe_{2.4}O_4$ методом Raman-спектроскопии установлена зависимость фононных характеристик и электрон-фононной связи от размера частиц [4].

Формула $LiCoFeO_4$ требует отдельной проверки зарядовой нейтральности. При стандартных состояниях Li^+, Co^{2+} и Fe^{3+} суммарный положительный заряд равен $+6$, тогда как четыре иона O^{2-} создают заряд -8. Поэтому в реальном материале необходимо учитывать смешанную валентность Co и Fe, кислородную нестехиометрию и возможные катионные вакансии. В настоящей работе $LiCoFeO_4$ рассматривается как целевой состав системы Li–Co–Fe–O, фактическая кристаллохимическая формула которой должна уточняться экспериментально.

Цель работы состоит в построении теоретической модели, описывающей влияние катионного распределения на магнитное состояние и возможный магнитоэлектрический отклик $LiCoFeO_4$.

Катионное распределение описывается числами заполнения n_i^A и n_i^B, где $i = Li, Co, Fe$. Для шпинельной структуры выполняются условия:

$$\sum_i n_i^A = 1, \qquad \sum_i n_i^B = 2.$$

Зарядовая нейтральность с учётом кислородной нестехиометрии определяется выражением:

$$\sum_i z_i \left(n_i^A + n_i^B\right) = 2(4-\delta),$$

где z_i — эффективная валентность соответствующего катиона, а δ — концентрация кислородных вакансий.

Для характеристики перераспределения магнитных катионов вводится параметр инверсии λ. В общем случае распределение можно представить в виде:

$$\left(Li_{a_A}Co_{b_A}Fe_{c_A}\right)_A\left[Li_{a_B}Co_{b_B}Fe_{c_B}\right]_B O_{4-\delta}.$$

Коэффициенты в выражении (3) должны удовлетворять условиям (1) и (2). Такая запись позволяет учитывать различные варианты распределения Li, Co и Fe без преждевременного предположения о единственной кристаллохимической конфигурации. Энергетическая устойчивость распределения зависит от радиусов ионов, их валентности, энергии стабилизации кристаллического поля и условий термообработки.

В приближении двухподрешёточной модели Нееля результирующий магнитный момент определяется разностью магнитных моментов октаэдрической и тетраэдрической подрешёток:

$$M = M_B - M_A,$$

где

$$M_A = \sum_i n_i^A \mu_i, \qquad M_B = \sum_i n_i^B \mu_i.$$

Здесь μ_i — эффективный магнитный момент иона i. Ион Li^+ практически не создаёт собственного магнитного момента, тогда как вклад Co и Fe зависит от их валентного и спинового состояния.

Обменную энергию системы можно представить как:

$$\mathcal{H}_{ex} = -\sum_{\langle i,j\rangle} J_{ij}\, \mathbf{S}_i \cdot \mathbf{S}_j,$$

где J_{ij} — параметры обменного взаимодействия. В шпинельных ферритах рассматриваются взаимодействия J_{AA}, J_{BB} и J_{AB}. Наиболее сильным обычно является суперобмен между тетраэдрической и октаэдрической подрешётками через кислород. Поэтому переход Fe или Co из одной позиции в другую изменяет одновременно M_A, M_B и величину J_{AB}.

Магнитная часть свободной энергии имеет вид:

$$F_m = -\sum_{ij} J_{ij}\, \mathbf{S}_i \cdot \mathbf{S}_j + K(\mathbf{M}\cdot\mathbf{n})^2 - \mu_0 \mathbf{H}\cdot\mathbf{M},$$

где K — константа магнитной анизотропии, $\mathbf{n}$ — направление лёгкой оси, $\mathbf{H}$ — внешнее магнитное поле. Расположение Co в октаэдрических позициях может усиливать магнитную анизотропию вследствие спин-орбитального взаимодействия.

Электрическую подсистему в феноменологическом приближении можно описать выражением:

$$F_e = \frac{a}{2}P^2 + \frac{b}{4}P^4 - EP,$$

где P — электрическая поляризация, E — электрическое поле, a и b — феноменологические коэффициенты.

Связь магнитной и электрической подсистем представим как:

$$F_{ME} = \frac{\gamma}{2} P^2 M^2 + \lambda_m M^2 u + q P^2 u,$$

где γ характеризует связь между магнитным и электрическим параметрами порядка, u — деформация решётки, λ_m — магнитоупругий коэффициент, q — коэффициент электрострикционной связи.

Косвенный механизм магнитоэлектрического отклика соответствует последовательности:

$$H \to M \to u \to P.$$

Минимизация полной свободной энергии по поляризации при малых P даёт:

$$P = \frac{E}{a + \gamma M^2 + 2qu}.$$

Следовательно, эффективная диэлектрическая восприимчивость равна:

$$\chi_e(H) = \frac{1}{a + \gamma M^2(H) + 2qu(H)}.$$

Из выражения (12) следует, что изменение намагниченности в магнитном поле должно сопровождаться изменением диэлектрической проницаемости. Поскольку идеальная кубическая шпинель обладает центром инверсии, линейный магнитоэлектрический эффект может быть ограничен симметрией. Ненулевая поляризация может возникать при локальном нарушении инверсионной симметрии, обусловленном катионным упорядочением, кислородными вакансиями, механическими напряжениями или границами зёрен.

Изменение параметра инверсии должно приводить к изменению намагниченности насыщения:

$$M_s(\lambda) = |M_B(\lambda) - M_A(\lambda)|.$$

Если магнитные ионы переходят из B-подрешётки в A-подрешётку, магнитные моменты подрешёток могут частично компенсироваться. При другом характере перераспределения разность $M_B - M_A$ может возрастать. Поэтому направление изменения M_s необходимо определять для конкретной модели заселения позиций.

Увеличение доли Co в октаэдрических позициях предположительно должно усиливать магнитокристаллическую анизотропию, коэрцитивное поле и магнитострикционный вклад. Кислородные вакансии могут создавать локальные диполи и изменять валентность Fe и Co. При умеренной концентрации вакансий это способно усилить локальную поляризацию, но высокая дефектность увеличивает проводимость и диэлектрические потери.

Магнитокапацитивность определяется выражением:

$$MC(H) = \frac{\varepsilon(H) - \varepsilon(0)}{\varepsilon(0)} \cdot 100\%.$$

Однако условие $MC(H) \neq 0$ не является достаточным доказательством собственной магнитоэлектрической связи. Подобный эффект может возникать вследствие сочетания магнитосопротивления и межзёренной поляризации Максвелла–Вагнера [6]. Поэтому магнитокапацитивность необходимо сопоставлять с частотной зависимостью импеданса, током утечки и прямым магнитоэлектрическим коэффициентом:

$$\alpha_E = \frac{1}{t}\frac{dV}{dH},$$

где t — толщина образца.

Разработана теоретическая модель влияния катионного распределения на магнитные и магнитоэлектрические свойства $LiCoFeO_4$. Модель основана на двухподрешёточном описании магнитного состояния и феноменологическом разложении свободной энергии с учётом поляризации, намагниченности и деформации решётки.

Параметр катионной инверсии определяет разность магнитных моментов подрешёток, интенсивность обменного взаимодействия и магнитную анизотропию. Магнитоэлектрический отклик может формироваться вследствие совместного действия спин-решёточной связи, магнитострикции, локальных структурных искажений и дефектных диполей.

Для подтверждения собственной магнитоэлектрической связи необходимо установить реальное катионное распределение, валентные состояния Co и Fe, кислородную стехиометрию и отделить объёмный отклик от межзёренной поляризации. Предложенная модель задаёт физическую основу для последующего экспериментального исследования структур Li–Co–Fe–O.

Литература

5. Sanchez-Lievanos K. R. et al. Cation distribution in spinel ferrite nanocrystals: Characterization, impact on their physical properties, and opportunities for synthetic control. *Inorganic Chemistry*. 2021. DOI: https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.1c00040

6. Matsubara N. et al. Cation distributions and magnetic properties of ferrispinel $MgFeMnO_4$. *Inorganic Chemistry*. 2020. Vol. 59. P. 17970–17980. DOI: https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.0c02241

7. Baričić M. et al. Chemical engineering of cationic distribution in spinel ferrite nanoparticles: The effect on the magnetic properties. *Physical Chemistry Chemical Physics*. 2024. Vol. 26. P. 6325–6334. DOI

8. : https://doi.org/10.1039/D3CP06029B

9. Srivastava M. K., Vyas N., Ojha A. K. Size dependent electron–phonon coupling in $Li_{0.5}Co_{0.1}Fe_{2.4}O_4$ nanoparticles investigated by Raman spectroscopy. *Vibrational Spectroscopy*. 2011. DOI: https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2010.11.001

10. Fritsch D., Ederer C. Effect of epitaxial strain on the cation distribution in spinel ferrites $CoFe_2O_4$ and $NiFe_2O_4$: A density functional theory study. *Physical Review B*. 2011. Vol. 83. 144414. DOI: https://doi.org/10.1103/PhysRevB.83.144414

YARIM KRISTALL POLIMER TOLALARDA MAKROMOLEKULYAR ORIENTATSIYA VA AMORF-KRISTALL TUZILMANING MEXANIK XOSSALARGA TA’SIRI

AXMADJONOV MEXRIDDIN FAXRIDINOVICH

Farg‘ona davlat texnika universiteti

mexriddinaxmadjonov@gmail.com

Kondensirlangan muhitlar fizikasida polimer materiallar alohida o‘rin tutadi. Ayniqsa, yarim kristall polimerlar bir vaqtning o‘zida kristall va amorf fazalarning mavjudligi, ularning o‘zaro bog‘lanishi hamda tashqi mexanik va issiqlik ta’sirlariga murakkab javob berishi bilan xarakterlanadi. Tola hosil qiluvchi polimerlarda bu masala yanada muhim, chunki tolani shakllantirish va cho‘zish jarayonida makromolekulalar ma’lum yo‘nalish bo‘yicha orientatsiyalanadi, kristall sohalar qayta tashkil topadi va amorf fazadagi zanjirlararo chirmashishlar kuchlanishni uzatishda faol qatnashadi. Shu sababli polimer tolaning mustahkamligi, elastik moduli, deformatsion barqarorligi va uzilishdagi energiyasi faqat

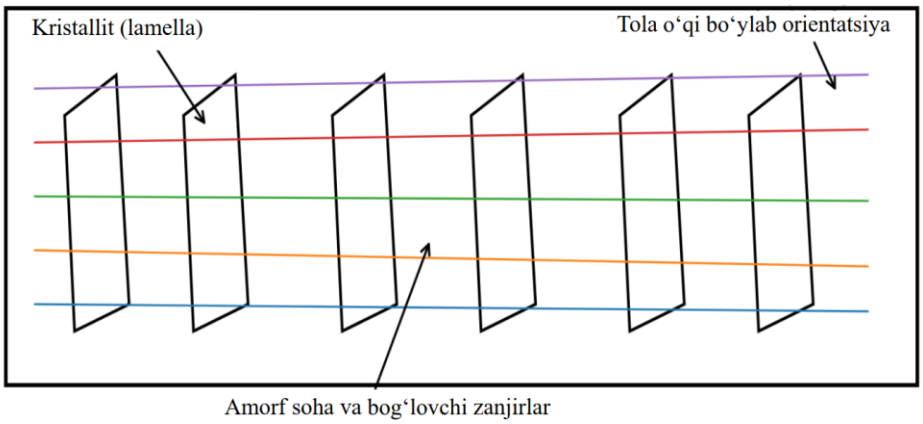
kristallanish darajasi bilan emas, balki fazalarning morfologiyasi va makromolekulalarning orientatsiya holati bilan ham belgilanadi [1, 2].

Yarim kristall polimerning strukturasi shartli ravishda tartibli lamellyar kristallitlar va ular orasida joylashgan tartibsiz amorf qatlamlardan tashkil topgan ikki fazali tizim sifatida qaraladi. Real tolalarda esa ushbu tuzilma yanada murakkab bo‘lib, kristallitlar o‘lchami, ularning yo‘nalishi, bog‘lovchi makromolekulalar, amorf fazadagi chirmashishlar zichligi hamda mikrog‘ovaklar kabi omillar birgalikda ta’sir ko‘rsatadi. Zamonaviy mikromexanik yondashuvlarda makroskopik deformatsion xossalarni bashorat qilish uchun kristall va amorf fazalarning alohida konstitutiv xususiyatlari hamda ularning fazoviy taqsimoti hisobga olinadi. Bunday modellar strukturaviy parametrlar o‘zgarishining umumiy mexanik javobga ta’sirini virtual tajriba ko‘rinishida tahlil qilish imkonini beradi [1].

Makromolekulyar orientatsiya darajasini baholashda ko‘pincha Hermans orientatsiya faktori qo‘llanadi:

$$f = (3\langle cos^2\theta\rangle - 1) / 2$$

Bu yerda θ – zanjir segmentining tola o‘qiga nisbatan burchagi. f qiymati 1 ga yaqinlashgan sari zanjirlarning o‘q bo‘ylab yo‘nalganligi kuchayadi, bu esa modulli va mustahkam tolalar olish uchun muhim strukturaviy ko‘rsatkich hisoblanadi.

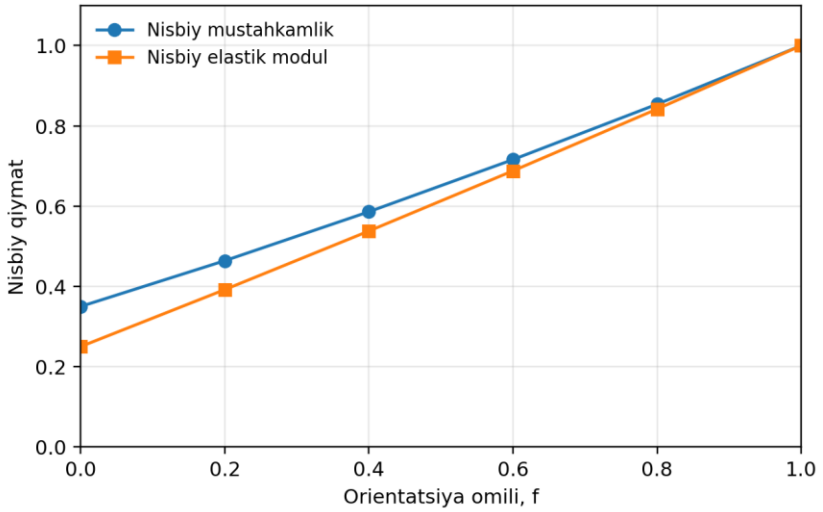


1-rasm. Yarim kristall polimer tolaning kristall va amorf sohalardan tashkil topgan sxematik tuzilishi.

Tolani cho‘zish jarayoni polimer zanjirlarining tasodifiy konformatsiyadan nisbatan tartibli va o‘q bo‘ylab yo‘nalgan holatga o‘tishiga sabab bo‘ladi. Natijada kovalent bog‘lar orqali yuk uzatilishi samaradorligi ortadi, elastik modul va mustahkamlik ko‘rsatkichlari yaxshilanadi. PET tolalari bo‘yicha 2024-yilda e’lon qilingan tadqiqotda molekulyar orientatsiya, kristallanish va termik qisqarish kuchlanishi o‘rtasida yaqin bog‘liqlik ko‘rsatilgan. Mualliflar yuqori cho‘zish darajalarida termik qisqarish kuchlanishi mikrostrukturadagi zanjir uzayishi va entropik kuchlanishni ifodalovchi sezgir parametr ekanini ta’kidlaydi [3]. Bu holat tolalarning strukturaviy holatini faqat kristallanish darajasi bilan baholash yetarli emasligini ko‘rsatadi.

Mexanik xossalarning shakllanishida amorf fazaning roli ham katta. Kristall sohalar materialning qattiqligi va yuk ko‘tarish qobiliyatini oshirsa, amorf faza zanjirlarining harakatchanligi va chirmashgan tarmog‘i deformatsiya energiyasini yutish hamda kuchlanishni kristall sohalar orasida qayta taqsimlash vazifasini bajaradi. Yarim kristall polimer tolalarining siklik yuklanishi bo‘yicha zamonaviy tadqiqotlarda kristall va amorf fazalarning mustahkamlik hamda qovushqoqlikka qo‘shadigan hissasi ajratib ko‘rsatilgan. Natijalarga ko‘ra, kristall faza mustahkamlikka sezilarli hissa qo‘shsa-da, tolaning qovushqoqligi va sinish xarakteri ko‘p jihatdan amorf fazadagi chirmashgan makromolekulyar tarmoq bilan boshqariladi [2]. Demak, maksimal kristallanishga intilish har doim ham optimal mexanik xossani bermaydi; haddan tashqari tartiblilik zanjirlar harakatchanligini kamaytirib, mo‘rtlikka olib kelishi mumkin.

Struktura–xossa bog‘lanishining yana bir muhim jihati issiqlik transportida namoyon bo‘ladi. Polimerlarda issiqlik o‘tkazuvchanligi odatda past bo‘lib, fononlarning zanjir nuqsonlari, amorf sohalar va fazalar chegaralarida sochilishi bilan cheklanadi. Biroq makromolekulalar kuchli orientatsiyalangan holatda issiqlikning zanjir yo‘nalishi bo‘ylab uzatilishi yaxshilanadi. Polioximetilen tolalari bo‘yicha tadqiqotlarda kuchlanish ostida termik ishlov berish natijasida yuqori orientatsiyalangan kristall tuzilma hosil qilingan va issiqlik o‘tkazuvchanligi hajmiy polimerga nisbatan keskin oshgani ko‘rsatilgan. Mualliflar bu jarayonda zanjir orientatsiyasining ta’siri ayrim holatlarda kristallanish darajasining o‘zidan ham kuchliroq bo‘lishi mumkinligini qayd etgan [4].



1-grafik. Orientatsiya omili ortishi bilan nisbiy mustahkamlik va elastik modulning o‘zgarish tendensiyasi (sxematik).

Ushbu tahlil tola hosil qiluvchi yarim kristall polimerlarda xossalarni boshqarishning asosiy yo‘li kristall va amorf fazalar o‘rtasidagi muvozanatni maqsadli shakllantirishdan iboratligini ko‘rsatadi. Texnologik jihatdan bunga eritmadan yoki eritmadan tolalash, issiq cho‘zish, termik fiksatsiya, kuchlanish ostida tavlash va nazorat qilinadigan sovitish kabi jarayonlar orqali erishiladi. Cho‘zish darajasi ortishi bilan orientatsiya va ko‘pincha kristallanish ham ortadi, biroq jarayonning optimal sohasi polimer turiga, molekulyar massaga, chirmashishlar zichligiga va ishlov berish haroratiga bog‘liq. Shuning uchun materialni loyihalashda birgina parametrni maksimal qilish emas, balki strukturaviy ierarxiyani kompleks boshqarish talab etiladi.

Amaliy nuqtai nazardan, polimer tolalarda yuqori mustahkamlik bilan yetarli qovushqoqlikni bir vaqtda ta’minlash yengil sanoat, texnik to‘qimachilik, kompozit armaturalash, filtratsiya va funksional tolali materiallar yaratishda muhimdir. Mazkur vazifada rentgen difraksiyasi, differensial skanerlovchi kalorimetriya, ikki nur sinishi, qutblangan FTIR hamda mexanik sinovlarni birgalikda qo‘llash strukturaviy holatni to‘liqroq tavsiflash imkonini beradi. Shu bilan birga, mikromexanik va molekulyar modellashtirish tajriba natijalarini izohlash, alohida fazalarning hissasini ajratish va kerakli xossalarga ega strukturani oldindan bashorat qilish uchun samarali vosita bo‘lib xizmat qiladi.

Xulosa qilib aytganda, yarim kristall polimer tolalarning mexanik xossalari kristallanish darajasining oddiy funksiyasi emas. Makromolekulyar orientatsiya, kristallitlar morfologiyasi, amorf fazadagi chirmashishlar va fazalararo bog‘lanish birgalikda materialning makroskopik javobini belgilaydi. Yuqori modulli va mustahkam tolalarni olish uchun zanjir orientatsiyasini oshirish bilan birga amorf fazaning energiyani yutish qobiliyatini saqlash zarur. Bunday yondashuv strukturaviy optimallashtirishga asoslangan yangi avlod polimer tolalarini yaratish uchun fizik asos bo‘lib xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Mirkhalaf M., Vadizadeh R. Micro-mechanical modeling of semi-crystalline polymers: A review. International Journal of Solids and Structures. 2024. Vol. 290. Art. 112691. DOI: 10.1016/j.ijsolstr.2024.112691.

2. Zhang C., Liu W., Ma S., Wang B., Wu G., Cheng J., Ni Z., Zhao G. Strength and toughness of semicrystalline polymer fibers: Influence of molecular chain entanglement. Polymer. 2024. Vol. 304. Art. 127119. DOI: 10.1016/j.polymer.2024.127119.

3. Mahdavipour Z., Karimi M. A robust relation between mechanical modulus and thermal shrinkage force of PET filaments based on entropy stress. Polymer. 2024. Vol. 296. Art. 126781. DOI: 10.1016/j.polymer.2024.126781.

4. Kong W., Zhang Z., Zhao X., Ye L. Formation of highly oriented crystalline structure for polyoxymethylene fiber enables superior intrinsic thermal conductivity. Polymer. 2024. Vol. 290. Art. 126499. DOI: 10.1016/j.polymer.2023.126499.

NOCHIZIQLI OPTIKANING KVANT EFFEKTLARI

Korjavov Mustafa Javliyevich

Qarshi davlat texnika universiteti “Tabiiy fanlar” kafedrasi dotsenti

e-mail: mkorj1965@gmail.com

Bu maqolamizda ayrim nochiziqli optik hodisalar haqida fikr yuritmoqchi bo‘lsakda, chiziqli optikaning asosiy tushunchalari haqida ham to‘xtalamiz. Chiziqli optikaning asosiy tamoyillaridan biri bu-mustaqillik prinsipi bo‘lib, unga ko‘ra ikki yorug‘lik nuri bir-biri bilan kesishib tarqalganda o‘zaro ta’sirlashmaydi. Interferensiya hodisasida ikki yorug‘lik nuri ta’sirlashib bir-birini susaytirganda (yoki kuchaytirganda), ikki to‘lqin elektr maydonlarining vektor qo‘shilishi kuzatiladi. Chiziqli optikaning asosiy tamoyillaridan yana biri bu-yorug‘likning biror muhitdan o‘tishida, ikki muhit chegarasida qaytishi va sinishida chastotasi (rangi)ning o‘zgarmasligidir. Bu hodisa 1671 yilda ingliz olimi I.Nyuton tomonidan kashf qilingan bo‘lib, optikaning rivojlanishida muhim ahamiyatga egadir. Optikaning rivojlanishida baxtli xolatlardan biri bu – I.Nyuton va uning zamondoshlari qo‘lida intensivligi katta bo‘lgan yorug‘lik manbalarining yo‘qligi bo‘lgan. Ular odatdagi quyosh nurlari bilan ishlagan. Yorug‘lik intensivligi ortishi bilan yuqorida keltirilgan xodisalarning murakkablashuvi, ya’ni optik hodisalarning nochiziqligi kuzatilar ekan. Agar I.Nyutonning qo‘lida lazer bo‘lganda murakkab optik hodisalarni u tushuntira olmagan va optikaning rivojlanishi uzoq vaqtlarga orqaga surilgan bo‘lar edi. Shu ma’noda S.I.Vavilov **«Tajribalarning nomukammalligi ham fanning rivojlanishiga sabab bo‘ladi»**–degan edi. Bu fikr noto‘g‘ridek tuyulsada, tajribalarda o‘z davridan oldin aniqlangan ayrim hodisalar ancha yillardan keyingina nazariy tushuntirilgan.

Nazariya nochiziqli effektlar yorug‘likning vakuumda tarqalishida ham kuzatilishini bashorat qilsada, amalda hamma nochiziqli effektlar yorug‘likning muhitlarda tarqalishida kuzatiladi. Klassik optikada yorug‘likning muhitlarda tarqalishida muhit atomlaridagi elektronlarni “prujinaga maxkamlangan jism” – deb qaraladi. Yorug‘lik to‘lqini o‘zining elektr maydoni bilan mos chastotada elektronni majburiy tebranishga keltiradi. Bu tebranishlar o‘z navbatida atom fazosida elektromagnit to‘lqinlar tarqatadi, ya’ni atomning o‘zi shu chastotada energiya nurlaydi. Bunda fazalar farqi o‘zgarmas bo‘lib, har xil atomlarning ikkilamchi to‘lqinlari bilan birlamchi yorug‘lik to‘lqinining qo‘shilishi natijasidagi to‘lqin muhitda $v = c/n$ tezlik bilan tarqalayotgan natijaviy to‘lqinni beradi. Bunda c-yorug‘lik tezligi, n – muhitning nur sindirish ko‘rsatgichi.

Yorug‘lik ta’sirida elektronning siljishi juda kichik bo‘lib, yorug‘lik nuri kuchlanganligining atom ichidagi maydon kuchlanganligiga nisbati bilan aniqlanadi. Lazer nurlarida maydon kuchlanganligi 10^6-10^7 V/sm ekanligidan elektronning siljishi katta bo‘ladi. Siljish nisbatan kichik bo‘lganda elektronni muvozanat holatiga qaytaruvchi kuch $F=-kx$ chiziqli bo‘ladi. Lekin elektronning siljishi katta bo‘lganda qaytaruvchi kuchda $F=-kx+\alpha x^2$ -nochiziqli had paydo bo‘ladi. Ko‘chishning ishorasi o‘zgarganda kuchning kattaligi ham asimmetrik o‘zgaradi. $\alpha \succ 0$ bo‘lganda manfiy tomondan ko‘ra musbat tomonga siljitish oson bular ekan. Demak, chiziqli optik xodisalar elektronni qaytaruvchi kuchning chiziqli bo‘lishi, moddaning optik xarakteristikalari muhitning xossalariga va yorug‘lik chastotasiga bog‘liqligi bilan to‘shuntirilsa, nochiziqli optika olami bu kuchning nochiziqliligi yetarlicha katta bo‘lganda va muhitning xossalari tushayotgan yorug‘lik intensivligiga bog‘liq o‘zgarganda ko‘zga tashlanar ekan.

Nochiziqli optikada elektronning harakati

$$ma=-kx+\alpha x^2+eE_0\cos\omega t, \tag{1}$$

tenglama bilan ifodalanadi. Bunda $m-$elektronning massasi, $eE_0\cos\omega t$ – yorug‘lik to‘lqini tomonidan ta’sir etuvchi kuch bo‘lib, E_0-elektr maydon kuchlanganligi amplitudasi, $\omega-$ chastotasi. Matematikada bunday tenglamalar aniq yechimga ega emas. Tebranishlar nazariyasi bilan shug‘ullangan mashhur ingliz fizigi Reley bu masalaning taxminiy yechimini taklif qildi. Reley nolinchi yaqinlashishda (1) tenglamada αx^2 -hadni xisobga olmasdan yechib, harakat $\omega_0=\sqrt{\frac{k}{m}}$ -xususiy chastotali emas, balki ω -chastotali majburlovchi kuch ta’sirida

$$x_0(t)=beE_0\cos(\omega t+\varphi) \tag{2}$$

ko‘rinishda bo‘lishini aniqladi. Bunda beE_0-majburiy tebranishlar amplitudasi. Keyingi yaqinlashishda (1) tenglamadagi $x^2(t)$- nochiziqli hadni $x_0^2(t)$-had bilan almashtirdi va siljishga nisbatan chiziqli tenglamani oldi:

$$ma=-kx+\alpha b^2e^2E_0^2\cos^2\omega t+eE_0\cos\omega t. \tag{3}$$

$\cos^2\omega t=\frac{1}{2}(1+\cos 2\omega t)$ trigonometrik ayniyatdan foydalanib,

$$ma=-kx+(\frac{1}{2}\alpha b^2e^2E_0^2+\frac{1}{2}\alpha b^2e^2E_0^2\cos 2\omega t+eE_0\cos\omega t), \tag{4}$$

tenglamani oldi. Bu harakat tenglamasidan ko‘rinadiki, elektronga uchta majburlovchi kuch (qavs ichidagi hadlar) ta’sir etadi. Ularning birinchisi vaqtga bog‘liq bo‘lmasdan oddiy asimmetrik siljishga, ikkinchisi esa 2ω chastota bilan elektronga ta’sir etib, uni shu chastota bilan davriy siljishga keltiradi va yorug‘lik to‘lqini amplitudasining kvadratiga proporsional bo‘ladi. Uchinchi kuch ω chastota bilan o‘zgarib, tushuvchi yorug‘lik to‘lqini amplitudasiga bog‘liq bo‘ladi. Tushayotgan yorug‘lik intensivligi ortishi bilan uchinchi kuchga nisbatan ikkinchi kuchning roli ortib boradi. Shunday qilib, elektronning majburiy tebranishi ω va 2ω chastotali ikki garmonik tebranishdan iborat bo‘ladi. Atomlarning ikkilamchi nurlanishlari ham mos ravishda ω va 2ω chastotali bo‘ladi. Demak, αx^2 -nochiziqli kuch ta’sirida chiziqli optikada hukmronlik qilgan chastotaning doimiylik prinsipi buziladi.

Shu paytgacha optik nochiziqli hodisalarni qaraganimizda klassik fizika aqidalaridan chetga chiqmadik. Lekin qator nochiziqli effektlar mavjudki, ularni faqat **kvant tasavvurlar** asosida tushuntirish mumkin. Masalan, bugungi kunda lazerlar texnikasida keng qo‘llanilayotgan hodisa–ayrim eritmalardan

kuchli yorug‘lik o‘tganda uning yutish koeffitsientining kamayishidir. Kvant tasavvurlarga asosan atom faqat aniq energiya zaxiralariga–aniq energetik sathlarga ega bo‘lishi mumkin. Atom (yoki molekula) Borning

$$h\nu = E_2 - E_1 \tag{5}$$

shartini qanoatlantiruvchi ν chastotali yorug‘likni yutishi mumkin. Bunda $h-$Plank doimiysi, E_1 *ва* E_2 lar esa atomning mos sathlardagi energiyalari bo‘lib, atom birinchi sathdan ikkinchi sathga o‘tadi. O‘yg‘ongan atom $h\nu$ energiyali fotonni yutib yuqori energiyali sathda ma’lum vaqt ushlanib qoladi. Bu vaqt 10^{-3} s tartibida bo‘lib, atom olami uchun katta vaqtni tashkil qiladi. Muhitning yutish koeffitsienti, tabiiyki E_1 –sathdagi atom (yoki molekula)larning soniga proporsionaldir. Yuqori intensivlikli yorug‘lik oqimi modda orqali o‘tganda modda atomlari ko‘p fotonlarni yutib (5) shartni qanoatlantiruvchi E_2 – sathga o‘tadi va 10^{-3} s vaqt davomida shu sathda qolib ketadi. Muhitning yutish koeffitsienti keskin kamayadi, ya’ni yuqori intensivlikli yorug‘lik muhitda o‘ziga yo‘l ochgandek bo‘ladi.

Yuqori intensivlikli yorug‘likda muhit har xil chastotadagi nurlarni yuta boshlar ekan. Borning (5) shartiga asosan ikki energiya sathi farqiga mos bitta fotonni emas, bir necha fotonni yutish ehtimoliyati paydo bo‘lar ekan. U holda Borning (5) shartini quyidagicha

$$h\nu_1 + h\nu_2 + h\nu_3 + ... = E_2 - E_1 . \tag{6}$$

o‘zgartirib yozish mumkin. Demak, kichik intensivlikli yorug‘liklar uchun shaffof bo‘lgan muhit shunday chastotali yuqori intensivlikli yorug‘likni yuta boshlar ekan. U holda kuchli nurlar ta’sirida kechadigan ko‘p fotonli jarayonlarda fotoeffekt hodisasi o‘zining kvant xarakterini yuqotadi. Bir fotonli fotoeffekt uchun ma’lum bo‘lgan

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2} \tag{7}$$

Eynshteyn tenglamasini

$$N\,h\nu = A + \frac{mv^2}{2} \tag{8}$$

ko‘rinishda almashtirib yozish mumkin. Bunda $A-$ chiqish ishi, $\frac{mv^2}{2}-$ yorug‘lik ta’sirida uzib olingan elektronning kinetik energiyasi, $N-$ elektronning bir vaqtda yutgan fotonlar soni bo‘lib, N ortishi bilan elektronning kinetik energiyasi ortishi kerak. Bundan tashqari fotoeffektning qizil chegarasi $\nu_q = \frac{A}{Nh}-$ ham kichik chastotalar tomon siljiydi.

Fotoeffektning kvant nazariyasini tushuntirganligi uchun Nobel mukofotiga sazovor bo‘lgan A.Eynshteyn 1905 yilda chop etilgan o‘z maqolasida “Agar bitta yorug‘lik kvanti (foton) o‘zining hamma energiyasini bitta elektronga bersa soddagina bo‘lar edi. Biz haqiqatda ham shunday bo‘ladi, deb faraz qilamiz”, – degan fikrni keltiradi. Bu fikr Eynshteynning ko‘pfotonli jarayonlar kuzatilishi va ularni hisobga olmaslik mumkinligini tushunganligidan dalolat beradi. Shu davrdagi fizikaviy tajribalar Eynshteyn tenglamasining to‘g‘ri ekanligini isbotlab turar edi. Bu holda ham tajribalarning nomukammalligi (intensivlik ma’nosida) fanning rivojlanishiga sabab bo‘lgan. Shu tarzda XX asrning birinchi yarmida kvant tasavvurlar paydo bo‘ldi va nazariya sifatida oyoqqa turib rivojlandi. Quvvatli lazer nurlarida kuzatiladigan nochiziqli optik hodisalar esa kvant nazariyaning rivojlanishida katta ahamiyatga ega bo‘ldi.

Industriya sohasida lazerlar asbobsozlik, mashinasozlik, to‘qimachilik sanoatida metall va dielektrik materiallar hamda detallarni payvandash, ishlash va kesish uchun qo‘llaniladi. Lazerlarning biologiya,

meditsina, geodeziya va kartografiyada, sun'iy yo'ldoshlar vaziyatini aniqlashda va boshqa ko'p sohalarda qo'llanilishi qiziqarli va muhimdir.

ADABIYOTLAR RO'YXATI.

1. Савелев И.В. Курс обшей физики т. 1–3.–М., Наука, 1989–98.
2. Сивухин Д.В. Обшей курс физики, т. 1–5. –М., Наука, 1977–1990.
3. Lansberg G.S. Optika.–T., O'qituvchi. 1981.
4. Vavilov S.I. Mikrooptika i nelineynaya optika. — Moskva: Nauka, 1950.
5. Axmanov S.A., Xoxlov R.V. Problemi nelineynoy optiki. — Moskva: VINITI, 1964.

Photon-Sphere Response to Homogeneous and Non-Uniform Plasma Profiles

Shavkat Karshiboev[1]., Ziyodulla Turakhonov[2]
[1]*Samarkand State Pedagogical Institute, Spitamen Shokh Street 166, Samarkand 140100, Uzbekistan.*
shavkatarshiboyev@samdpi.uz
[2]*New Uzbekistan University, Movarounnahr str. 1, Tashkent 100000, Uzbekistan*

The photon sphere controls the unstable circular light orbit and provides the geometric basis for a black-hole shadow. In charged bumblebee gravity its position depends on the Lorentz-violating parameter L, the charge-to-mass ratio Q/M, and the dispersive medium surrounding the compact object. We compare a homogeneous plasma with a radially decreasing non-uniform profile, using only parameter combinations that satisfy the event-horizon condition [1,2].

Photon motion is described by the Hamiltonian optical metric of a cold, non-magnetized plasma. The refractive index obeys $n^2 = 1 - \omega p^2/\omega$, and propagation requires the local photon frequency to exceed the plasma frequency. The circular orbit follows from the extremum of the optical impact function $\gamma^2(r) = r^2[1 - f(r) - \omega p^2(r)/\omega 0^2]$ This condition is solved numerically for each plasma profile [2].

The left panel of Figure 1 fixes L = 0.5 in a homogeneous plasma. Increasing Q/M moves the photon sphere inward, with the reduction becoming rapid near the extremal region. At every allowed charge, increasing the plasma-frequency ratio shifts the orbit outward. The separation between the three curves remains visible across the plotted range, showing that homogeneous dispersion can compete with the inward displacement produced by electric charge.

The right panel repeats the charge scan for a non-uniform plasma whose contribution decreases with radius. The charge trend remains the same, but the plasma-induced separation is much smaller. This follows because the refractive correction weakens away from the compact object. A homogeneous approximation can therefore overstate the displacement of the photon sphere when the actual electron density falls radially [3].

Photon-sphere measurements alone cannot isolate charge, Lorentz violation, and plasma strength. A larger plasma ratio and a smaller Q/M can produce similar orbit radii, while L supplies a milder charge-dependent shift. The degeneracy can be reduced by combining photon-sphere information with the shadow radius or frequency-dependent lensing, because these observables do not respond to the plasma profile in exactly the same way [2,4].

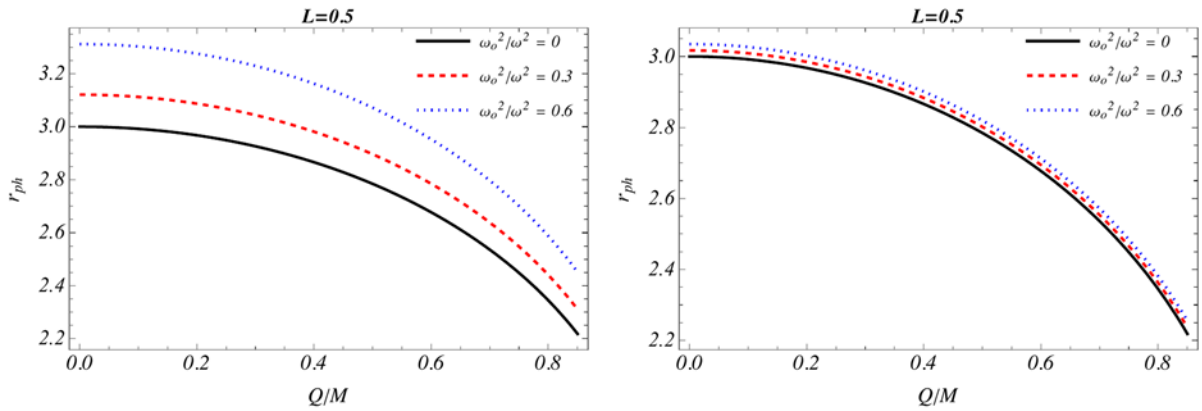


Figure 1: Photon-sphere radius versus Q/M at fixed L = 0.5. The left panel represents a homogeneous plasma and the right panel a radially decreasing non-uniform plasma. Stronger plasma moves the orbit outward in both cases, but the shift is substantially weaker for the non-uniform profile.

We have analyzed the photon sphere of a charged black hole in bumblebee gravity embedded in dispersive plasma environments. The unstable circular light orbit is determined by the extremum of the optical impact function, and its location depends on the charge-to-mass ratio Q/M, the Lorentz-violating parameter L, and the plasma-frequency profile. For all physically admissible configurations satisfying the horizon condition, increasing Q/M systematically moves the photon sphere inward, while increasing the plasma-frequency ratio shifts it outward. The influence of L is milder and is intrinsically correlated with the black-hole charge, producing a smaller charge-dependent modification of the photon-sphere radius.

References

[1] J. L. Synge, Relativity: The General Theory (Interscience Publishers, New York, 1960).

[2] V. Perlick, O. Yu. Tsupko, and G. S. Bisnovatyi-Kogan, “Influence of a plasma on the shadow of a spherically symmetric black hole,” Phys. Rev. D 92, 104031 (2015).

[3] X. Er and A. Rogers, “Two families of astrophysical diverging lens models,” Mon. Not. R. Astron. Soc. 475, 867–878 (2018).

[4] G. Lambiase, R. C. Pantig, and A. Övgün, “Weak field deflection angle and analytical parameter estimation of the Lorentz-violating Bumblebee parameter through the black hole shadow using EHT data,” EPL 148, 49001 (2024).

ЭВОЛЮЦИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ GaAs(O):Cr ПРИ ЭЛЕКТРОННОМ ОБЛУЧЕНИИ

М.Ю. Ташметов[1], Х.Н. Джангабаев[2]

[1]*Институт ядерной физики АН РУз, Мирзо-Улугбекский район, пос. Улугбек, Хорасан 1, 100214, Ташкент, Узбекистан*

[2]*Каракалпакский государственный университет имени Бердаха, ул.Ч. Абдирова 1, 230112, г. Нукус, Узбекистан, *E-mail: habibdjangabaev@gmail.com*

Кристаллическая структура полупроводниковых материалов отражает особенности их решётки и дефектного состояния. Высокоэнергетическое электронное облучение может вызывать образование радиационно-индуцированных дефектов, сопровождающееся изменением параметров решётки, размеров кристаллитов и микронапряжений [1]. Исследование этих изменений позволяет оценить структурную модификацию материала.

Для GaAs(O):Cr изучение структурных изменений при электронном облучении представляет интерес с точки зрения выявления зависимости параметров кристаллической решётки и дефектности от радиационного воздействия [2]. Рентгенодифракционный анализ позволяет оценить эти изменения, включая средний размер кристаллитов и микронапряжения.

Рентгенодифракционные исследования порошковых образцов проводились на дифрактометре Empyrean PANalytical Series 3 с использованием излучения CuKα (λ=1,5406 Å) в диапазоне 2θ = 20–80° при комнатной температуре. Структурные параметры уточнялись методом Ритвельда с использованием программы FullProf [3]. Средний размер кристаллитов и микронапряжения определялись методом Вильямсона–Холла [4].

Исследовались необлучённый образец и образцы, облучённые электронами с энергией 2 МэВ при плотности тока пучка 0,085 мкА/см^2 и флюенсах 4-6×10^{17} эл/см^2 на ускорителе «Электроника У-003» [5]. На основе полученных дифракционных данных оценивались структурные параметры образцов. Экспериментальные результаты приведены на рисунке 1.

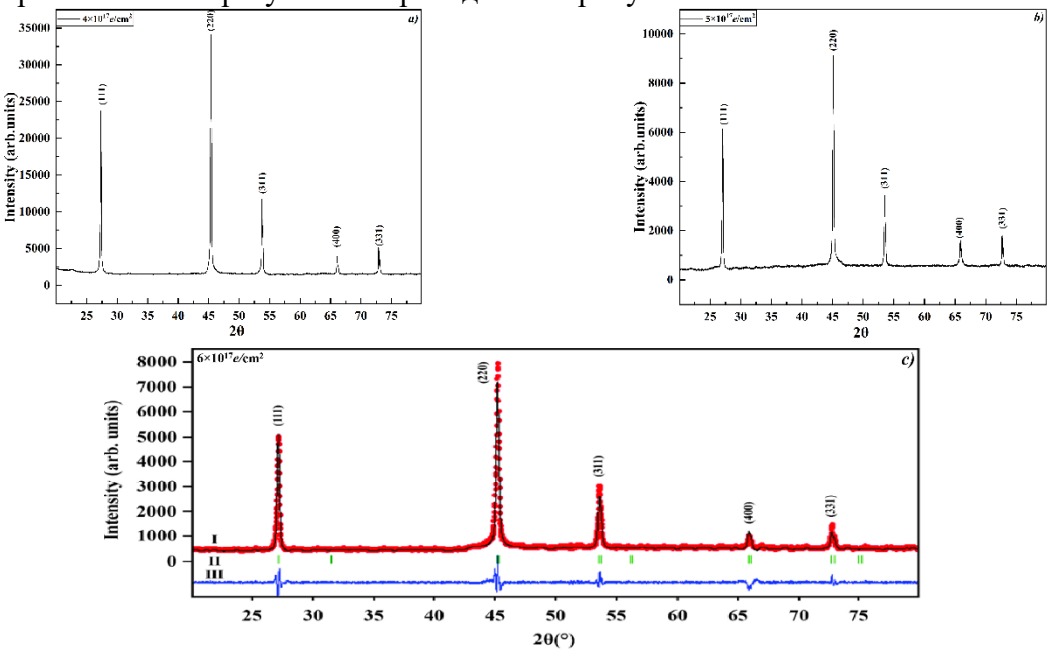


Рис. 1. – Рентгенодифракционные картины GaAs(O):Cr при флюенсах электронного

облучения 4×10^{17} (*a*) и 5×10^{17} (*b*) эл/см^2; (*c*) профиль уточнения Ритвельда для образца, облучённого при 6×10^{17} эл/см^2: I – экспериментальная и расчётная дифрактограммы; II – положения брэгговских отражений; III – разностная кривая.

На рисунке 1 все дифракционные пики соответствуют кубической структуре GaAs типа цинковой обманки, включая отражения (111), (220), (311), (400) и (331). Дополнительные пики вторичных фаз отсутствуют, что свидетельствует о сохранении однофазной структуры после облучения. При этом наблюдается перераспределение относительных интенсивностей отражений, которое может быть связано с изменением дефектного состояния материала.

Для образца с максимальным флюенсом 6×10^{17} эл/см^2 проведено уточнение Ритвельда (рис. 1*c*). Хорошее согласие экспериментальной и расчётной дифрактограмм подтверждается значением χ^2=2,44. Уточнённый параметр решётки составил $a=b=c$=5,6482 *Å*, что подтверждает сохранение кубической структуры.

Для дополнительной оценки микроструктурных характеристик выполнен анализ Вильямсона–Холла для всех исследованных флюенсов. Зависимости $\beta\cos\theta$ от $4\sin\theta$, представленные на рисунке 2, позволяют разделить вклад размера кристаллитов и микронапряжений в уширение дифракционных пиков.

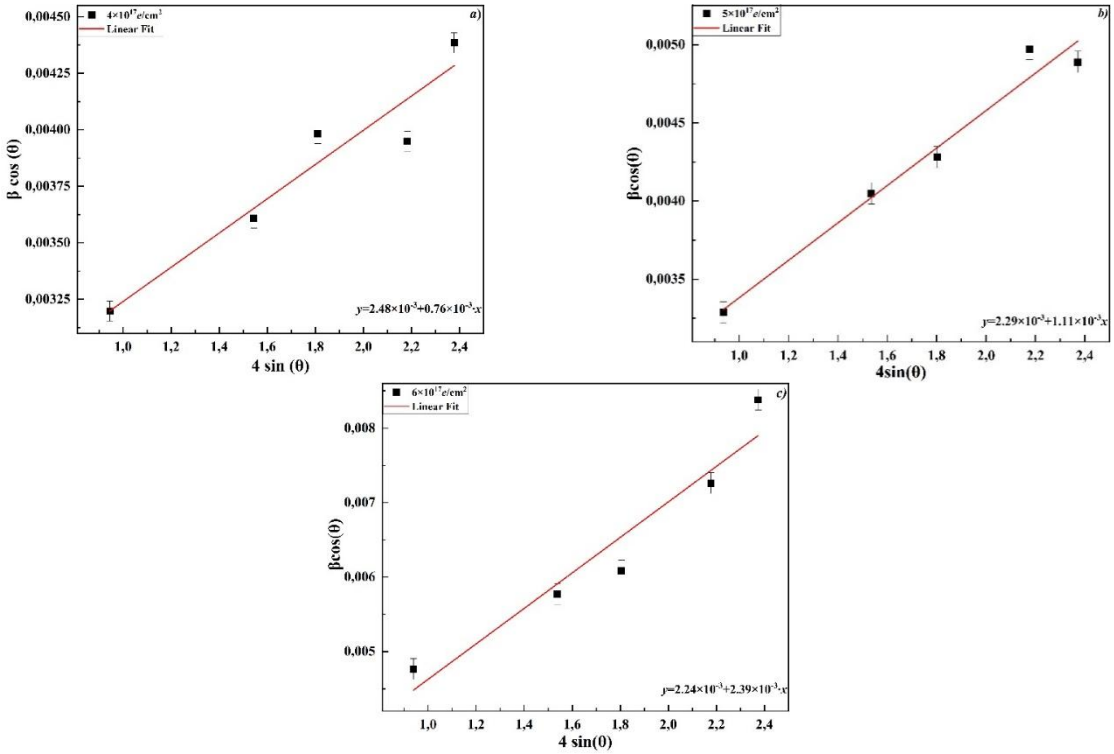


Рис. 2. – Графики Вильямсона–Холла (в зависимости $\beta\cos\theta$ от $4\sin\theta$) для образцов GaAs(O):Cr, облучённых электронами с энергией 2 МэВ при флюенсах: (*a*) 4×10^{17}, (*b*) 5×10^{17} и (*c*) 6×10^{17} эл/см^2.

На рисунке 2 представлены линейные зависимости $\beta\cos\theta$ от $4\sin\theta$, для исследованных образцов. Наблюдаемая линейность экспериментальных данных позволяет использовать аппроксимацию Вильямсона–Холла для оценки вклада размеров кристаллитов и микронапряжений в уширение дифракционных пиков. Полученные зависимости демонстрируют изменение наклона и отсекаемого отрезка при увеличении флюенса, отражая модификацию микроструктурных характеристик GaAs(O):Cr.

По результатам анализа Вильямсона–Холла определены средний размер кристаллитов и микронапряжения. Совместно с параметром решётки и объёмом элементарной ячейки полученные структурные характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Структурные параметры GaAs(O):Cr при различных флюенсах электронного облучения, определённые методами Ритвельда и Вильямсона–Холла.

Флюенс (эл/см^2)	***a*** (Å)	***V*** (Å^3)	***D*** (*nm*)	***ε*** (10^{-3})	Брэгг фактор	Структурный фактор **(R_F)**	χ^2
4×10^{17}	5.6514	180.496	55.84	0.76	2.81	3.08	4.19
5×10^{17}	5.6458	179.960	60.62	1.11	2.04	2.87	1.73
6×10^{17}	5.6482	180.189	61.81	2.39	3.00	2.93	2.44

Как видно из таблицы 1, с увеличением флюенса электронного облучения от 4×10^{17} до 6×10^{17} эл/см^2 средний размер кристаллитов возрастает с 55,84 до 61,81 нм, что может быть связано с изменением дефектной структуры и увеличением размеров когерентно рассеивающих областей вследствие взаимодействия и перераспределения радиационно-индуцированных дефектов. Одновременно микронапряжения увеличиваются от $0{,}76\times10^{-3}$ до $2{,}39\times10^{-3}$, указывая на усиление локальных напряжений и искажений кристаллической решётки.

При этом наблюдается уменьшение параметра решётки и объёма элементарной ячейки с ростом флюенса, что свидетельствует о дальнейшей модификации примесно-дефектной подсистемы материала. Несмотря на выявленные изменения, сохранение характерных дифракционных отражений и отсутствие дополнительных пиков подтверждают стабильность кубической структуры типа цинковой обманки и отсутствие признаков образования вторичных фаз.

Таким образом, электронное облучение GaAs(O):Cr при флюенсах 4×10^{17}–6×10^{17} эл/см^2 сопровождается эволюцией дефектной структуры, проявляющейся в уменьшении параметра решётки и объёма элементарной ячейки, увеличении микронапряжений и изменении размеров когерентно рассеивающих областей при сохранении исходной кристаллической фазы.

Литературы

1. A.G. Torres, A. Leyva, A. Zhemchugov, U. Kruchonak, S. Abou El-Azm and D. Ramos. Analysis of radiation effects on some properties of GaAs: Cr and Si sensors exposed to a 22 MeV electron beam. Nucleus **64** (2018).

2. Authit Phakkhawan et al. Investigation of Radiation Effect on Structural and Optical Properties of GaAs under High-Energy Electron Irradiation. Materials 2022, **15**, 5897.

3. Rodriguez-Carvajal J. FULLPROF: A program for Rietveld refinement and pattern matching analysis. Abstracts of the Satellite Meeting on Powder Diffraction of the XV Congress of the IUCr. – 1990. – France. – p. 127.

4. M.K. Alam et al. A comparative study in estimating of crystallite sizes of synthesized and natural hydroxyapatites using Scherrer Method, Williamson-Hall model, Size-Strain Plot and Halder-Wagner Method. Journal of Molecular Structure **1306** (2024) 137820

5. M.Y. Tashmetov and Kh.N. Djangabaev. Structural, optical and surface modifications of GaAs(O):Cr induced by electron irradiation. Physica B: Condensed Matter **742** (2026) 419348

TERMIK JARAYONDA MIS BILAN BOYITILGAN KREMNIYNING ZARYAD TASHUVCHILAR YASHASH VAQTI HUSUSIYATLARINI O‘RGANISH

Odilova Nilufar Jo‘raevna
Qarshi davlat universiteti o‘qituvchisi

Kremniy zamonaviy mikroelektronika, quyosh energetikasi va fotoelektronikada keng qo‘llaniladigan asosiy yarimo‘tkazgich materiallardan biridir. Uning elektrofizik xususiyatlarini boshqarish uchun turli legirlovchi elementlardan foydalaniladi. Mis kremniyda tez diffuziyalanuvchi metall aralashmalardan biri bo‘lib, uning mavjudligi materialning zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi, rekombinatsiya jarayonlari va elektr o‘tkazuvchanligiga ta’sir qilishi mumkin.

Zaryad tashuvchilarning yashash vaqti kremniy materialining sifatini tavsiflovchi muhim parametr bo‘lib, u elektron va kovaklarning rekombinatsiyalanish tezligi bilan bevosita bog‘liq. Yashash vaqtining kamayishi materialda rekombinatsiya markazlari sonining ortganligini ko‘rsatishi mumkin.

Eksperimental va nazariy ishlar kremniyning issiqlik, radiatsiya nuqsonlari bilan rekombinatsiya xususiyatlarini chuqur energiya darajalari o'rganishga bag'ishlangan. Xususan, kremniydagi nuqson markazlarining kontsentratsiyasi ortishi bilan xususiy zaryad tashuvchilarning yashash vaqti (t) qisqarishi ko'rsatilgan. Biroq, nuqson markazlarining kontsentratsiyasining ortishi bilan zaryad tashuvchilarning yashash vaqtining ortishi aniqlandi. Bundan tashqari, kremniydagi zaryad tashuvchilarning yashash vaqtining ortishi turli ishlarda turli mexanizmlar bilan izohlanadi.

Tadqiqotning asosiy maqsadi termik ishlov berish sharoitida mis bilan boyitilgan kremniyda zaryad tashuvchilar yashash vaqtining o‘zgarish qonuniyatlarini aniqlash hamda termik jarayon parametrlarining rekombinatsion xususiyatlarga ta’sirini o‘rganishdan iborat.

Kremniydagi mis aralashmalarini tanlash quyidagi fikrlar bilan belgilanadi:

Birinchidan, mis atomlarining katta qismi elektr faol bo'lmagan holatda: klasterlar va cho'kmalar shaklida bo'lib, ular birlamchi radiatsiya va issiqlik nuqsonlari uchun oluvchi bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Ikkinchidan, kremniy tarkibidagi mis boshqa aralashmalarga nisbatan yuqori diffuziya koeffitsienti va eruvchanligiga ega

Tadqiqot uchun mis bilan boyitilgan kremniy namunalari tanlanib, ularga turli harorat va davomiyliklarda termik ishlov berish amalga oshiriladi. Termik jarayon davomida mis atomlarining kremniy kristall panjarasida diffuziyalanishi va ularning mavjud nuqsonlar bilan o‘zaro ta’siri kuchayishi mumkin.

Zaryad tashuvchilarning yashash vaqti umumiy holda rekombinatsiya jarayoni bilan quyidagicha bog‘lanadi:

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_{SRH}} + \frac{1}{\tau_{rad}} + \frac{1}{\tau_{Auger}}$$

bu yerda τ — zaryad tashuvchilarning effektiv yashash vaqti, τ_{SRH} — Shockley–Read–Hall rekombinatsiyasiga, τ_{rad} — radiatsion rekombinatsiyaga, τ_{Auger} - Auger rekombinatsiyasiga mos yashash vaqtlarini bildiradi.

Kremniyda metall aralashmalari, jumladan mis, taqiqlangan zona ichida energetik sathlar hosil qilishi va shu orqali rekombinatsiya markazlari sifatida ishtirok etishi mumkin. Bunday markazlarning konsentratsiyasi ortishi zaryad tashuvchilarning yashash vaqtining qisqarishiga olib keladi.

Termik ishlov berish jarayonida esa bir nechta qarama-qarshi jarayonlar kuzatilishi mumkin. Bir tomondan, yuqori harorat mis atomlarining diffuziyasini tezlashtiradi va ularning hajm bo‘yicha qayta taqsimlanishiga sabab bo‘ladi. Ikkinchi tomondan, termik ishlov berish kristall panjaradagi ayrim nuqsonlarning qayta tashkil topishi yoki passivatsiyalanishiga olib kelishi mumkin. Shu sababli yashash vaqtining termik ishlov berish haroratiga bog‘liqligi har doim ham monoton xarakterga ega bo‘lmasligi mumkin.

Eksperimental natijalarni tahlil qilishda zaryad tashuvchilar yashash vaqtining harorat va termik ishlov berish davomiyligiga bog‘liqligi:

$$\tau = f(T,t)$$

ko‘rinishida ifodalanishi mumkin. Bu yerda T — termik ishlov berish harorati, t — ishlov berish davomiyligi.

Tadqiqot natijasida optimal termik ishlov berish sharoitlarini aniqlash orqali mis bilan boyitilgan kremniyning rekombinatsion xususiyatlarini boshqarish imkoniyati baholanadi.

Termik ishlov berish mis bilan boyitilgan kremniyning zaryad tashuvchilar yashash vaqtiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Ushbu ta’sir mis atomlarining diffuziyasi, kristall panjaradagi nuqsonlarning qayta taqsimlanishi va rekombinatsiya markazlarining shakllanishi bilan bog‘liq. Zaryad tashuvchilar yashash vaqtini o‘rganish Cu bilan boyitilgan kremniyning fotoelektrik va elektron xususiyatlarini boshqarish uchun muhim hisoblanadi. Olingan natijalar kremniy asosidagi quyosh elementlari, fotodetektorlar va boshqa yarimo‘tkazgich qurilmalar uchun materiallarning texnologik parametrlarini optimallashtirishda qo‘llanilishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Sze S.M., Ng K.K. *Physics of Semiconductor Devices*. Wiley, 2007.
2. В.И.Фистуль. Введение в физику полупроводников. М.: Высшая школа, 1984. С. 352.
3. Каримов М., Махкамов Ш., Турсунов Н.А., Махмудов Ш.А., Бегматов К.А., Караходжаев А.К., Садиков А.Х. Кинетика релаксации фотопроводимости в кремнии р-типа, компенсированном атомами фосфора // Известия вузов. Физика. 2009 г., № 5. С. 9-12.
4. Graff K. *Metal Impurities in Silicon-Device Fabrication*. Springer, 1995.
5. М.Ю.Ташметов, Ш.Махкамов, Ш.А.Махмудов, А.А.Сулаймонов, А.К. Рафиков, Н.Ж.Одилова, Ж.З.Мирзарайимов. Влияние γ- радиации на время жизни носителей заряда в кремнии, легированном медью и иридий. Фундаментальные и прикладные вопросы физики. Труды Международной конференции.Ташкент 2020 г.С. 56-58.

AKUSTIK GOLOGRAFIYANING DOLZARBLIGI VA QO‘LLANILISHI

[1]Qarshiyev Q., [2]Rustamova M.

[1]Samarqand davlat pedagogika instituti Fizika kafedrasi dotsenti

Samarqand Sh.,140100. Spitamen shoh ko‘chasi 166-uy. qilichboyqarshiyev@samdpi.uz

[2]Samarqand davlat pedagogika instituti

Tabiiy fanlar fakulteti Fizika va astronomiya yo‘nalishi 4- kurs talabasi

Akustik golografiyaning dolzarb muommolari asosan tovush maydonlarini aniq shakllantirish, real vaqt rejimida hisoblash murakabligi va biologik to‘qimalar kabi murakkab muhitlarda to‘lqinlar tarqalishini boshqarish cheklovlari bilan bog‘liq. Akustik golografiya tovush to‘lqinlarining interferensiyasi va difraksiyasiga asoslangan ob’ektlarning uch o‘lchamli tasvirini yoki ma’lum bir fazoda aniq maydonini shakllantirish texnologiyasidir.

Quyida akustik golografiyaning ba’zi asosiy qo‘llanilish sohalari va uning bugungi kundagi dolzarb ahamiyati ustida to‘xtalib o‘tamiz. Birinchi navbatda tibbiyotda, biotexnologiyada, gidrolokatsiyada, harbiy sohalarda va boshqalarda qo‘llanilishi muhim ekanligini aytib o‘tish maqsadga muvofiqdir. Bu erda akustik golografiya birinchi qadamlarni tashlaganligini eslash kifoyadir, hamda mutaxassislarning diqqatini

tortganligi yetarlidir. Akustik golografiya tana ichiga invaziv (jarrohlik) aralshuvlarisiz, faqat ultratovush to‘lqinlari yordamida aniq ta’sir ko‘rsatish imkonini beradi. Tibbiyotda’ nishonli dori yetkazib berish va neyromodulyatsiyada inson bosh suyagini kesmasdan turib, miyaning aynan shikastlangan yoki davolanishi kerak bo‘lgan chuqur nuqtalariga dori moddalarini aniq golografik fokus orqali yetkazish muvafaqiyatli qo‘llanilmoqda. HIFI (yuqori intensivlikdagi fokuslangan ultratovush) tibbiyot yo‘nalishida esa saraton o‘smasining aniq 3D shaкliga mos keladigan akustik gologramma hosil qilinadi va faqat o‘sma hujayralari kuydiriladi, sog‘lom to‘qimalarga esa zarar yetkazilmaydi. Akustik golografiyadan to‘qimalarning tana ichida o‘stirishda ham muvafaqiyatli qo‘llanib kelinmoqda. Oxirgi ilmiy yutuqlar tana ichidagi jarayonlardan shikastlangan joyning o‘zida akustik gologrammalar yordamida biomateriallarni shakllantirib, sun’iy to‘qimalarni tezlik bilan yaratish imkonini bermoqda. Shuningdek, tibbiyotda akustik golografiyadan bundan oldin rentgen texnikasidan foydalanish o‘rniga ishlatilayotganligini ta’kidlash mumkin. Akustik golografiyaga bo‘lgan qiziqishning ortishi shundaki, birinchidan, bir qator to‘qimalarda rentgen va tovush nurlarining o‘tkazuvchanligi xossalaridagi farqi juda ham yuqoridir. Shuning uchun ham, bitta zondlovchi signal yordamida fizik tabiatni ko‘rishning iloji bo‘lmasa, boshqa fizik tabiatga ega bo‘lgan signaldan foydalanib bu masalani hal etish mumkin bo‘lar ekan. Ammo bu ikkala usul raqobotlashuvchi bo‘lsada, akustik zondlash shunday katta ustunlikka egaki, ya’ni rentgen nurlanishiga nisbatan organizm uchun tovush signallari zararsiz ekanligini ta’kidlash etarlidir. Yaqin kelajak shuni ko‘rsatadiki, aynan akustik golografiya optik shafof bo‘lmagan muhitlarda ko‘rish topshiriqlarining optimal yechimiga ega bo‘ladi. Akustik golografiyaning keng tarqalgan usullari tibbiy ultratovush diagnostikasida foydalanib kelinmoqda: qon tomirlaridagi jarayonlarni tekshirish, yomon zararli o‘smalarning paydo bo‘lishlarini ko‘rish, ichki organlarning tasvirlarini olish (buyrak, ko‘z tubi, o‘t pufagi va boshqalar) muhim ahamiyat kasb etadi. Golografik usullar yordamida ayniqsa insonning homila davridagi rivojlanishi haqida ayniqsa aniq ma’lumotlarga ega bo‘ladi. Bu ishlarni amalga oshirish uchun yuqori aniqlikda ishlaydigan apparaturalar mavjud. Biologik tadqiqotlar uchun $\sim 10 \sim 15$ mkm aniqlikdagi ultratovushli mikroskoplardan foydalanib kelinmoqda. Ultratovushli golografiya usullaridan ultratovushli defektoskopiyada defektlarni (1 dan bir necha mm gacha) aniq o‘lchash imkoniyatlarini beradi. Akustik golografiya usullari gidrolokatsiyada 100 m tartibdagi masofadagi ob’ektlarni kuzatish mumkin. Suv osti kuzatuvlarini olib borish uchun maxsus golografik qurilmalar yaratilgan. Okean tubining relyefini, g‘orlar va cho‘kkan ob’ektlarni, suv osti kemalari va boshqalarni juda yuqori aniqlikda golografik tasvirlash imkonini beradi.

Suv ostida yorug‘lik to‘lqinlari uzoqqa bormagani sababli, akustik to‘lqinlar va golografiya bu muhitda “ko‘rish” ning eng mukammal usuli hisolanadi. Gidrolokatsiyada suv osti ob’ektlarini qidirib topish hamda suv osti jonivorlarining migratsiyasi va ularni nazorat qilishda ham samarali foydalanib kelinmoqda.

Akustik golografiya harbiy sohada asosan suv osti mudofaasida kemalarni aniqlash, dengiz suv tubiga ko‘milgan yoki loyqa ostida yashiringan dengiz minalarini qidirib topish, shakli va ularni zararsizlantirish, harbiy texnika shovqinini kamaytirish, o‘z harbiy ob’ektlarini dushman nigohini tushirmaslik uchun “yashirinish” (bekinish) maqsadida ham foydalanib kelinmoqda. Shovqinsiz texnologiyalar bilan qurollangan dushman suv osti kemalarining kuchsiz tovush akslanmalarini yig‘ib, ularning aniq konturlarini tiklaydi. Harbiy flotda zamonaviy torpedalar nishonni aniqroq olishi va xatolikka yo‘l qo‘ymasligi uchun akustik golografik datchiklar bilan jihozlanadi. Akustik gologramma yordamida geofiziklar yer osti boyliklarini ko‘ra oladi va ularni nazorat qilib turadi.

Shunday qilib, xulosa qilib aytganda, akustik golografiya va uning usullari shunchaki tasvir hosil qilish vositasi emas, balki materiya va energiyani fazoda masofadan turib yuqori aniqlikda boshqarish imkoniyatini beruvchi strategik texnologiyadir. U invaziv tibbiyotni to‘liq xavfsiz neyroxirurgiyaga, sanoat nazoratini esa mutloqa avtomatlashgan raqamli tizimga aylantirmoqda. Akustik golografiya istiqbolli

yo‘nalishligiga hech qanday shubha yo‘q va hozirgi fan va texnika rivojlangan zamonda undan foydalanish imkoniyatlari zamon talablari asosida kengayib boraveradi.

Adabiyotlar

1. Л.Д.Гик. Акустическая голография. Новосибирск: Наука, 1981.64 ст.
2. Xu, Z., et al. Programmable Acoustic Holography Using Medium-Sound-Speed Modulation // *Advanced Science*. – 2023. – Vol. 10. – Article 2301489. – DOI: 10.1002/advs.202301489
3. Wu, H., Zha, Y., Gao, J., Zhou, H., Zhang, N., Jiang, W**.** A hybrid nearfield acoustic holography based on the mapping relationship and boundary element method // *Applied Acoustics*. – 2024. – Vol. 216. – Article 109823. – DOI: 10.1016/j.apacoust.2023.109823

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕРМООБРАБОТАННЫХ ТОНКИХ ПЛЁНОК TeSe ПРИ ОСВЕЩЕНИИ

доктаранта.Н.П.Жураева[1], проф.Э.Ю.Тураев[1], ф.м.н. Б.Д. Игамов[2].

[1]Термезского государственного университета Республики Узбекистан

[2]Научно-технический центр с конструкторским бюро и опытным производством, Академия наук Республики Узбекистан

Халькогенидные тонкие плёнки на основе Te–Se представляют интерес для оптоэлектроники и фотоэлектрических устройств благодаря регулируемым оптическим и электрическим свойствам, фоточувствительности и фазовой стабильности [1–3]. Сочетание свойств теллура и селена позволяет управлять фотоэлектрической проводимостью и оптическим поглощением Te–Se материалов [4,5]. Структурные, оптические и фотоэлектрические свойства тонких плёнок Te–Se существенно зависят от их состава и условий термической обработки. Показано, что отжиг может изменять степень кристалличности, параметры оптического поглощения и электрические характеристики плёнок [2,6]. Фотопроводимость и оптические свойства Se–Te плёнок также зависят от их состава и структурного состояния [1,7]. Современные исследования демонстрируют перспективность Te–Se материалов для коротковолновых инфракрасных фотодетекторов, гибкой оптоэлектроники и других фотоэлектрических систем [4,5,8]. В связи с этим исследование влияния температуры термической обработки на фотоэлектрический отклик тонких плёнок TeSe имеет важное значение для понимания процессов транспорта носителей заряда и оценки их функциональных характеристик. В настоящей работе исследованы **I–V характеристики при освещении** тонких плёнок TeSe, термообработанных при **300, 350 и 400 °C.**

Для оценки фотоэлектрических свойств тонких плёнок TeSe были исследованы их I–V характеристики при освещении после термической обработки при 300, 350 и 400 °C. Результаты представлены на рис. 1. Для всех образцов характерно относительно слабое изменение тока при малых напряжениях и его резкое увеличение при положительных напряжениях выше **≈4 В**. Такое поведение может быть связано с активацией носителей заряда внешним электрическим полем и усилением проводящих каналов в плёнке. Повышение температуры термической обработки приводит к заметному изменению I–V характеристик.

При положительном напряжении около **4,80 В** ток образца, обработанного при 300 °C, составлял **$1{,}215\times10^{-7}$ А**, тогда как для образцов, обработанных при 350 и 400 °C, при напряжениях 4,94 и 4,96 В он достигал соответственно **$1{,}5084\times10^{-7}$ и $1{,}908\times10^{-7}$ А**. Таким образом, повышение температуры

обработки от 300 до 400 °C сопровождается увеличением тока в положительном направлении. Максимальный ток образца после обработки при 400 °C примерно в **1,57 раза** превышает значение для образца, обработанного при 300 °C, что указывает на улучшение транспорта фотоиндуцированных носителей заряда.

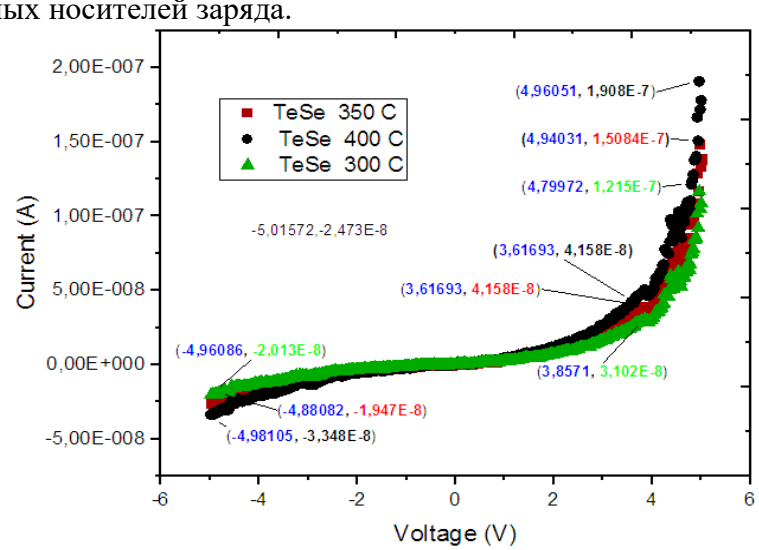


Рисунок 1. Вольт-амперные характеристики (ВАХ) тонких плёнок TeSe при освещении в зависимости от температуры термической обработки.

Температурная зависимость также наблюдается в отрицательной области напряжений. При **−5 В** абсолютные значения тока для образцов, обработанных при 300, 350 и 400 °C, составляли соответственно **$2{,}013\times10^{-8}$, $2{,}473\times10^{-8}$ и $3{,}348\times10^{-8}$ А**. Следовательно, увеличение температуры обработки сопровождается ростом тока и в отрицательном направлении. При этом различие токов в положительной и отрицательной областях свидетельствует об асимметричном характере I–V характеристик. Такая асимметрия может быть обусловлена особенностями контакта плёнка–электрод, потенциальными барьерами на интерфейсе или направленным транспортом носителей заряда.

Увеличение тока при освещении с повышением температуры обработки может быть связано со структурной перестройкой материала, изменением состояния межзёренных границ, улучшением морфологии поверхности и перераспределением локальных дефектных состояний. С учётом ранее полученных SEM-результатов, согласно которым повышение температуры обработки сопровождается уменьшением поверхностной шероховатости и неоднородности, увеличение тока может коррелировать с термической оптимизацией структуры и поверхности TeSe-плёнок.

Таким образом, I–V характеристики подтверждают существенную зависимость фотоэлектрического отклика TeSe-плёнок от температуры термической обработки. Повышение температуры от 300 до 400 °C сопровождается увеличением тока при освещении, что может свидетельствовать об улучшении генерации и/или транспорта носителей заряда. Наибольший фотоиндуцированный ток наблюдается после обработки при **400 °C**, что указывает на благоприятное влияние данного режима термообработки на фотоэлектрический отклик исследуемых плёнок.

Термическая обработка при 300–400 °C оказывает существенное влияние на фотоэлектрические свойства тонких плёнок TeSe. При повышении температуры обработки от 300 до 400 °C ток в положительном направлении увеличивается с **$1{,}215\times10^{-7}$ до $1{,}908\times10^{-7}$ А**, а при −5 В — с **$2{,}013\times10^{-8}$ до $3{,}348\times10^{-8}$ А**. Максимальный ток при 400 °C примерно в **1,57 раза** превышает значение для образца, обработанного при 300 °C. Наблюдаемые изменения могут быть обусловлены

термически индуцированной перестройкой кристаллической структуры, поверхности и локальных дефектных состояний. В целом повышение температуры обработки до **400 °C способствует улучшению фотоэлектрического отклика и транспорта фотоиндуцированных носителей заряда в TeSe-плёнках.**

Список литературы

1. Z. Zhou, et al., Tellurium-selenium alloy semiconductors for optoelectronic devices, transistors, and sensors, Device 12 (2026) 101220. DOI: 10.1016/j.device.2026.101220.

2. M. Xu, C. Lan, et al., Research Progress on TeSe-Alloy-Based Heterojunction Photodetectors, Photonics 12 (2025) 1190. DOI: 10.3390/photonics12121190.

3. I. Hadar, X. Hu, et al., Nonlinear Band Gap Tunability in Selenium–Tellurium Alloys and Its Utilization in Solar Cells, ACS Energy Letters 4 (2019) 2137–2143. DOI: 10.1021/acsenergylett.9b01619.

4. S.D. Deshmukh, et al., Solution Processed Fabrication of Se–Te Alloy Thin Films for Application in PV Devices, ACS Applied Energy Materials 5 (2022) 3275–3281. DOI: 10.1021/acsaem.1c03896.

5. K V Reddy and A K Bhatnagar.Electrical and optical studies on amorphous Se-Te alloys. 1992 *J. Phys. D: Appl. Phys.* 25 1810**DOI** 10.1088/0022-3727/25/12/017

6. Zishan Husain Khan, et al.,.Effect of Composition on Electrical and Optical Properties of Thin Films of Amorphous GaxSe100−x Nanorods. Nanoscale Research Letters 5(9):1512-1517 DOI:10.1007/s11671-010-9671-5

7. A. El-Korashy, et al., Influence of composition and heat treatment on the structure of Se–Te films, Thin Solid Films 261 (1995) 328–333. DOI: 10.1016/S0040-6090(95)06512-1.

8. C.Y. Yang, D.E. Sayers, M.A. Paesler, Local bonding configurations of amorphous Sex_xTe1−x films, Journal of Non-Crystalline Solids 114 (1989) 67–69. DOI: 10.1016/0022-3093(89)90070-7.

ВИБРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКОГО СПЛАВА VSi_2, СИНТЕЗИРОВАННОГО МЕТОДОМ SPS: СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ RAMAN И FTIR

Х.М. Эшкуватов[1], И.Х. Турапов[2], Б.Д. Игамов[3], Ш.Н. Абилфайзиев[4]

[1]**Термезский государственный университет**, г. Термез, ул. Баркамолавлод, 190111, Узбекистан;

[2]Cyber university Государственный университет;

[3]**Научно-технический центр конструкторского бюро и опытно-экспериментального производства Академии наук Республики Узбекистан.**

[4]Заведующий кафедрой точных и естественных наук Термезского государственного инженерно-агротехнологического университета.

Аннотация:В работе исследованы вибрационные свойства интерметаллического сплава VSi_2, полученного методом искрового плазменного спекания (SPS) при 1415 °C и 50 МПа, с использованием Raman- и FTIR-спектроскопии. Raman-спектроскопия применена для анализа локальных колебательных мод кристаллической решётки, а FTIR — для идентификации характерных химических связей и вибрационных полос. Сопоставление спектральных данных позволило оценить локальные структурные особенности VSi_2 и взаимосвязь между условиями SPS и его вибрационными характеристиками. Полученные результаты расширяют представления о структурном и вибрационном состоянии VSi_2, синтезированного методом SPS.

Ключевые слова: VSi_2; SPS; Raman-спектроскопия; FTIR-спектроскопия; вибрационные свойства; кристаллическая решётка; химические связи.

Потребность в высокостабильных материалах для работы при экстремальных температурах стимулирует исследования тугоплавких силицидов, включая **$MoSi_2$, $TiSi_2$, $CoSi_2$ и VSi_2** [1]. VSi_2 характеризуется высокой температурой плавления (≈2030 °C), относительно низкой плотностью, высокой твёрдостью и термической стабильностью, что делает его перспективным для высокотемпературных компонентов, диффузионных барьерных слоёв, сенсоров и термоэлектрических устройств [2]. Формирование VSi_2 в системе V–Si зависит от исходного состава, температуры, диффузионных процессов и условий консолидации [3-4]. Технология SPS обеспечивает быстрое получение высокоплотных материалов и эффективный контроль микроструктуры [5-6], однако взаимосвязь условий SPS со структурными и вибрационными характеристиками VSi_2 изучена недостаточно. Поэтому в настоящей работе VSi_2, полученный при **1415 °C и 50 МПа,** исследован с использованием взаимодополняющих методов, включая XRD, EDS, FTIR и Raman-спектроскопию, с целью установления взаимосвязи **«процесс–структура»**.

Для исследования вибрационных свойств и химического состояния поверхности VSi_2 применена **FTIR-спектроскопия** в диапазоне **500–1200 см⁻¹** (рис. 1). В спектре выявлены полосы при **1175,49, 1032,19 и 770,86 см⁻¹,** которые могут быть связаны с колебаниями связей **Si–O/Si–O–Si**. Интенсивная полоса при 1032,19 см⁻¹ соответствует валентным колебаниям Si–O, тогда как сигнал при 770,86 см⁻¹ может быть связан с деформационными колебаниями Si–O–Si. Наличие данных полос согласуется с содержанием **O = 1,0 ат.%,** установленным методом EDS, и указывает на возможное поверхностное окисление образца. Отсутствие выраженных оксидных рефлексов на XRD-дифрактограмме свидетельствует о небольшом количестве либо преимущественно поверхностной локализации кислородсодержащей фазы. При этом FTIR и EDS не позволяют достоверно определить её толщину и точный фазовый состав.

Полосы при **547,55 и 462,10 см⁻¹** могут быть связаны с решёточными колебаниями V–Si и согласуются с гексагональной фазой VSi_2, идентифицированной методом XRD. Их отнесение выполнено с учётом положения полос, кристаллографической структуры и совокупности спектроскопических данных.

Локальные вибрационные характеристики VSi_2 исследованы методом **Raman-спектроскопии** в диапазоне **100–1000 см⁻¹** при возбуждении лазером с длиной волны **532 нм** (рис. 2). Зарегистрированы семь основных полос при **174, 223, 239, 331, 376, 471 и 630 см⁻¹**, положения которых в целом согласуются со спектральными характеристиками VSi_2. Полоса при 174 см⁻¹ может быть связана с решёточными колебаниями, сигналы при 223 и 239 см⁻¹ — с деформационными колебаниями V–Si, а полосы при 331 и 376 см⁻¹ — с деформационными и валентными колебаниями этих связей. Интенсивная полоса при **471 см⁻¹** может быть отнесена к решёточным вибрациям, связанным с взаимодействием V–Si. Сигнал при **630 см⁻¹** характеризуется относительно широкой формой и не может быть однозначно отнесён к конкретной Raman-активной моде VSi_2. Его происхождение может быть связано со структурным разупорядочением, локальным вибрационным

окружением, поверхностным окислением или вкладом небольшого количества вторичной фазы. Поэтому данная полоса интерпретируется как **вероятный дополнительный вибрационный сигнал**.

В целом Raman-спектр соответствует основной **гексагональной фазе VSi_2,** установленной методом XRD. Отсутствие отчётливых дополнительных Raman-сигналов, характерных для V_3Si и V_5Si_3, указывает на отсутствие их заметного вклада в зарегистрированный спектр. Однако с учётом различной Raman-активности фаз данный результат не является самостоятельным доказательством их полного отсутствия; окончательная фазовая идентификация должна основываться прежде всего на данных XRD.

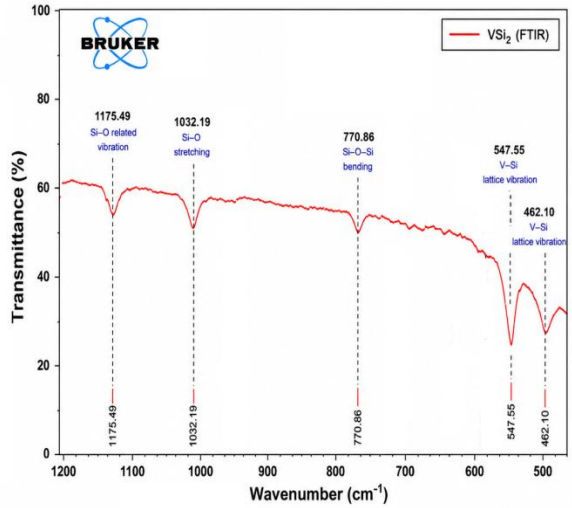


Рис. 5. FTIR-спектр интерметаллического сплава VSi_2, синтезированного методом SPS..

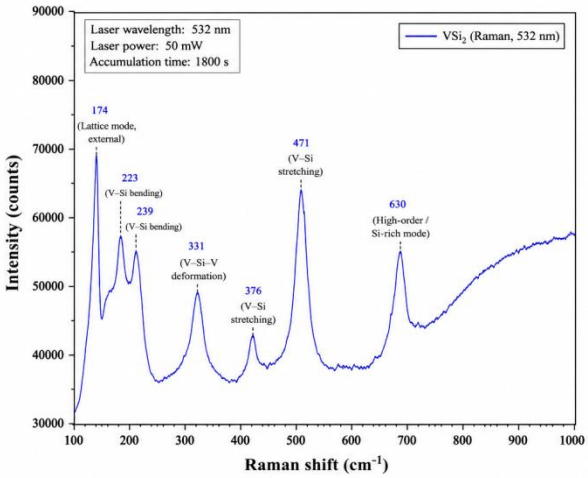


Рис. 6. Raman-спектр интерметаллического сплава VSi_2, синтезированного методом SPS.

Заключение

Вибрационные свойства сплава VSi_2, полученного методом SPS при **1415 °C и 50 МПа,** исследованы с использованием Raman- и FTIR-спектроскопии. Полученные спектры позволили идентифицировать характерные колебательные моды и химические связи VSi_2. Согласованность результатов Raman- и FTIR-спектроскопии подтверждает локальные структурные особенности материала. Полученные данные демонстрируют эффективность данных спектроскопических методов для оценки вибрационных характеристик VSi_2, сформированных в процессе SPS.

Список литературы

[1] G. Hasemann,, Room temperature plastic deformability in V-rich V–Si–B alloys, Acta Mater. 175 (2019) 140–147,

[2] T. Muroga, Vanadium alloys - overview and recent results, J. Nucl. Mater. 307–311(2002) 547–554,

[3] H. Kudielka, Untersuchungen in den systemen: V-B, NbB, V-Si-B und Ta-B-Si, Mh. Chem. 88 (1957) 1048–1055.

[4] B.B. De Lima-Kühn, Microstructural characterization of as-cast V-Si alloys and reevaluation of the invariant reactions involving the liquid phase of the V-Si system, Mater. Res. 19(2016)1122–1126.

[5] W.G. Yang, V8SiB4 — A new ternary phase in the V–Si–B system, Intermetallics 151 (2022) 107691,

[6] B.D. Igamov .|Investigation of the formation mechanisms, crystallographic evolution and the $ZrSi_2$ phase on the Si(111) surface\\Next Materials 9 (2025) 101331.

ИЗУЧЕНИЕ ФЭС - КАК МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРИМЕСНЫХ ЦЕНТРОВ В ПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУРАХ

О.Р.Нурматов

Ферганский государственный технический университет, Фергана, Узбекистан

Приводятся результаты экспериментальных исследований долговременной релаксации фотоэлектретного состояния (ФЭС) в. Показано, что в активированных пленках ФЭС обусловлено с глубокими примесными уровнями или комплексами, в которых входит примесные атомы и собственные дефекты.

Ключивые слова: *тонкие легированные пленки, аномальное фотонапряжение, фотоэлектретное состояние.*

Методика исследования ФЭС в пленочных структурах отличается от обычной методики изучения ФЭС в кристаллическом высокоомном фотоэлектрете. Используя выражения, описанных в работе [1], можно определить некоторые параметры примесных центров пленочных структур. Действительно, изменения ёмкости пленок после фотополяризации описывается выражением

$$C_{св}^2(t)-C_T^2=\frac{M_n\left(1-\frac{j}{e}S\tau^*\right)}{\frac{8\pi}{\varepsilon e}V_{АФН}}\left[1-e^{-\frac{t}{\tau^*}}\right], \qquad (1)$$

где $C_{св}(t)$ – ёмкость пленки после полной фотополяризации, C_T – ёмкость пленки в темноте, т.е. до освещения, M_n – концентрация глубокого центра прилипания, j – ток короткого замыкания, τ^* – характеристическое время релаксации

$$\tau^*=\frac{1}{I\kappa'+\frac{j}{e}S}\ , \qquad (2)$$

Здесь I – интенсивность света, к’ – коэффициент поглощения света. Эффективная площадь сечения захвата примесного центра S можно определить из кинетики изменения ёмкости примесным светом следующей формулой

$$S=\frac{e}{jt}\ell n\frac{C_{св}^2(0)-C_T^2}{C_{св}^2(t)-C_T^2}\ , \qquad (3)$$

где $C_{св}(t)$ – ёмкость пленки после выключена примесного света.

Выполняем следующие обозначения

$$C_{св}^2(t)-C_T^2=\Delta C(t),$$

$$\Delta C(t)\big|_{t\to\infty}=B, \qquad (4)$$

$$\frac{d}{dt}\Delta C(t)\Big|_{t=0}=\frac{B}{\tau^*}\ . \qquad (5)$$

Определив характеристическое время путем изменения ёмкости по формуле (5) и зная площадь сечения захвата S, можно вычислить концентрацию глубоких центров прилипания M_n.

Значение максимальной ёмкости после фотополяризации обусловлено разделением и последующей локализацией носителей на локальных примесных центрах в области ООЗ пленки. После выключения света носители термически освобождается из этих центров и участвуют в

проводимости. Поэтому, зная значения времен релаксаций после окончания фотовозбуждения τ_1^* и τ_2^* (рис. 1) при двух значениях температуры, можно определить глубину залегания примесного уровня по формуле [2]

$$\Delta E = \frac{\kappa \cdot \ell n \frac{\tau_1^*}{\tau_2^*}}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T2}} \quad , \qquad (6)$$

где к – постоянная Больцмана.

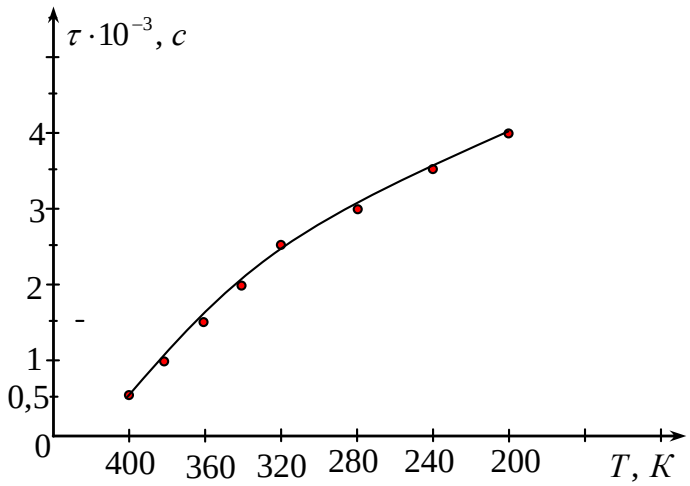


Рис.1. Температурная зависимость времени релаксации τ^* фотоэлектретного состояния АФН пленки $CdTe:Ag$.

На рис. 1 приведена температурная зависимость τ^*, рассчитанная по формуле (2), в интервале температур 200-400 К.

Список литературы

[1]. Карпенко В.П., Кашеринов П.Г., МатвеевО.А. Фотопамять поверхностно-барьерных переходов на CdTe. ФТП, 1970. Т.4. В.5. С.937.

[2].Ковальский П.Н. Шнейдер А.Д. «Фотоэлектретный эффект в полупроводниках», Львов, Изд. при Львовском госуниверситете, 1977. 150 с.

[3]. Эргашев Ж.Э., Юлдашев Н.Х. Фотоэлектретный эффект в полупроводниковых плёночных структурах. Фергана, “Фарғона”: 2017. Монография. 180 стр.

[4]. Nurmatov, O.; Rahmonov, T.; Sulaymonov, Kh.; and Yuldashev, N. (2020) "Phototenzoelectric properties of polycrystalline films of chalcogenides of cadmium and zinc, produced by portional evaporation in vacuum," Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering: Vol. 2 : Iss. 5 , Article 10.

GaAs/AlGaAs KVANT O‘RALARIDA γ-NURLANISH TA’SIRIDA FOTOLUMINESSENSIYA XUSUSIYATLARINING O‘ZGARISHI

Nasirov Mardonbek Xaldarbekovich*, Rahmonov Tohirbek Imomaliyevich
Sulaymonov Khusanboy Mannopovich
Farg‘ona davlat texnika universiteti, Farg‘ona.

Annotatsiya

Ushbu ishda GaAs/AlGaAs ko‘p kvant o‘rali geterostrukturasining γ-nurlanish ta’siridagi optik xususiyatlari past haroratli fotoluminessensiya spektroskopiyasi yordamida tahlil qilindi. Tadqiq qilingan struktura AlGaAs to‘siq qatlamlari bilan ajratilgan, qalinliklari 2,5; 4,2 va 7,7 nm bo‘lgan uchta GaAs kvant o‘rasidan tashkil topgan. γ-nurlanishdan oldingi fotoluminessensiya spektrlarida eksiton, donor bilan bog‘langan eksiton, donor–akseptor rekombinatsiyasi hamda chuqur defekt holatlariga tegishli emissiya komponentlari kuzatildi. Nurlanishdan so‘ng emissiya polosalarining intensivligi sezilarli darajada kamaydi. Bu hodisa γ-nurlanish natijasida kristall panjarada qo‘shimcha defekt markazlarining hosil bo‘lishi va ular orqali nurlanishsiz rekombinatsiya kanallarining kuchayishi bilan bog‘landi. Turli emissiya polosalarining nurlanishga turlicha sezgirligi sayoz eksiton va donor holatlari chuqur defekt holatlariga nisbatan kuchliroq modifikatsiyalanishini ko‘rsatdi. Natijalar γ-nurlanish GaAs/AlGaAs kvant o‘ralarida radiatsion va nurlanishsiz rekombinatsiya kanallari o‘rtasidagi nisbatni sezilarli o‘zgartirishini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: GaAs/AlGaAs, kvant o‘ra, γ-nurlanish, fotoluminessensiya, eksiton, radiatsion defekt, nurlanishsiz rekombinatsiya.

Kirish. GaAs/AlGaAs kabi III–V yarimo‘tkazgich kvant geterostrukturalari elektron va optik xususiyatlarini kvant chegaralanishi orqali boshqarish imkoniyati sababli optoelektron qurilmalarda keng qo‘llaniladi [1]. Kvant o‘ralarida eksiton rekombinatsiyasi, aralashma bilan bog‘liq optik o‘tishlar va defekt holatlari hajmiy yarimo‘tkazgichlarga nisbatan tashqi ta’sirlarga yuqori sezgirlik namoyon etadi. Ayniqsa, yuqori energiyali nurlanish kristall panjarada yangi nuqsonlar hosil qilib, radiatsion va nurlanishsiz rekombinatsiya jarayonlari o‘rtasidagi muvozanatni o‘zgartirishi mumkin [2]. Radiatsiya ta’sirida hosil bo‘ladigan nuqsonlar zaryad tashuvchilar uchun tutib qolish va nurlanishsiz rekombinatsiya markazlari vazifasini bajaradi. Natijada eksiton emissiyasi susayishi, ayrim optik o‘tishlarning intensivligi o‘zgarishi va materialning umumiy optik javobi yomonlashishi mumkin. GaAs asosidagi kvant o‘ralarida nurlanish ta’siridan keyingi PL o‘zgarishlari boshqa tadqiqotlarda ham qayd etilgan [3–5]. Shu sababli GaAs/AlGaAs kvant o‘ralarining γ-nurlanishga javobini fotoluminessensiya orqali o‘rganish ularning radiatsion muhitdagi barqarorligini baholash uchun muhimdir. Ishning maqsadi GaAs/AlGaAs ko‘p kvant o‘rali geterostrukturasining γ-nurlanishdan oldingi va keyingi past haroratli fotoluminessensiya spektrlarini qiyosiy tahlil qilish hamda nurlanish ta’sirida eksiton va defekt bilan bog‘liq rekombinatsiya kanallarining o‘zgarishini aniqlash.

Fotoluminessensiya intensivligi yarimo‘tkazgichdagi radiatsion va nurlanishsiz rekombinatsiya jarayonlarining o‘zaro raqobati bilan aniqlanadi. Radiatsion rekombinatsiya natijasida foton emissiyasi yuzaga keladi, nurlanishsiz jarayonlarda esa tashuvchilarning energiyasi yorug‘lik chiqarmasdan boshqa kanallar orqali yo‘qotiladi. Maqolada qo‘llangan fenomenologik yondashuvga ko‘ra, radiatsiya ta’sirida hosil bo‘ladigan defektlar konsentratsiyasining ortishi nurlanishsiz rekombinatsiya tezligini oshiradi va natijada PL intensivligi kamayadi.

Tajriba natijalarini model bilan bog‘lashda nurlanishdan oldingi va keyingi integral PL intensivliklari solishtirilgan. Eksiton bilan bog‘liq emissiyaning keskin kamayishi radiatsiyadan keyin nurlanishsiz rekombinatsiya kanallarining boshlang‘ich holatga nisbatan sezilarli darajada kuchayganini ko‘rsatadi. Ushbu model mikroskopik defektning aniq tabiatini belgilamaydi, biroq PL so‘nishi va radiatsion defektlar o‘rtasidagi bog‘lanishni izchil tushuntirish imkonini beradi.

Tadqiqot obyekti va tajriba usuli.

Tadqiqot obyekti sifatida MOCVD usulida o‘stirilgan GaAs/AlGaAs ko‘p kvant o‘rali geterostrukturasi tanlangan. Struktura uchta GaAs kvant o‘rasidan iborat bo‘lib, ularning qalinliklari mos ravishda 2,5; 4,2 va 7,7 nm ni tashkil etadi. Kvant o‘ralari orasidagi AlGaAs to‘siq qatlamlarining qalinligi 100 nm bo‘lgan.

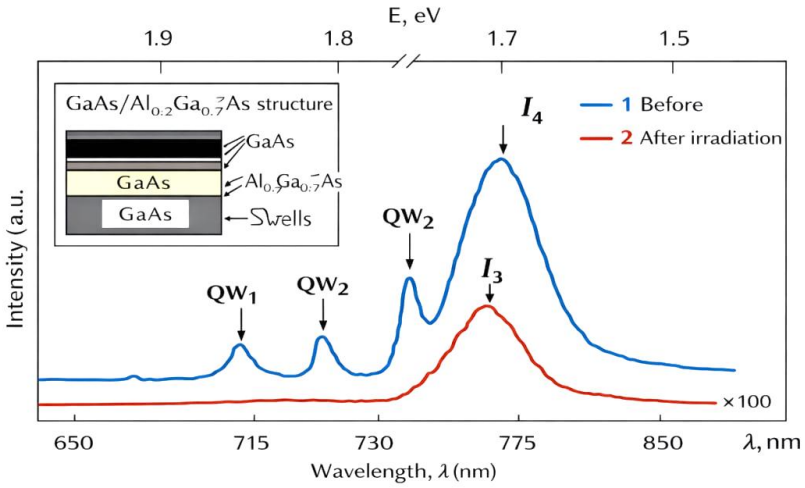
GaAs/AlGaAs namunasi γ-nurlanish ta’sirida tekshirilgan. Fotoluminessensiya spektrlari nurlanishdan oldin va keyin past haroratda qayd etilgan. Nurlanish uchun Co manbasidan foydalanilgan. Taqqoslashning ishonchliligini ta’minlash maqsadida spektrlar bir xil qo‘zg‘atish quvvati, o‘lchash harorati va detektorlash geometriyasida olingan. Emissiya cho‘qqilarining holati spektr maksimumlari orqali, integral intensivlik esa bir xil spektral oraliqda fonni ayirib tashlagan holda aniqlangan.

Natijalar va ularning muhokamasi

γ-nurlanishdan oldingi GaAs/AlGaAs fotoluminessensiya spektrlarida bir nechta aniq emissiya polosalari kuzatilgan. Ular kvant o‘ralaridagi eksiton rekombinatsiyasi, donor bilan bog‘langan eksitonlar, donor–akseptor juftliklari hamda chuqur defekt holatlari bilan bog‘langan optik o‘tishlarga tegishli.

γ-nurlanishdan keyin ushbu emissiya komponentlarining intensivligi sezilarli kamaygan. Kuzatilgan PL so‘nishi nurlanish natijasida kristall panjarada yangi defekt holatlari hosil bo‘lishi va ular tashuvchilar uchun samarali nurlanishsiz rekombinatsiya markazlari sifatida faoliyat yuritishi bilan tushuntiriladi. Shu sababli optik qo‘zg‘atish natijasida hosil bo‘lgan elektron-kovak juftliklarining radiatsion rekombinatsiya ehtimoli kamayadi.

Boshlang‘ich spektrdagi yaqin energetik sohalarda donor bilan bog‘langan eksiton va uglerod bilan bog‘liq elektron o‘tishlarga tegishli emissiya komponentlari, shuningdek donor–akseptor rekombinatsiyasi va arseniy bilan bog‘liq chuqur donor holatlariga tegishli kengroq polosalar qayd etilgan. γ-nurlanishdan keyin ushbu polosalar bir xil darajada susaymagan.



1-rasm. Uchta GaAs kvant o‘rasini o‘z ichiga olgan GaAs/AlGaAs geterostrukturasining γ-nurlanishdan oldingi va keyingi fotoluminessensiya spektrlari.

Rasmdan ko‘rinadiki, nurlanishdan keyingi spektr intensivligi boshlang‘ich holatga nisbatan sezilarli darajada kamayadi. Turli emissiya polosalarining γ-nurlanishga javobi bir-biridan farq qiladi. Sayoz energetik holatlar bilan bog‘liq komponentlar kuchliroq so‘ngan, chuqur defektlar bilan bog‘liq emissiya esa nisbatan kamroq o‘zgargan. Bu natija PL degradatsiyasini faqat umumiy nurlanishsiz rekombinatsiya markazlari sonining ortishi bilan izohlash yetarli emasligini, balki turli luminessensiya markazlarining radiatsiyaga sezgirligi ham farq qilishini ko‘rsatadi.

Natijalar shuni ko'rsatadiki, γ-nurlanish rekombinatsiya dinamikasiga selektiv ta'sir qiladi. Sayoz donor va eksiton holatlari chuqur defekt holatlariga qaraganda radiatsiya ta'siriga ko'proq sezgir. Shu sababli nurlanishdan keyin spektrning umumiy intensivligi kamayishi bilan birga, alohida emissiya kanallarining nisbiy hissasi ham o'zgaradi.

Xulosa. GaAs/AlGaAs ko'p kvant o'rali geterostrukturasining γ-nurlanishdan oldingi va keyingi fotoluminessensiya spektrlari qiyosiy tahlil qilindi. γ-nurlanish natijasida eksiton, donor va aralashma holatlari bilan bog'liq emissiya polosalarining intensivligi keskin kamayishi aniqlandi. Bu o'zgarish radiatsiya ta'sirida nurlanishsiz rekombinatsiya markazlarining hosil bo'lishi bilan bog'lanadi.

Turli emissiya kanallarining nurlanishga sezgirligi bir xil emasligi ko'rsatildi. Sayoz donor va eksiton bilan bog'liq radiatsion o'tishlar chuqur defekt holatlariga qaraganda kuchliroq susayadi. Shunday qilib, γ-nurlanish GaAs/AlGaAs kvant o'ralarida nafaqat umumiy fotoluminessensiya intensivligini kamaytiradi, balki radiatsion va nurlanishsiz rekombinatsiya kanallarining nisbiy hissasini ham qayta taqsimlaydi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Türkoğlu A., Ergün Y., Ungan F. Investigation of the electro-optical characteristics of GaAs/AlGaAs multiple quantum well grown by metal-organic vapor phase epitaxy. Journal of Molecular Structure. 2023;1279:134202. https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2022.134202.

2. Liu X.-Y., Singh C. N., Kennedy E. R., Huang S., Fluckey S. P., Matthews C., Uberuaga B. P. Review of radiation-induced defects in GaAs. Journal of Applied Physics. 2025;138(7):070701. https://doi.org/10.1063/5.0279267.

3. Pavelescu E. M., Bălţăţeanu N., Spânulescu S. I., Arola E. Very high dose electron irradiation effects on photoluminescence from GaInNAs/GaAs quantum wells grown by molecular beam epitaxy. Optical Materials. 2017;64:361–365. https://doi.org/10.1016/j.optmat.2016.12.007.

4. Sailai M., Aierken A., Li Q., Heini M., Zhao X., Mo J., Gao J., Hao R., Yu Z., Guo Q. Effects of 1-MeV electron irradiation on the photoluminescence of GaInNAs/GaAs single quantum well structure. Semiconductors. 2020;54:554–557. https://doi.org/10.1134/S1063782620050103.

5. Murata T., Ohno Y., Kishimoto S., Mizutani T. Photoluminescence intensity enhancement by electron beam irradiation into GaAs quantum wells. Solid-State Electronics. 1999;43(1):147–152. https://doi.org/10.1016/S0038-1101(98)00197-X.

6. Nasirov M. Kh., Tolaboyeva D. X., Rakhmonova T. I., Sulaymonova Kh. M., Abdullayeva Sh. Sh., Umarova A. O., Tursunova I. M. Radiation-induced modification of III–V and II–VI quantum heterostructures under high-energy X-ray, gamma-ray, and electron irradiation. *East European Journal of Physics*. 2026;(3). https://doi.org/10.26565/2312-4334-2026-3-27

ACOUSTIC PROPERTIES OF AQUEOUS SOLUTIONS OF β -PICOLINE IN THE LOW-CONCENTRATION REGION

L. M. Sabirov[1], F.R.Ismoilov[1], M. A. Hasanov[1]

[1]Samarkand State University named after Sharof Rashidov, Samarkand, Uzbekistan

e-mail: muxriddin_hasanov@samdu.uz

In this work, the acoustic and thermodynamic properties of aqueous β-picoline solutions in the low-concentration range (0.005–0.10 mole fractions) were investigated using Mandelstam–Brillouin light

scattering spectroscopy. Based on experimental data on the frequency shift of the Brillouin components, the hypersound velocity, adiabatic compressibility calculated.

Aqueous solutions of low-molecular-weight heterocyclic compounds are of considerable interest in physical chemistry and molecular biophysics because they provide an opportunity to investigate fundamental mechanisms of hydration, structural organization of water, and relaxation processes in the liquid phase [1–3, 4].

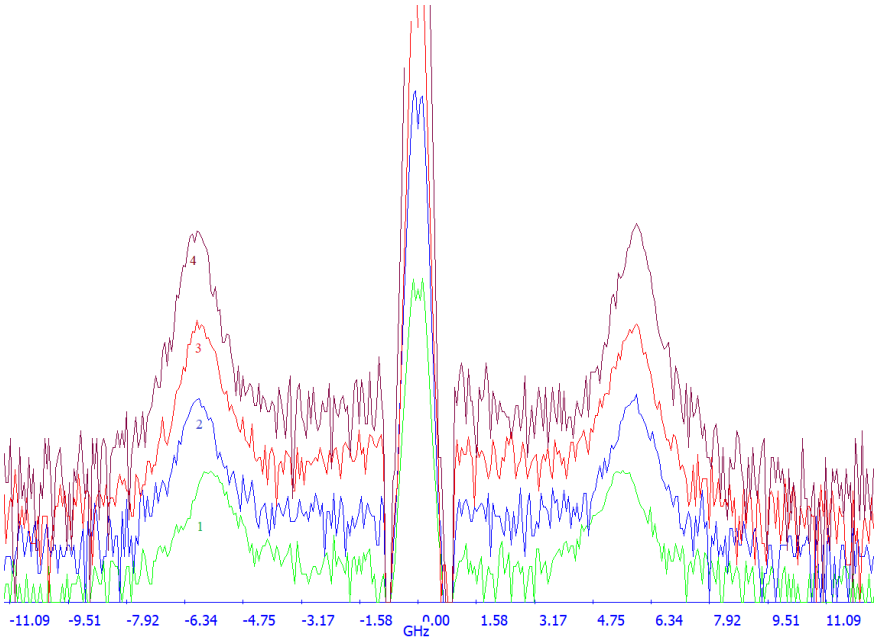


Fig. 1. «Mandelstam–Brillouin spectrum in a water – γ-picoline system (for a scattering angle of 90°, (1) – c=0.005 mol fraction, (2) – c=0.015 mol fraction, (3) – c=0.050 mol fraction, (4) – c=0.060 mol fraction)»

The hypersound propagation velocity v in aqueous β-picoline solutions was calculated from the experimentally measured Mandelstam–Brillouin frequency shift values ν according to the relation:

$$\mathbf{v} = \frac{\nu\lambda}{2n\sin(\frac{\theta}{2})}, \quad (1)$$

where λ is the wavelength of the excitation radiation, n is the refractive index of the solution, and θ is the scattering angle, **ν** is the Mandelstam–Brillouin frequency shift.

The adiabatic compressibility β_S of aqueous solutions of β-picoline was determined from experimentally measured values of the hypersound velocity and the solution density in accordance with the expression:

$$\beta_S = \frac{1}{\rho v^2}, \quad (2)$$

where ρ is the solution density and **v** is the speed of sound. The calculation results, presented in Fig. 2, demonstrate a monotonic decrease in the adiabatic compressibility β_S relative to the value for pure water over the entire concentration range studied.

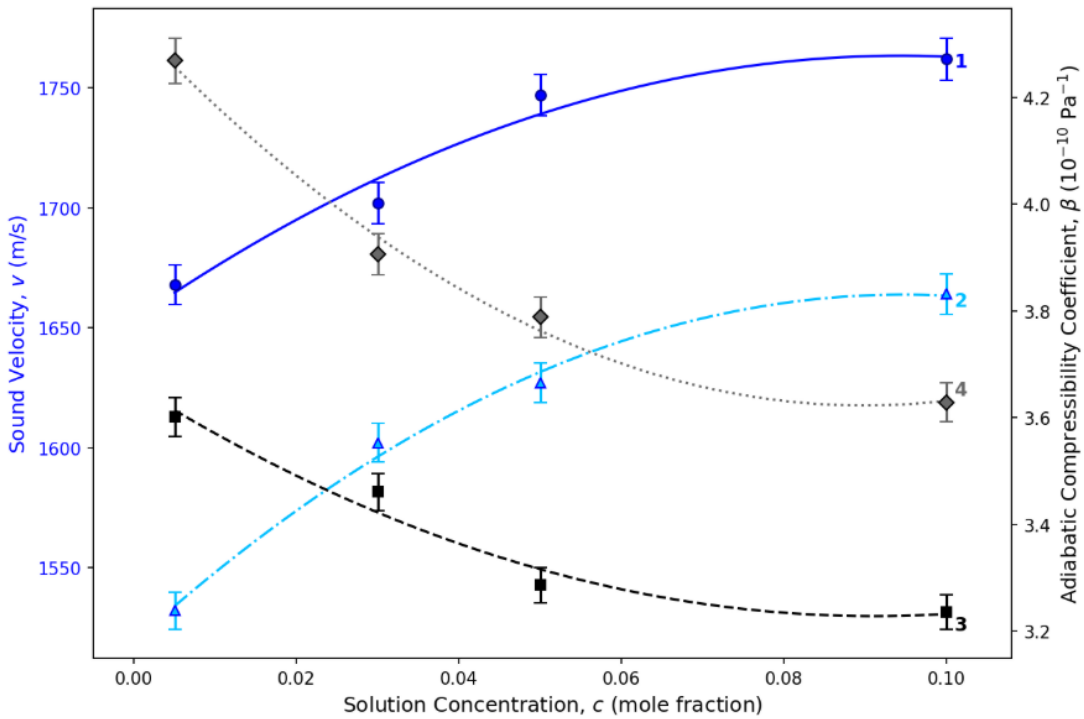


Fig. 2. Concentration dependence of sound velocity v and adiabatic compressibility coefficient β for the water– β -picoline system at phase angles of θ = 180º and θ = 90º, respectively; lines 3 and 4 (black/gray) correspond to adiabatic compressibility at θ = 180º and θ = 90º, respectively.

CONCLUSIONS

1. It was shown that the concentration dependences of the hypersound velocity and the bulk modulus exhibit a positive deviation from the additive behavior characteristic of ideal solutions. This deviation is caused by hydrophobic hydration and cooperative strengthening of the water structure induced by amphiphilic β-picoline molecules.
2. The monotonic decrease in adiabatic compressibility up to c = 0.10 suggests an approach to saturation (within the studied interval) of the structural densification effect.
3. Taken together, the obtained results demonstrate that the water–β-picoline system is characterized by a distinct concentration region corresponding to a structural transition and accompanied by relaxation processes on hypersound time scales.

REFERENCES

1. F.Franks, Water: A Comprehensive Treatise; Water in Crystalline Hydrates; Aqueous Solutions of Simple Nonelectrolytes; Plenum Press: New York, **2** (1973). ISBN: 978-0306371820
2. P.Ball, Water as an Active Constituent in Cell Biology. Chem. Rev. **108**, 74–108 (2008). DOI: 10.1021/cr068037a
3. M.Chaplin, Do We Underestimate the Importance of Water in Cell Biology? Nat. Rev. Mol. Cell Biol. **7**, 861–866 (2006). DOI: 10.1038/nrm2021
4. C. A. Lipinski, F. Lombardo, B. W. Dominy, P. J. Feeney, Experimental and Computational Approaches to Estimate Solubility and Permeability in Drug Discovery and Development Settings. Adv. Drug Deliv. Rev. **46**, 3–26 (2001). DOI: 10.1016/S0169-409X(00)00129-0

SPUTTERING OF WATER MOLECULES FROM ICE FILMS

K.U.Otaboeva, A.Sabirova, N. Abdiyeva,N. Masharipova

Urgench State University, Urgench. 221000, Uzbekistan. uchkunk@mail.ru

The interaction between ions and molecular targets is an essential process in several areas of physics, biology, and chemistry. Understanding ion-induced molecular fragmentation and its dynamics is a challenging problem, both experimentally and theoretically. The dissociation pathways and the energy and angular distributions of fragments ejected from the target molecule depend strongly on the energy and momentum transferred by the projectile to each target electron and nucleus, and on whether the collision involves excitation or electron removal via direct ionization, electron capture, or transfer ionization. Collision-induced fragmentation of water molecules by ion impact has received considerable attention in the last decades mainly because it is not only of fundamental interest but also important for many applications. Water is the main constituent of biological tissues and it is prominently present in the atmosphere of comets, moons, and planets.

In this report we firstly show that at the bombardment by low energy ions we can observe the sputtering of water molecules and clusters from the ice films. By the simulation method we calculate the time dependent behavior of a molecular system.

Below we give our choices for the interaction potentials for the H_2O-H_2O, Au-Au, and Au-H_2O components of the system. At the end of this section, the details of the MD simulations are described. H_2O-H_2O interaction potential employed to describe the H_2O-H_2O interaction is the simple-point-charge (SPC) water potential developed by Berendsen et al.[1] This potential has been used extensively to study the properties of H_2O as a solid[2-3]. It has been shown that the SPC potential is able to reproduce many of the properties of bulk H_2O [4]. In the SPC model, the molecular interaction potential U_{inter} consists of an electrostatic component $U_{electrostatic}$ describing the charge-charge interaction between pairs of atoms in the two molecules. In order to describe the dispersion and repulsive interactions between the two oxygen sites, a Lennard- Jones function U_{LJ} is included.

The Au-Au interactions are represented by the MD/Monte Carlo corrected effective medium (MD/MC-CEM) potential function for fcc metals [5]. For metal- water systems a potential developed by Spohr [6] has been used. The Spohr potential consists of a Morse function combined with a corrugation term defining various surface sites for the oxygen-surface interaction and a repulsive term for the hydrogen –surface interaction. For our calculation we used a modified Spohr function. Because we need the metal atoms to move and interact the water molecules, we have modified the Spohr function so that the interactions are pairwise additive between the O and H atoms in the H_2O molecule and the metal atoms. The MD approach

involves integrating the classical equations of motion for all the particles in the solid [7]. The results of the simulation provide the positions and velocities of all the atoms in the system as a function of time. From the final velocities, measurable quantities such as energy, angular distributions and mass spectrum can be calculated. From the time development of the atomic positions, a microscopic picture of some specific motions can be visualized.In addition, the microscopic mechanisms can be identified with specific quantities that can be measured. The MD approach needs as input a force field or interaction potential among the atoms. A great advance in the past decade has been the development of many-body potentials for describing extended systems[8].

In this report we present the computational results of sputtering of water molecules from Au(111) surface. In our calculations, we choose that the water molecules are not dissociated. In the Fig.1 presents the mass spectra of water molecules and Au atoms sputtered from water overlayers on Au(111) at the bombardment by Ar^+ with E_0=0.3 keV and 0.7 keV at the normal incidence. For each incidence particle, 1000 trajectories were calculated.

The computational results show that in the mass spectra a few intensive peaks are observed. In case E_0=0.3 keV at the mass spectrum a very intensive peak corresponding to H_2O has been observed (Fig.1a). In addition to this peak the peaks corresponding to the water cluster and Au atoms are observed. This cluster consist no dissociated during emission 2 water molecules. In this case of E_0= 0.7 keV(Fig.1b) the mass spectra consists some another peaks performed by 2-8 molecules of water. It is seen that the intensity of Au peak the higher than one in the Fig.1a.

Actually, we would like to understand the fundamental events that give rise to the spectrum shown in Fig.1, especially if such an understanding would help interpret spectra. Actually, we would like to understand the fundamental events that give rise to the spectrum shown in Figure 1, especially if such an understanding would help interpret spectra. A fundamental understanding allows one to think about possible new applications as well as limitations of the technique. One often hears the phrase that the primary ion establishes a collision cascade in the solid.

a b

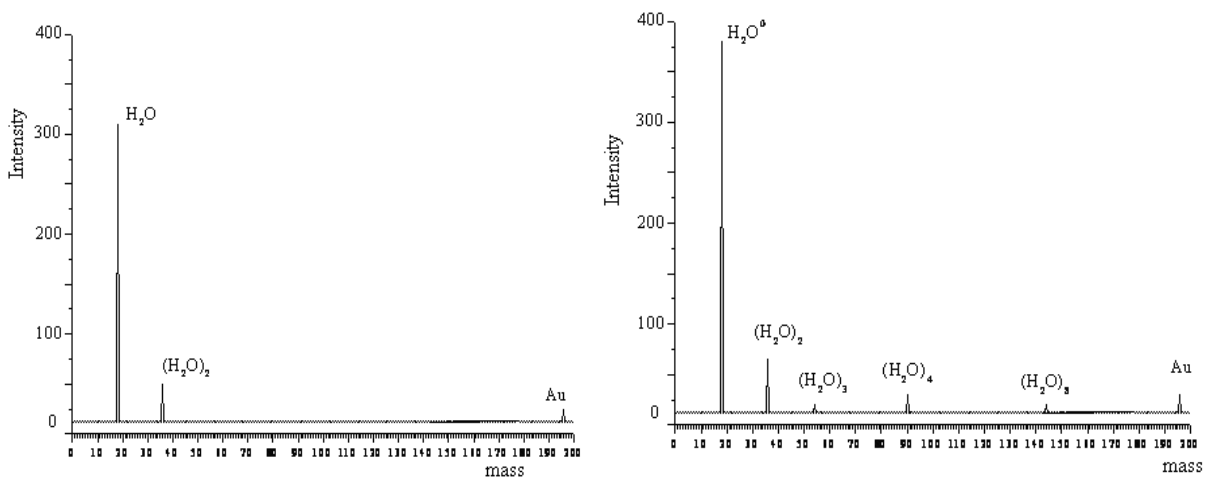


Fig.1. Mass spectra both water molecules and water clusters sputtered from water overlayers on the Au(111) ot the bombardment by Ar^+ ions by E_0=0,3 keV(a) and E_0=0,7keV(b).

The process of water molecules sputtering from the metal surface have been investigated by computer simulation. For the 2 layers of water molecules on the Au(111) the mass spectra secondary particles have been obtained. The mass spectra consists peaks corresponding to the both water molecules and clusters. In the mass spectra the peaks of gold atoms also are also observed.

Classical molecular dynamics (MD) computer simulations have generated the visualization. From this animation and many more animations with different initial position of Ar^+ hits, a visual picture of the process begins to emerge. In this case, the primary Ar^+ particle strikes the ice film, first creating ice molecules.

These species then damage the film while the Ar^+ particle hits the metal substrate. Further action within the metal substrate creates an uplifting motion that induces the lift-off of entire ice molecules. The visual snapshots also allowed at the bombardment to observe "small iceberg"s which can not be registered by mass detectors. These results are of interest for mass spectrometry of molecules and study of surfaces coverage's.

References

1. Berendsen H. J, Postma J. P. M., Gunsteren W. F., Hermans J. in Intermolecular Forces; Pullman, B., Ed.; Reidel: Dordrecht, The Netherlands, 1981.
2. Impey R.W., Klein M.L., Tse T.S..// J. Chem. Phys. 1984, *81*,8406.
3. Lombardero M., Martin C., Jorge S., Lado F., Lomba E..// J. Chem.Phys. 1999, *110*, 1148.
4. Wallqvist A., Teleman O.// Mol. Phys. 1991, *74*, 515.
5. Stave M.S., Sanders D.S., Raeker T.J., DePristo A.E. //J. Chem.Phys. 2000, *117*, 1178.
6. Spohr E.// Mol J. Liq. 1995, *64*, 91.
7. Garrison B.J.,.Srivastava D, Kodali P.B.S. Modeling of Surface Processes as Exemplified by Hydrocarbon Reactions.// Chem. Rev. 1996, 96, 1327-1341.
8. Garrison B.J., Srivastava D. Potential Energy Surfaces for Chemical Reactions at Solid Surfaces// Annu. Rev. Phys. Chem. 1995, 46, 373-394.

MASS SPECTRUM OF SPUTTERED SPECIES UNDER Ar^+ ION BOMBARDMENT

K.U.Otaboeva, A.Sabirova, N. Abdiyeva,N. Masharipova

Urgench State University, Urgench. 221000, Uzbekistan. uchkunk@mail.ru

The interaction of energetic ions with molecular targets is a fundamental process that plays an important role in many areas of modern physics, chemistry, materials science, and biophysics. When an energetic ion approaches and collides with a molecule, a significant amount of energy and momentum can be transferred to the target. As a consequence, the molecular system may undergo excitation, ionization, bond breaking, fragmentation, or even complete dissociation. A detailed understanding of these processes is essential for establishing the relationship between the initial ion–molecule collision and the final distribution of emitted atoms, molecules, and molecular fragments.

Ion-induced molecular fragmentation is a complex phenomenon because several physical mechanisms may occur simultaneously during a single collision event. The fragmentation pathways depend strongly on the kinetic energy, mass, and charge state of the incident ion, as well as on the structure and electronic properties of the target molecule. During the collision, energy can be transferred to both the nuclei and electrons of the target. Depending on the collision conditions, this energy transfer may result in electronic excitation, direct ionization, electron capture, or transfer ionization. These processes determine the amount of energy available for molecular bond breaking and, consequently, strongly influence the number, type, kinetic energy, and emission direction of the resulting fragments.

The angular and energy distributions of the emitted fragments provide important information about the microscopic dynamics of ion–molecule collisions. In particular, the kinetic-energy distribution can be used to characterize the amount of energy transferred from the projectile to the target, whereas the angular

distribution provides information about the directionality of momentum transfer and the subsequent fragmentation dynamics. Therefore, experimental measurements of fragment mass spectra, kinetic energies, and emission angles, together with theoretical and computational simulations, provide a powerful approach for investigating the mechanisms of ion-induced molecular dissociation.

Among molecular targets, water has attracted particular attention because of its fundamental and practical importance. Water is one of the simplest polyatomic molecules, but its interaction with energetic particles involves a variety of physical processes, including molecular excitation, ionization, dissociation, hydrogen-bond rearrangement, and cluster formation. The study of water fragmentation under ion bombardment is therefore important not only for understanding basic collision physics but also for describing radiation-induced processes in complex molecular systems.

Water is also the principal component of biological tissues and plays a central role in radiation interactions with living matter. Energetic ions can produce secondary electrons and molecular fragments in water, which may subsequently participate in chemical reactions and contribute to radiation-induced damage. Consequently, investigations of ion-induced water fragmentation are relevant to radiation chemistry, radiobiology, and ion-beam applications. In addition, water is abundant in extraterrestrial environments and is known to occur in the atmospheres, surfaces, or subsurface regions of comets, moons, and planets. Understanding how water molecules respond to energetic ion impacts is therefore also relevant to space and planetary physics.

For these reasons, the investigation of ion-induced fragmentation of water and water-containing molecular systems remains an important research problem. Combining molecular dynamics simulations with mass-spectrometric analysis makes it possible to establish a microscopic description of the collision process and to identify the molecular and ionic fragments produced by energetic ion bombardment. In this report we firstly show that at the bombardment by low energy ions we can observe the sputtering of water molecules and clusters from the ice films. By the simulation method we calculate the time dependent behavior of a molecular system. Mass Spectrum of Sputtered Species under Ar^+ Ion Bombardment

The mass spectrum of sputtered species was investigated by molecular dynamics simulations of Ar^+ ion bombardment of a water film deposited on an Au(111) surface. The water film consisted of four molecular layers, while a Na atom was introduced either at the surface of the water film or between the second and third water layers. Before ion bombardment, the system was equilibrated for 20 ps to obtain a stable molecular configuration.

The molecular dynamics simulations of Ar^+ ion bombardment of the H_2O/Au(111) system demonstrate that the sputtering process produces a wide variety of molecular, atomic, and ionic species. The calculated mass spectrum provides detailed information about the composition of the particles ejected from the water film and the underlying gold substrate. In particular, four principal groups of sputtered species can be distinguished in the calculated mass spectrum: individual H_2O molecules, neutral water clusters $(H_2O)_n$, Au atoms and Au-containing species, and ionic $Na^+(H_2O)_n$ clusters.

The most intensive peak in the calculated mass spectrum corresponds to individual H_2O molecules. This result indicates that the sputtering of intact water molecules represents one of the dominant processes during Ar^+ ion bombardment. The incident ion transfers its kinetic energy to the water molecules and generates a collision cascade within the film. As a consequence, individual molecules can acquire sufficient kinetic energy to overcome their binding with neighboring molecules and leave the surface. At the same time, a considerable fraction of the hydrogen-bond network remains locally preserved, resulting in the formation and ejection of larger water clusters.

Several peaks corresponding to neutral water clusters of the form $(H_2O)_n$ are observed in the mass spectrum. These clusters are formed when groups of neighboring water molecules are simultaneously displaced by the collision cascade. The intensity and distribution of the cluster peaks depend on the local

structure of the water film, the energy transferred by the incident Ar^+ ion, and the position of the Na^+ ion. The observation of water clusters demonstrates that sputtering does not always occur through the independent ejection of single molecules; instead, correlated molecular motion plays an important role in the desorption process.

In addition to molecular water species, peaks associated with Au atoms and Au-containing sputtered species are also observed. Their appearance indicates that part of the energy deposited by the Ar^+ ion is transferred through the water film to the Au(111) substrate. When the energy transferred to surface Au atoms becomes sufficiently high, these atoms can be displaced from their equilibrium positions and sputtered from the substrate. Therefore, the mass spectrum contains information not only about the water film but also about the interaction between the deposited film and the metallic substrate.

An important feature of the calculated mass spectrum is the appearance of ionic clusters containing sodium, which can be represented as $Na^+(H_2O)_n$. The Na^+ ion interacts strongly with surrounding water molecules and modifies their local orientation. During Ar^+ bombardment, the Na^+ ion can be ejected together with the water molecules coordinated around it, leading to the formation of relatively large ionic water clusters. The position of Na^+ within the water film strongly affects the composition and size distribution of these clusters. When Na^+ is located between the second and third water layers, it is surrounded by water molecules from both sides, which favors the formation of larger hydrated ionic clusters.

Thus, the relative intensities of the different peaks in the mass spectrum provide important information about the microscopic mechanisms of sputtering, molecular clustering, substrate ejection, and ion–water interactions. The calculated results show that the position of Na^+ plays an important role in determining the sputtered species and their cluster-size distribution. These findings demonstrate that molecular dynamics simulations can provide a microscopic interpretation of experimental SIMS spectra and can be used to investigate the sputtering behavior of water films, metal surfaces, and ion-containing molecular systems under energetic ion bombardment.

References

1. B.J.Garrison, A.D.Delcorte, K.D.Krantzman.Acc.Chem.Res.33(2000) 69.
2. S.J.Stuart, A.B.Tutein, J.A.Harrison. J.Chem.Phys.112(2000) 6472.
3. B.J.Garrison, D.Srivastava, P.B.S.Kodali. Modelling of Surface Processes as Exemplified by Hydrocarbon Reactions. Chem. Rev. 1996, 96, 1327-1341.
4. B.J.Garrison,D.Srivastava. Potential Energy Surfaces for Chemical Reactions at Solid Surfaces. Annu. Rev. Phys. Chem. 1995, 46, 373-394.

Магнитоэлектрический датчик переменного тока на основе системы Li–Co–Fe–O

Сатволдиев Иномжон Абдусалимович

Ферганский государственный технический университет, Фергана, Узбекистан

E-mail: gift.85@mail.ru

Предложена концепция бесконтактного датчика переменного тока на основе кобальтзамещённого литиевого феррита и титаната бария. В симметричной структуре феррит/$BaTiO_3$/феррит магнитострикционная деформация преобразуется в электрическое напряжение. Получены выражения для чувствительности и оптимального соотношения толщин слоёв. В условном расчётном сценарии чувствительность составляет 1,46 мВ/А при общей толщине 1 мм и расстоянии до проводника 10 мм. Сформулированы требования к магнитной фазе и этапы

проверки перед изготовлением опытной партии. Работа является теоретическим обоснованием конструкции; экспериментальные характеристики материала не заявляются.

Бесконтактное измерение тока необходимо для контроля электроприводов и силовых цепей. Один из подходов основан на механической связи магнитострикционного и пьезоэлектрического материалов: магнитное поле вызывает деформацию первого слоя, которая создаёт напряжение на электродах второго. Теория такого преобразования разработана для слоистых композитов [2], а его реализация исследована, в частности, в структурах $BaTiO_3/CoFe_2O_4$ [3].

Цель работы — определить условия применения системы Li–Co–Fe–O в чувствительном элементе датчика переменного тока. Рассматривается опубликованный ряд кобальтзамещённых литиевых ферритов [1]:

$$\mathrm{Li}_{0.5-x/2}\mathrm{Co}_x\mathrm{Fe}_{2.5-x/2}\mathrm{O}_4, \qquad 0 \le x \le 0.4. \qquad (1)$$

Такой номинальный состав электронейтрален при состояниях Li^+, Co^{2+} и Fe^{3+}. Обозначение LiCoFeO здесь означает химическую систему, а не точную формулу отдельной фазы. Реальные валентности, фазовый состав и распределение катионов требуют проверки. Существование выбранного ряда не доказывает наличие собственного магнитоэлектрического эффекта в однофазном феррите.

Чувствительный элемент состоит из поляризованной пластины $BaTiO_3$ с электродами и двух одинаковых наружных ферритовых пластин. Слои соединяются тонким электроизолирующим клеем. Симметричная конструкция уменьшает изгиб при одинаковом возбуждении наружных слоёв. Поляризация пьезокерамики направлена поперёк толщины, магнитное поле — вдоль длинной стороны элемента.

Постоянный магнит задаёт рабочее подмагничивание, а поле измеряемого переменного тока создаёт малую дополнительную деформацию. Выбор содержания Co должен опираться на производную магнитострикции по полю, а не только на намагниченность насыщения. Научная задача состоит в проверке возможности достижения требуемой чувствительности для выбранного ряда составов; общий принцип слоистого преобразователя известен [2, 3].

Используем одномерную модель малых приращений при постоянной температуре и частоте значительно ниже механического резонанса. Продольные торцы свободны; изгиб и краевые эффекты не учитываются. Обозначим суммарную толщину ферритовых слоёв через t_m, толщину пьезокерамики — через t_p, общую толщину — через $t = t_m + t_p$, долю магнитной фазы — через $f = t_m/t$. Линейные уравнения имеют вид [2]:

$$S_m = s_m T_m + q h_{\mathrm{int}}, \quad S_p = s_p^E T_p + d_{31} E_3, \quad D_3 = d_{31} T_p + \varepsilon E_3. \qquad (2)$$

Здесь S — деформация, T — механическое напряжение, s — упругая податливость, d_{31} — пьезоэлектрический коэффициент, ε — абсолютная диэлектрическая проницаемость пьезокерамики при постоянном напряжении. Индексы m и p обозначают магнитную и пьезоэлектрическую фазы. Коэффициент $q = \partial\lambda/\partial H_{\mathrm{int}}$ — производная магнитострикции λ по внутреннему полю в рабочей точке; его размерность — м/А.

Для разомкнутых электродов $D_3 = 0$. Из совместности деформаций $S_m = S_p$ и баланса сил $fT_m + (1-f)T_p = 0$ получаем:

$$\alpha_{E,\mathrm{int}} = \frac{E_3}{h_{\mathrm{int}}} = -\frac{d_{31} q f}{\varepsilon\left[f s_p^D + (1-f) s_m\right]}, \quad s_p^D = s_p^E - \frac{d_{31}^2}{\varepsilon} > 0. \qquad (3)$$

Неполную передачу деформации приближённо учитываем множителем η от 0 до 1, а размагничивание — отношением $g_H = h_{\text{int}}/h_{\text{ext}}$. Эти величины требуют независимой оценки. Если q измерено по внешнему полю на элементе той же геометрии, повторно вводить g_H нельзя.

Для длинного прямого проводника с удалённой обратной жилой поле на расстоянии r равно $h_{\text{ext}} = I_{\text{ac}}/(2\pi r)$. Тогда чувствительность разомкнутого элемента:

$$K_I = \frac{|V|}{I_{\text{ac}}} = \frac{t\eta g_H |d_{31} q|}{2\pi r \varepsilon} \frac{f(1-f)}{f s_p^D + (1-f) s_m}. \qquad (4)$$

При фиксированных t, q, η и g_H дифференцирование (4) по f даёт:

$$f_{\text{opt}} = \frac{\sqrt{s_m}}{\sqrt{s_m} + \sqrt{s_p^D}}, \qquad \left(\frac{t_m}{t_p}\right)_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{s_m}{s_p^D}}. \qquad (5)$$

Это оптимум напряжения при фиксированной общей толщине. Зависимость передачи деформации и размагничивания от геометрии может его смещать. Для практически разомкнутой цепи входное сопротивление должно быть значительно больше ёмкостного сопротивления элемента, а входная ёмкость — существенно меньше его ёмкости. Утечки ограничивают низкочастотный отклик; измерение постоянного тока данной схемой не рассматривается.

Для иллюстрации примем t = 1 мм, f = 0,50, r = 10 мм, η = 0,70, $g_H = 0.50$, $s_m = 6 \times 10^{-12}$ Па⁻¹, $s_p^E = 9 \times 10^{-12}$ Па⁻¹, $d_{31} = -80 \times 10^{-12}$ Кл/Н, $\varepsilon = 1200\varepsilon_0$ и $|q| = 10^{-9}$ м/А. Это условный набор входных параметров, а не измеренные свойства определённого состава.

По формулам (3)–(5) получаем $s_p^D \approx 8.398 \times 10^{-12}$ Па⁻¹, $f_{\text{opt}} \approx 0.458$ и $K_I \approx 1.46$ мВ/А. Следовательно, при амплитуде тока 1 А прогнозируется напряжение около 1,46 мВ. Для чувствительности 1 мВ/А при остальных неизменных параметрах требуется $|q| \geq 6.87 \times 10^{-10}$ м/А. Этот порог задаёт критерий отбора феррита. Предел обнаружения тока дополнительно зависит от шумов и потерь, поэтому здесь не определяется.

Практическая проверка включает получение составов с x = 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4, анализ фаз и химического состава, измерение магнитострикции и её динамической производной. Затем отдельно изготовленные ферритовые пластины соединяют с поляризованным $BaTiO_3$, контролируя толщину клея и сохранение поляризации. Такой маршрут позволяет независимо подбирать режимы получения обеих фаз.

На собранных элементах измеряют амплитуду и фазу сигнала в калиброванном поле, его зависимость от подмагничивания, частоты и температуры. Контрольные измерения проводят с отдельной пьезокерамикой и после изменения направления поляризации. Необходимо исключить паразитную индуктивную наводку. Изменение ёмкости в магнитном поле само по себе недостаточно для доказательства магнитоэлектрической связи [4]. К опытной партии переходят после проверки воспроизводимости, гистерезиса, температурного дрейфа и работы реальной входной цепи.

Обоснована проверяемая концепция магнитоэлектрического датчика переменного тока на основе Li–Co–Fe–O/$BaTiO_3$. Получены зависимости чувствительности и оптимального соотношения толщин. Расчётный пример определяет требования к будущему образцу. Промышленное применение возможно рассматривать после экспериментального подтверждения параметров; превосходство над существующими датчиками настоящей моделью не установлено.

Литература

1. Verma R., Thakur P., Sun A.-C. A., Thakur A. Investigation of structural, microstructural and electrical characteristics of hydrothermally synthesized $Li_{0.5-0.5x}Co_xFe_{2.5-0.5x}O_4$, (0.0 ≤ x ≤ 0.4) ferrite nanoparticles. Physica B. 2023;661:414926. https://doi.org/10.1016/j.physb.2023.414926

2. Bichurin M. I., Petrov V. M., Srinivasan G. Theory of low-frequency magnetoelectric effects in ferromagnetic-ferroelectric layered composites. J. Appl. Phys. 2002;92:7681–7683. https://doi.org/10.1063/1.1522834

3. Yang H., Zhang G., Lin Y. Enhanced magnetoelectric properties of the laminated $BaTiO_3/CoFe_2O_4$ composites. J. Alloys Compd. 2015;644:390–397. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.05.020

4. Catalan G. Magnetocapacitance without magnetoelectric coupling. Appl. Phys. Lett. 2006;88:102902. https://doi.org/10.1063/1.2177543.

PARAMETERS OF THE EXPONENTIAL TRAP DISTRIBUTION IN THE $(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ EPITAXIAL LAYER DETERMINED FROM SPACE-CHARGE-LIMITED CURRENTS

U.Kh. Rakhmonov[1], A.Sh. Razzokov[2]

[1]*S.A. Azimov Physical-Technical Institute, Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan*

[2]*Department of Physics, Urgench State University, Urgench, Uzbekistan*

e-mail: utkurraxmonov@gmail.com

Abstract. The parameters of the trap distribution in the epitaxial layer of the n-GaP–$n^+(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ heterostructure have been determined from the temperature dependence of the space-charge-limited current (SCLC) within the Lampert model of an exponential trap distribution. The characteristic temperature of the distribution $T_c = (m - 1)T$, calculated from the SCLC exponent m in the range 1.0–2.0 V, is practically constant (2230 ± 110 K) at 30–140 °C, which confirms the exponential character of the distribution; the characteristic energy is $kT_c \approx 0.19$ eV. The I–V lines at 50–140 °C intersect in a common region $U_c \approx 2.4$–2.7 V, from which the lower estimate of the total trap concentration $N_t \approx 6\times10^{12}$ cm^{-3} is obtained.

Keywords: space-charge-limited current; exponential trap distribution; characteristic temperature; trap concentration; $(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$; liquid-phase epitaxy.

Introduction

In the forward branch of the dark I–V characteristic of the n-GaP–$n^+(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ heterostructure at biases above ~1 V, a power-law dependence $I \propto U^m$ with anomalously high exponents m = 6.3–8.9 was established earlier, which was attributed to space-charge-limited currents in the presence of traps [5]. Such values of m (much larger than 2 for the trap-free Mott–Gurney law) are characteristic of a trap distribution that is continuous in energy [4]. However, the parameters of this distribution — its characteristic energy and the total trap concentration — have not been determined. The aim of this work is to obtain these parameters from the temperature dependence of the SCLC.

Materials and experimental methods

The n-GaP–$n^+(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ heterostructure was grown by liquid-phase epitaxy from a confined volume of a tin-based solution-melt (crystallization from 980 to 830 °C) on n-type GaP(111) substrates [1, 2]; the epitaxial layer is ~22 μm thick and has n^+-type conductivity (~2.2×10^{19} cm^{-3}). Silver contacts were deposited in a VUP-4 vacuum unit (10^{-4} Torr, substrate at 300 °C); the structure area is 15 mm^2. Dark I–V characteristics were measured at 30, 50, 100 and 140 °C from –3.0 to +3.0 V with a step of 0.1 V in a vacuum cryostat (10^{-2}–10^{-3} Torr) with a type-K thermocouple (±2 °C) [3]; the current resolution was 10^{-6} mA.

For traps exponentially distributed in energy below the conduction band edge, $N(E) = (N_t/kT_c)\exp[-(E_c - E)/kT_c]$, the SCLC is described by [4, 6]

$$I \propto U^{i+1}/d^{2i+1}, \quad l = T_c/T, \tag{1}$$

where T_c is the characteristic temperature of the distribution and d is the thickness of the layer. Hence the exponent $m = l + 1$ must satisfy

$$T_c = (m - 1)T = \text{const}. \tag{2}$$

In addition, the ln I – ln U lines measured at different temperatures must intersect at a common point U_c, which is related to the total trap concentration [6]:

$$N_t = 2\varepsilon\varepsilon_0 U_c/(qd^2). \tag{3}$$

The exponent m was determined by linear regression of ln I on ln U in the range 1.0–2.0 V (11 points, R^2 = 0.960–0.997); the values of m coincide with those reported in [5].

Results and discussion

The SCLC exponents in the range 1.0–2.0 V are m = 8.93, 7.75, 6.65 and 6.34 at 30, 50, 100 and 140 °C. The corresponding characteristic temperatures calculated by (2) are T_c = 2405, 2181, 2108 and 2206 K (Fig. 1a). Although m decreases by almost 30% over the investigated interval, T_c remains constant within ±5% (mean value 2230 ± 110 K). This is direct evidence that the decrease of m with heating is caused by the $1/T$ factor in (1), i.e. that the traps in the epitaxial layer have an exponential energy distribution with a characteristic energy kT_c = 0.18–0.21 eV (mean 0.19 eV). This value is close to the activation energies of the forward (0.22–0.26 eV) and reverse (0.23–0.28 eV) currents found earlier for the same structure [7, 8], which suggests that the same group of defect states in the $(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ layer is involved in all these processes.

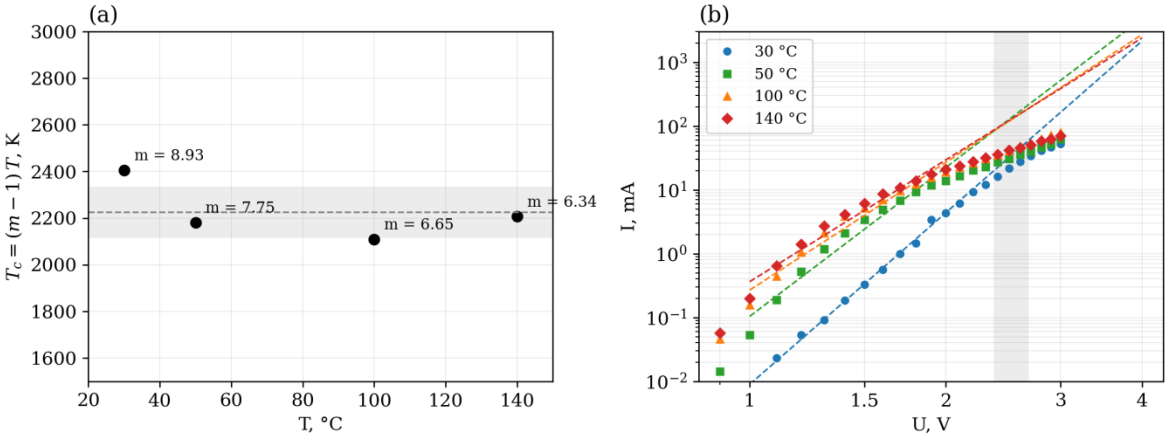


Fig. 1. (a) Characteristic temperature of the exponential trap distribution $T_c = (m - 1)T$ at 30–140 °C (dashed line – mean value, band – ±1 standard deviation); (b) forward I–V characteristics in double-logarithmic coordinates with power-law fits in the range 1.0–2.0 V extrapolated to higher voltages (the shaded band marks the intersection region of the lines at 50–140 °C).

The extrapolated SCLC lines at 50, 100 and 140 °C intersect pairwise at U_c = 2.37, 2.43 and 2.68 V (Fig. 1b), i.e. in a narrow region, as required by the model. Taking ε = 11.1 (GaP) and the full layer thickness $d \approx 22$ μm, Eq. (3) gives $N_t \approx (6.0–6.8)\times10^{12}$ cm^{-3}. Since the SCLC may be controlled by only a part of the layer (for example, the compensated transition region near the heterointerface), the actual d may be smaller, and the obtained value should be regarded as a lower estimate of the trap concentration. The line at 30 °C intersects the others at substantially higher voltages (4.2–7.9 V), which agrees with the anomalously sharp change of the transport parameters in the interval 30–50 °C noted in [9].

In the range 2.0–3.0 V the formal calculation of T_c from the exponents m = 6.27–3.02 gives values that decrease from ~1600 to ~830 K, i.e. condition (2) is not fulfilled. In this range the experimental points lie below the extrapolated SCLC lines (Fig. 1b), which is due to the voltage drop on the series resistance of the

structure and to the approach to the trap-filled regime. Therefore, the parameters of the trap distribution can be correctly determined only from the 1.0–2.0 V section.

Conclusion

The constancy of the characteristic temperature $T_c = (m - 1)T \approx 2230$ K in the range 30–140 °C proves that the space-charge-limited current in the $(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ epitaxial layer is controlled by traps with an exponential energy distribution with a characteristic energy of ≈0.19 eV, and the lower estimate of their total concentration is $\sim 6\times10^{12}$ cm^{-3}. The proposed procedure (the T_c = const test and the common intersection point of the I–V lines) can be used to compare the defect structure of epitaxial layers grown under different technological conditions.

References

1. Saidov A.S., Razzokov A.Sh., Usmonov Sh.N., Saparov D.V., Razzakov R.A., Rakhmonov U.Kh. Liquid phase epitaxy, structural, and electrical properties of $(Si_2)_{1-x}(GaP)_x$ solid solutions on Si(111) substrates // Journal of Optoelectronics and Advanced Materials. 2026. Vol. 28, No. 7–8. P. 365–375.

2. Saidov A.S., Usmonov Sh.N., Saparov D.V., Razzokov A.Sh., Rakhmonov U.Kh., Ishniyazov T.T., Abdullayeva S.O. Liquid-phase epitaxy of substitutional solid solutions based on group IV, III–V, and II–VI semiconductors // Manuscript, 2026.

3. Sapaev I.B., Sadullaev S.O., Juraev Kh.N., Rakhmonov U., et al. Temperature-dependent dark I–V transport and barrier inhomogeneity in VTE-grown CdTe/Si heterojunction // Results in Physics. 2026. Vol. 83. Art. 108624.

4. Lampert M.A., Mark P. Current Injection in Solids. New York: Academic Press, 1970. 351 p.

5. Rakhmonov U.Kh., Razzokov A.Sh. Space-charge-limited currents in the n-GaP–$n^+(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ heterostructure at elevated forward biases // Proc. Conf. on Condensed Matter Physics. Nukus: Karakalpak State University, 2026.

6. Mark P., Helfrich W. Space-charge-limited currents in organic crystals // Journal of Applied Physics. 1962. Vol. 33, No. 1. P. 205–215.

7. Rakhmonov U.Kh., Razzokov A.Sh. Diode charge-transport mechanism in the n-GaP–$n^+(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ heterostructure from temperature-dependent I–V characteristics // Proc. Conf. "State and Prospects of Semiconductor Physics, Engineering and Technology". Khujand, 2026.

8. Rakhmonov U.Kh., Razzokov A.Sh. Field dependence of the reverse leakage current in the n-GaP–$n^+(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ heterostructure: comparison of the Poole–Frenkel and exponential-field models // Proc. Conf. "State and Prospects of Semiconductor Physics, Engineering and Technology". Khujand, 2026.

9. Rakhmonov U.Kh., Razzokov A.Sh., Saparov D.V. Analytical parametrization of the temperature dependence of the ideality factor and the SCLC exponent in the n-GaP–$n^+(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ heterostructure // Proc. Conf. dedicated to the 90th anniversary of Academician P.K. Habibullayev. Urgench, 2026.

КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА ИНТЕРСТИЦИАЛЬНОЙ МОДЕЛИ $Si_{64}Mn$

О. Э. Саттаров, Б.А.Абдурахманов, Ш. Хайтбаев, Б.Б.Носиров

Ташкентский государственный технический университет,

Ташкент, Узбекистан

e-mail: olmossattarov1974@gmail.com

Кремний является одним из наиболее широко используемых полупроводниковых материалов, а изменение его электронных и магнитных свойств посредством введения примесных атомов представляет значительный научный интерес. Особое внимание уделяется переходным металлам, электронная конфигурация которых содержит незаполненные d-оболочки. Введение таких атомов в кристаллическую решётку кремния может приводить к появлению локализованных электронных состояний, спиновой поляризации и изменению характера электронных состояний вблизи уровня Ферми. Атом марганца может занимать различные положения в кристаллической решётке кремния, в частности замещать атом Si или располагаться в междоузельном положении [1]. В настоящей работе отдельно рассмотрена интерстициальная модель $Si_{64}Mn$, содержащая 64 атома кремния и один атом Mn, расположенный в междоузлии. Такой подход позволяет определить локальную геометрию Mn–Si окружения и установить влияние интерстициального Mn на электронную структуру кремния.

Расчёты выполнены в рамках теории функционала плотности с использованием программного пакета Quantum ESPRESSO [2,3]. Для описания взаимодействия валентных электронов с ионным остовом использовались псевдопотенциалы, а электронная структура рассчитывалась методом плоских волн.

Модель $Si_{64}Mn$ была построена на основе сверхъячейки кремния, содержащей 64 атома Si. Один атом Mn был размещён в междоузельной позиции. При расчёте учитывалась спиновая поляризация электронной системы. Энергия отсечения для волновых функций составляла $\mathbf{E_{cut,wfc}}$ **= 50 Ry,** а энергия отсечения для электронной плотности-$\mathbf{E_{cut,rho}}$ **= 480 Ry.**

После структурной релаксации атом Mn занял положение **(2.715, 2.715, 8.145) Å.**

Расстояние от Mn до каждого из четырёх ближайших атомов Si составило **d(Mn-Si)=2.4069 Å.**

Таким образом, интерстициальный Mn формирует локальное окружение из четырёх ближайших атомов кремния, что позволяет анализировать его влияние на локальную структуру и электронные состояния кристалла.

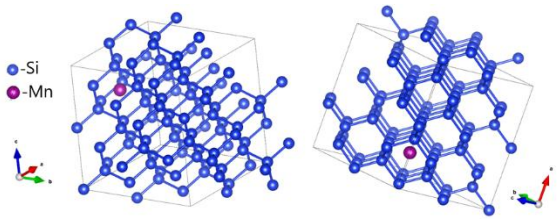


Рис.1. Релаксированная кристаллическая структура интерстициальной модели $Si_{64}Mn$

На рисунке показано положение интерстициального атома Mn в сверхъячейке Si_{64}. Пространственное расположение ближайших атомов Si определяет локальное Mn–Si окружение и является основой для последующего анализа электронной структуры системы.

Для релаксированной структуры $Si_{64}Mn$ была рассчитана спин-поляризованная зонная структура. Энергия электронных состояний представлена относительно уровня Ферми, принятого за нулевой уровень энергии.

Зонная структура позволяет определить изменение электронного спектра кремния после введения интерстициального атома Mn. В системе появляются дополнительные электронные состояния, связанные с примесным атомом, а спиновая поляризация приводит к различию электронных состояний для противоположных спиновых каналов.

Особое значение имеют состояния вблизи уровня Ферми, поскольку именно они в значительной степени определяют электронные и магнитные свойства примесной системы. Наличие Mn-обусловленных состояний в электронной структуре указывает на существенное взаимодействие примесного атома с кристаллическим окружением.

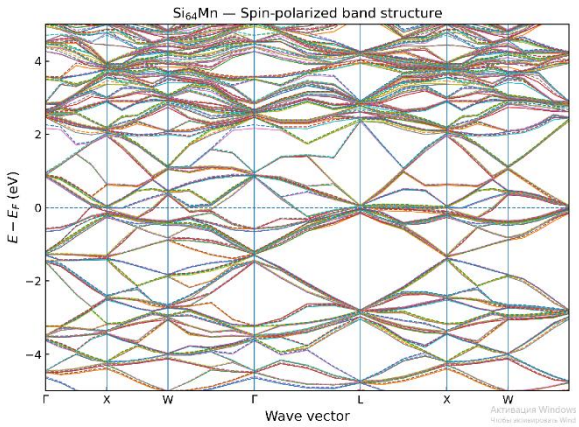


Рис.2. Спин-поляризованная зонная структура $Si_{64}Mn$

Для более детального определения природы этих состояний необходимо сопоставление зонной структуры с данными DOS и PDOS. Для $Si_{64}Mn$ была рассчитана полная плотность электронных состояний (DOS), характеризующая распределение доступных электронных состояний по энергии.

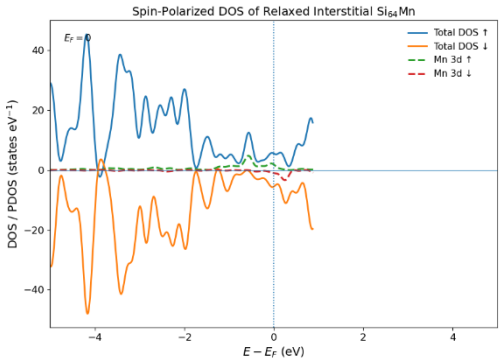


Рисунок 3. Полная плотность электронных состояний $Si_{64}Mn$

Анализ DOS позволяет определить энергетические области, в которых сосредоточены электронные состояния системы, и выявить изменения, возникающие вследствие введения Mn.

По сравнению с исходной электронной структурой чистого кремния интерстициальный Mn вносит дополнительные состояния, связанные с его локальными электронными орбиталями. Особенно важным является энергетический диапазон вблизи уровня Ферми, поскольку распределение состояний в этой области связано с электронными и магнитными характеристиками материала.

Совместный анализ DOS и зонной структуры позволяет установить энергетическое положение состояний, возникающих вследствие присутствия Mn, и определить их связь с дисперсионными электронными зонами. Для определения атомного и орбитального происхождения электронных состояний была выполнена проекция плотности состояний (PDOS). Особое внимание уделено Mn-

3d и Si-3p состояниям, поскольку именно они являются наиболее важными для анализа взаимодействия между интерстициальным атомом Mn и кремниевой матрицей.

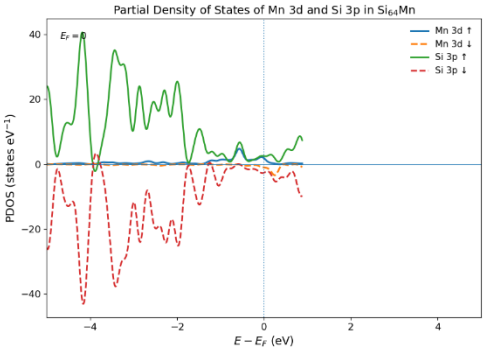


Рисунок 4. Парциальная плотность состояний Mn-3d и Si-3p в $Si_{64}Mn$

PDOS показывает значительный вклад Mn-3d состояний в электронную структуру интерстициальной системы. Эти состояния распределены в определённом энергетическом диапазоне и связаны со спиновыми свойствами атома марганца.

Одновременно с Mn-3d состояниями наблюдается вклад Si-3p состояний. Перекрывание Mn-3d и Si-3p вкладов в одних и тех же энергетических областях может рассматриваться как признак электронного взаимодействия и гибридизации между примесным атомом Mn и ближайшими атомами кремния.

Таким образом, анализ PDOS позволяет связать особенности, наблюдаемые на зонной структуре и в общей DOS, непосредственно с конкретными атомными и орбитальными состояниями.

Спин-поляризованный самосогласованный расчёт для $Si_{64}Mn$ показал наличие ненулевой общей магнитизации системы.

Полученное значение общей магнитизации составляет $\mathbf{M_{tot} = 3.39\ \mu_B/cell}$, тогда как абсолютная магнитизация составляет приблизительно $\mathbf{M_{abs} \approx 4.00\ \mu_B/cell}$.

Наличие ненулевой магнитизации связано со спин-поляризованными электронными состояниями, главным образом обусловленными незаполненной 3d-оболочкой атома Mn.

Различие между общей и абсолютной магнитизацией отражает пространственное распределение спиновой плотности в системе. При этом магнитный вклад не обязательно локализован исключительно на атоме Mn: часть спиновой плотности может распространяться на ближайшие атомы кремния вследствие электронного взаимодействия Mn–Si.

Полученный результат согласуется с данными PDOS, согласно которым Mn-3d состояния вносят существенный вклад в спин-поляризованную электронную структуру $Si_{64}Mn$.

В рамках теории функционала плотности исследована интерстициальная модель $Si_{64}Mn$, содержащая один атом Mn в кремниевой сверхъячейке.

Основные результаты можно сформулировать следующим образом:

1. После структурной релаксации атом Mn располагается в интерстициальной позиции с координатами **(2.715, 2.715, 8.145) Å**.
2. Четыре ближайших атома Si образуют локальное окружение Mn с расстоянием **2.406904 Å**.
3. Спин-поляризованная зонная структура показывает изменение электронного спектра кремния вследствие присутствия интерстициального Mn.
4. Анализ DOS выявляет дополнительные электронные состояния, связанные с введением Mn в кремниевую матрицу.
5. PDOS показывает существенный вклад **Mn-3d** состояний и позволяет анализировать их взаимодействие с **Si-3p** состояниями.

6. Для $Si_{64}Mn$ получена ненулевая общая магнитизация **3.39 μ_B/cell**, что свидетельствует о спин-поляризованном характере электронной структуры системы.

Таким образом, результаты DFT-расчётов показывают, что интерстициальный атом Mn оказывает выраженное влияние на локальную структуру, электронные состояния и магнитизацию кремниевой матрицы. Полученная модель $Si_{64}Mn$ может быть использована как атомно-уровневая основа для интерпретации электронных и магнитных свойств Mn-диффузионного кремния и для последующего сравнения с моделями замещающего Mn и Si с учётом присутствия бора.

Литература

4. Sattarov O.É., Mavlyanov A.S., An A. Effect of manganese atoms on the magnetic properties of silicon. Surface Engineering and Applied ElectrochemistryOpen source preview, Surface Engineering and Applied Electrochemistry Open source preview, 2023, 59(2), p. 216–219. https://doi.org/10.3103/S106837552302014X

5. P.Giannozzi et al. Advanced capabilities for materials modelling with Quantum ESPRESSO // J. Phys.: Condens. Matter. 2017. Vol. 29. 465901. https://doi.org/10.1088/1361-648X/aa8f79

6. Giannozzi et al. QUANTUM ESPRESSO toward the exascale // J. Chem. Phys. 2020. Vol. 152. 154105. https://doi.org/10.1063/5.0005082

PARAMETERS OF THE EXPONENTIAL TRAP DISTRIBUTION IN THE $(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ EPITAXIAL LAYER DETERMINED FROM SPACE-CHARGE-LIMITED CURRENTS

U.Kh. Rakhmonov[1], A.Sh. Razzokov[2]

[1]*S.A. Azimov Physical-Technical Institute, Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan*

[2]*Department of Physics, Urgench State University, Urgench, Uzbekistan*

e-mail: utkurraxmonov@gmail.com

The n-GaP–$n^+(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ heterostructure was grown by liquid-phase epitaxy from a confined volume of a tin-based solution-melt (crystallization from 980 to 830 °C) on n-type GaP(111) substrates [1, 2]; the epitaxial layer is ~22 μm thick and has n^+-type conductivity (~2.2×10^{19} cm^{-3}). Silver contacts were deposited in a VUP-4 vacuum unit (10^{-4} Torr, substrate at 300 °C); the structure area is 15 mm^2. Dark I–V characteristics were measured at 30, 50, 100 and 140 °C from –3.0 to +3.0 V with a step of 0.1 V in a vacuum cryostat (10^{-2}–10^{-3} Torr) with a type-K thermocouple (±2 °C) [3]; the current resolution was 10^{-6} mA.

For traps exponentially distributed in energy below the conduction band edge, $N(E) = (N_t/kT_c)\exp[-(E_c - E)/kT_c]$, the SCLC is described by [4, 6]

$$I \propto U^{i+1}/d^{2i+1}, \quad l = T_c/T, \tag{1}$$

where T_c is the characteristic temperature of the distribution and d is the thickness of the layer. Hence the exponent $m = l + 1$ must satisfy

$$T_c = (m - 1)T = \text{const}. \tag{2}$$

In addition, the ln I – ln U lines measured at different temperatures must intersect at a common point U_c, which is related to the total trap concentration [6]:

$$N_t = 2\varepsilon\varepsilon_0 U_c/(qd^2). \tag{3}$$

The exponent m was determined by linear regression of ln I on ln U in the range 1.0–2.0 V (11 points, R^2 = 0.960–0.997); the values of m coincide with those reported in [5].

The SCLC exponents in the range 1.0–2.0 V are m = 8.93, 7.75, 6.65 and 6.34 at 30, 50, 100 and 140 °C. The corresponding characteristic temperatures calculated by (2) are T_c = 2405, 2181, 2108 and 2206 K (Fig. 1a). Although m decreases by almost 30% over the investigated interval, T_c remains constant within ±5% (mean value 2230 ± 110 K). This is direct evidence that the decrease of m with heating is caused by the $1/T$ factor in (1), i.e. that the traps in the epitaxial layer have an exponential energy distribution with a characteristic energy kT_c = 0.18–0.21 eV (mean 0.19 eV). This value is close to the activation energies of the forward (0.22–0.26 eV) and reverse (0.23–0.28 eV) currents found earlier for the same structure [7, 8], which suggests that the same group of defect states in the $(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ layer is involved in all these processes.

The extrapolated SCLC lines at 50, 100 and 140 °C intersect pairwise at U_c = 2.37, 2.43 and 2.68 V (Fig. 1b), i.e. in a narrow region, as required by the model. Taking ε = 11.1 (GaP) and the full layer thickness $d \approx 22$ μm, Eq. (3) gives $N_t \approx (6.0–6.8)\times10^{12}$ cm^{-3}. Since the SCLC may be controlled by only a part of the layer (for example, the compensated transition region near the heterointerface), the actual d may be smaller, and the obtained value should be regarded as a lower estimate of the trap concentration. The line at 30 °C intersects the others at substantially higher voltages (4.2–7.9 V), which agrees with the anomalously sharp change of the transport parameters in the interval 30–50 °C noted in [9].

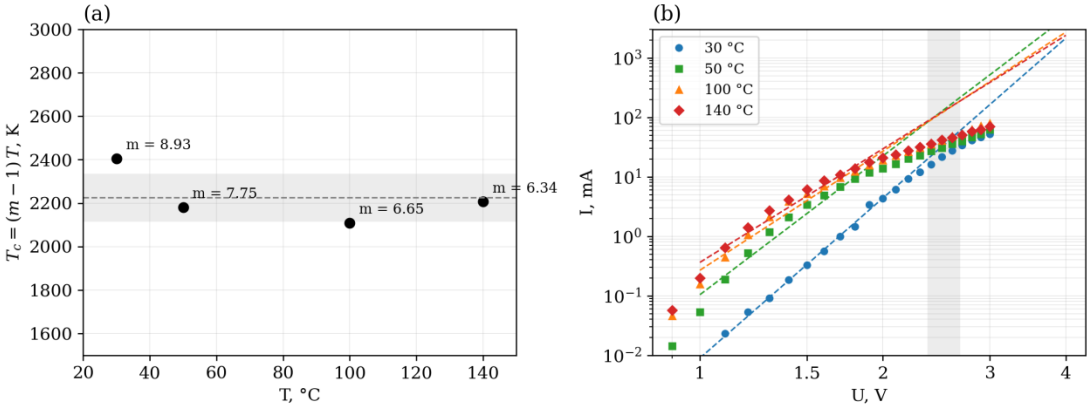


Fig. 1. (a) Characteristic temperature of the exponential trap distribution $T_c = (m-1)T$ at 30–140 °C (dashed line – mean value, band – ±1 standard deviation); (b) forward I–V characteristics in double-logarithmic coordinates with power-law fits in the range 1.0–2.0 V extrapolated to higher voltages (the shaded band marks the intersection region of the lines at 50–140 °C).

In the range 2.0–3.0 V the formal calculation of T_c from the exponents m = 6.27–3.02 gives values that decrease from ~1600 to ~830 K, i.e. condition (2) is not fulfilled. In this range the experimental points lie below the extrapolated SCLC lines (Fig. 1b), which is due to the voltage drop on the series resistance of the structure and to the approach to the trap-filled regime. Therefore, the parameters of the trap distribution can be correctly determined only from the 1.0–2.0 V section.

References

1. Saidov A.S., Razzokov A.Sh., Usmonov Sh.N., Saparov D.V., Razzakov R.A., Rakhmonov U.Kh. Liquid phase epitaxy, structural, and electrical properties of $(Si_2)_{1-x}(GaP)_x$ solid solutions on Si(111) substrates // Journal of Optoelectronics and Advanced Materials. 2026. Vol. 28, No. 7–8. P. 365–375.

2. Saidov A.S., Usmonov Sh.N., Saparov D.V., Razzokov A.Sh., Rakhmonov U.Kh., Ishniyazov T.T., Abdullayeva S.O. Liquid-phase epitaxy of substitutional solid solutions based on group IV, III–V, and II–VI semiconductors // Manuscript, 2026.

3. Sapaev I.B., Sadullaev S.O., Juraev Kh.N., Rakhmonov U., et al. Temperature-dependent dark I–V transport and barrier inhomogeneity in VTE-grown CdTe/Si heterojunction // Results in Physics. 2026. Vol. 83. Art. 108624.

4. Lampert M.A., Mark P. Current Injection in Solids. New York: Academic Press, 1970. 351 p.

5. Rakhmonov U.Kh., Razzokov A.Sh. Space-charge-limited currents in the n-GaP–$n^+(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ heterostructure at elevated forward biases // Proc. Conf. on Condensed Matter Physics. Nukus: Karakalpak State University, 2026.

6. Mark P., Helfrich W. Space-charge-limited currents in organic crystals // Journal of Applied Physics. 1962. Vol. 33, No. 1. P. 205–215.

7. Rakhmonov U.Kh., Razzokov A.Sh. Diode charge-transport mechanism in the n-GaP–$n^+(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ heterostructure from temperature-dependent I–V characteristics // Proc. Conf. “State and Prospects of Semiconductor Physics, Engineering and Technology”. Khujand, 2026.

8. Rakhmonov U.Kh., Razzokov A.Sh. Field dependence of the reverse leakage current in the n-GaP–$n^+(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ heterostructure: comparison of the Poole–Frenkel and exponential-field models // Proc. Conf. “State and Prospects of Semiconductor Physics, Engineering and Technology”. Khujand, 2026.

9. Rakhmonov U.Kh., Razzokov A.Sh., Saparov D.V. Analytical parametrization of the temperature dependence of the ideality factor and the SCLC exponent in the n-GaP–$n^+(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ heterostructure // Proc. Conf. dedicated to the 90th anniversary of Academician P.K. Habibullayev. Urgench, 2026.

Co ION IMPLANTATSIYASINING SnO_2/Si ASOSIDAGI KO‘PQATLAMLI GETEROTUZILMALARDA CHUQURLIK BO‘YICHA TAQSIMOTI VA DEFEKT HOSIL BO‘LISHIGA TA’SIRI

X.J. Mansurov, F.A. Abdulkhayev, N.A. Adixamov, Q.R. Ro’zibekova.

Andijon davlat universiteti, Andijon, O‘zbekiston, 170100

Annotatsiya: Ushbu tezisda Co ion implantatsiyasining SnO_2/Si asosidagi ko‘pqatlamli geterotuzilmalarda chuqurlik bo‘yicha taqsimoti va defekt hosil bo‘lish jarayonlariga ta’siri SRIM/TRIM modellashtirish natijalari asosida tahlil qilindi. Modellashtirish natijalari Co ionlarining material ichida kirib borish chuqurligi, lateral sochilishi, qatlamlararo chegaradagi trayektoriya o‘zgarishlari hamda to‘qnashuv kaskadlari orqali hosil bo‘ladigan nuqsonlar taqsimotini baholash imkonini berdi. Olingan natijalarga ko‘ra, ionlar yupqa metallooksid qatlamda lokal defektlar hosil qilishi bilan birga, ayrim hollarda SnO_2 qatlamidan o‘tib Si taglikka ham kirib boradi. Ayniqsa, SnO_2/Si interfeysi sohasida ionlarning energiya yo‘qotishi va atom siljishlari kuchayishi kuzatiladi. Bu esa ko‘pqatlamli geterotuzilmalarning elektrofizik, optik va sensor xossalarini boshqarishda ion implantatsiyasi muhim texnologik omil ekanligini ko‘rsatadi. Tadqiqot natijalari SnO_2/Si asosidagi radiatsion sezgir elementlar, gaz sensorlari va optoelektron qurilmalar uchun defekt muhandisligi jarayonlarini optimallashtirishda ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

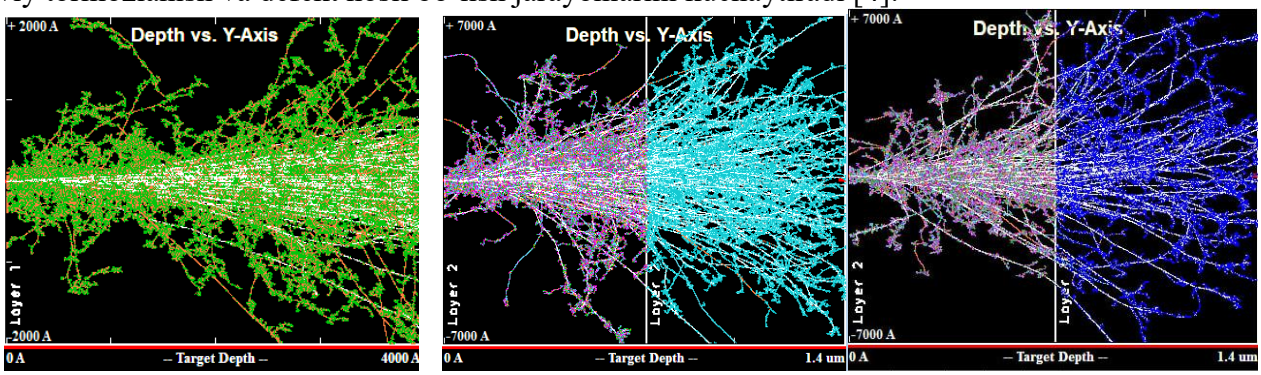
Kalit so‘zlar: Co ion implantatsiyasi, SnO_2/Si geterotuzilma, SRIM/TRIM, ion trayektoriyasi, chuqurlik bo‘yicha taqsimot, lateral sochilish, defektlar, vakansiyalar, interfeys, metallooksid yupqa plyonka.

Ion implantatsiyasi yarimo‘tkazgich va metallooksid materiallarning fizik xossalarini maqsadli o‘zgartirishda samarali texnologik usullardan biri hisoblanadi. Ushbu jarayonda yuqori energiyali ionlar material sirtiga yo‘naltiriladi va ular kristall yoki amorf muhit ichiga kirib borib, atomlar bilan ko‘p

martalik to‘qnashuvlarga uchraydi. Natijada ionlarning kinetik energiyasi asta-sekin elektron tormozlanish va yadroviy tormozlanish orqali yo‘qoladi [1]. Elektron tormozlanish asosan ionlarning material elektronlari bilan o‘zaro ta’siri natijasida yuzaga keladi, yadroviy tormozlanish esa ionlarning panjara atomlari yadrolari bilan elastik to‘qnashuvlari orqali sodir bo‘ladi. Aynan yadroviy to‘qnashuvlar vakansiyalar, interstitsial atomlar, atom siljishlari va lokal struktura buzilishlarining shakllanishida muhim rol o‘ynaydi.

1,23 MeV energiyali Co ionlarining uch xil muhitdagi — Si, SnO_2/Si va SnO_2:Pt/Si tuzilmalaridagi trayektoriyalari SRIM modellashtirish asosida taqqoslangan [2]. Tasvirlardan ko‘rinadiki, ionlarning harakat yo‘nalishi va chuqurlik bo‘yicha taqsimoti material tarkibi, qatlamlararo chegara va og‘ir atomlarning mavjudligiga kuchli bog‘liq. Bu esa implantatsiya jarayonida nafaqat ionlarning kirib borish chuqurligi, balki defektlarning qaysi sohada ko‘proq hosil bo‘lishini ham material tuzilmasi orqali boshqarish mumkinligini ko‘rsatadi(1-rasm).

Pt bilan modifikatsiyalangan SnO_2 qatlamida hosil bo‘ladigan defektlar oddiy SnO_2 qatlamidagidan farq qilishi mumkin. Pt atomlari kislorod vakansiyalari bilan o‘zaro ta’sirlashib, lokal elektron holatlar hosil qilishi, katalitik markazlar vazifasini bajarishi va gaz sezgirlik mexanizmini kuchaytirishi mumkin. Shu sababli SnO_2:Pt/Si tuzilmasida Co ion implantatsiyasi ikki tomonlama ta’sir ko‘rsatadi: bir tomondan, ionlar defektlar va vakansiyalar hosil qiladi; ikkinchi tomondan, Pt atomlari ushbu defektlarning energetik holatini va funksional faolligini o‘zgartiradi. Bu esa gaz sensorlari, radiatsion sezgir strukturalar va optoelektron elementlar uchun muhim bo‘lgan elektrofizik xossalarni boshqarishga imkon beradi. Rasmdagi uchta holatni o‘zaro taqqoslash shuni ko‘rsatadiki, Co ionlarining material ichida tarqalishi oddiy Si muhitidan ko‘pqatlamli SnO_2/Si va SnO_2:Pt/Si tuzilmalariga o‘tganda sezilarli darajada murakkablashadi [3]. Si holatida ionlarning asosiy trayektoriyasi nisbatan bir jinsli muhitda shakllansa, SnO_2/Si da qatlamlararo chegara muhim rol o‘ynaydi. SnO_2:Pt/Si holatida esa og‘ir Pt atomlarining mavjudligi yadroviy tormozlanish va defekt hosil bo‘lish jarayonlarini kuchaytiradi [4].



a) *b)* *c)*

Rasm 1. Co ionlari (1,23 MeV) implantatsiyasining SRIM modellashtirish natijalari: (a) Si, (b) SnO_2/Si va (c) SnO_2:Pt/Si. Tasvirlarda ionlarning kirib borish chuqurligi, to‘qnashuv kaskadlari va sochilish profillari ko‘rsatilgan.

Demak, implantatsiya natijasida hosil bo‘ladigan defektlar faqat ion energiyasiga emas, balki qatlam tarkibi, atom massasi, zichlik, interfeys holati va qo‘shimcha legirlovchi atomlar mavjudligiga ham bog‘liq.Ushbu natijalarning amaliy ahamiyati shundaki, Co ion implantatsiyasi yordamida SnO_2/Si va SnO_2:Pt/Si asosidagi geterotuzilmalarda defektlar taqsimotini maqsadli boshqarish mumkin. Agar defektlar asosan sirtga yaqin sohada hosil qilinsa, bunday strukturalar gaz sensorlari uchun foydali bo‘lishi mumkin, chunki gaz molekulalari bilan o‘zaro ta’sir asosan sirt va sirtga yaqin qatlamlarda sodir bo‘ladi. Agar defektlar interfeys yoki Si taglikka yaqin sohada shakllansa, unda bunday tuzilmalar radiatsion sezgir

elementlar yoki optoelektron qurilmalarda qo‘llanishi mumkin. Shuning uchun implantatsiya energiyasi, ion turi, doza, qatlam qalinligi va legirlovchi elementlarni tanlash orqali qurilmaning funksional xossalarini optimallashtirish mumkin. Umuman olganda, SRIM/TRIM modellashtirish natijalari Co ion implantatsiyasining SnO_2/Si asosidagi ko‘pqatlamli geterotuzilmalarda chuqurlik bo‘yicha notekis taqsimlangan defektlar hosil qilishini ko‘rsatadi. Ionlar materialga kirgandan so‘ng to‘qnashuv kaskadlari hosil qiladi, energiyasini elektron va yadroviy tormozlanish orqali yo‘qotadi, lateral sochilishga uchraydi va qatlamlararo chegaralarda kuchliroq strukturaviy buzilishlar yuzaga keltiradi. SnO_2:Pt/Si tuzilmasida Pt atomlari mavjudligi sababli bu jarayon yanada kuchayadi. Shu bois Co ion implantatsiyasi metallooksid/yarimo‘tkazgich geterotuzilmalarida defekt muhandisligi, interfeys xossalarini boshqarish va sensor sezgirligini oshirish uchun istiqbolli texnologik yondashuv hisoblanadi.

Adabiyotlar:

1. Ziegler J.F., Ziegler M.D., Biersack J.P. SRIM – The stopping and range of ions in matter (2010). Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B. 2010. Vol. 268. No. 11–12. pp. 1818–1823. doi: 10.1016/j.nimb.2010.02.091.
2. Khaibullin R.I. et al. Microstructure and Unusual Ferromagnetism of Epitaxial SnO_2 Films Heavily Implanted with Co Ions. Condensed Matter. 2024. Vol. 9. No. 2. Article No. 27. doi: 10.3390/condmat9020027.
3. Yusuf A.S. et al. Optimizing the resistivity of colloidal SnO_2 thin films by ion implantation and annealing. Surfaces and Interfaces. 2024. Vol. 55. Article No. 105325. doi: 10.1016/j.surfin.2024.105325.
4. Ponte R., Rauwel E., Rauwel P. Tailoring SnO_2 Defect States and Structure: Reviewing Bottom-Up Approaches to Control Size, Morphology, Electronic and Electrochemical Properties for Application in Batteries. Materials. 2023. Vol. 16. No. 12. Article No. 4339. doi: 10.3390/ma16124339.

SUYUQ FAZALI EPITAKSIYA USULIDA $(Ge_2)_{1-x-y}(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_x(ZnSe)_y$ QATTIQ ERITMALARINI O'STIRISH MEXANIZMLARI: MOLEKULYAR ALMASHINUV VA MASSAKO'CHISH

A.Y. Boboyev[1], N.N. Yunisaliyev[2], U. Karimberdiyev[1], G’.G’. Tojiboyev[1,]

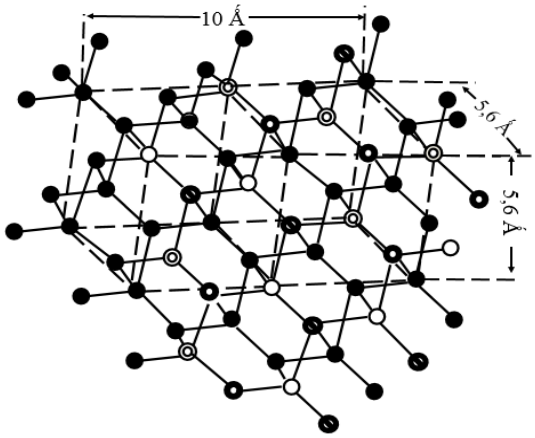
[1]*Andijon davlat universiteti, Andijon, O‘zbekiston, 170100*

[2]*Tashkent International University Andijan Campus, Andijan, 170100, Uzbekistan*

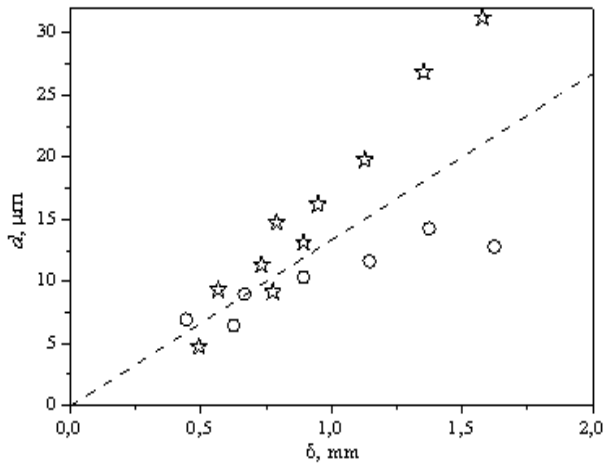
Annotatsiya: Ushbu tezisda suyuq fazali epitaksiya usulida $(Ge_2)_{1-x-y}(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_x(ZnSe)_y$ qattiq eritmalarini o‘stirish mexanizmlari, molekulyar almashinuv va massa ko‘chish jarayonlari asosida tahlil qilindi. Tadqiqotda kremniy taglik ustida Ge bufer qatlami orqali panjara nomuvofiqligi va mexanik kuchlanishlarni kamaytirish, shuningdek, Bi saqlovchi eritma-qotishmadan epitaksial qatlam hosil qilish sharoitlari ko‘rib chiqildi. O‘sish jarayoni 750–650 °C harorat oralig‘ida, palladiy bilan tozalangan vodorod atmosferasida va 1–1,5 °C/min sovitish tezligida olib borilishi qattiq eritmaning termodinamik muvozanatga yaqin sharoitda shakllanishiga imkon beradi. Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, Ge_2, GaAs va ZnSe komponentlari kristall panjaraga oddiy atomlar tarzida emas, balki Ge–Ge, Ga–As va Zn–Se kabi bog‘langan molekulyar fragmentlar sifatida kiradi. Bu jarayonda valent elektronlar sonining saqlanishi va kovalent radiuslarning yaqinligi molekulyar almashinuvning asosiy sharti hisoblanadi. Shuningdek, epitaksial qatlam qalinligi tagliklar orasidagi masofa, eritmadagi diffuziya jarayoni va tabiiy konveksiya intensivligiga bog‘liq ekani aniqlangan.

Kalit so‘zlar: suyuq fazali epitaksiya, qattiq eritma, $(Ge_2)_{1-x-y}(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_x(ZnSe)_y$, kremniy taglik, Ge bufer qatlam, Bi eritma-qotishma, molekulyar almashinuv, massa ko‘chish, diffuziya, tabiiy konveksiya, epitaksial qatlam, panjara nomuvofiqligi, mexanik kuchlanish, kristallanish fronti, yarimo‘tkazgich materiallar.

Suyuq fazali epitaksiya usulida $(Ge_2)1-x-y(GaAs1-\delta Bi_\delta)_x(ZnSe)_y$ qattiq eritmalarini o‘stirish mexanizmi bir necha o‘zaro bog‘liq fizik-kimyoviy jarayonlarga asoslanadi. Ushbu tizimda kremniy taglik bevosita asos sifatida olinadi, Ge bufer qatlami esa panjara nomuvofiqligi va mexanik kuchlanishlarni kamaytiruvchi oraliq qatlam vazifasini bajaradi. Maqolada ko‘rsatilishicha, qattiq eritma vismut saqlovchi eritma-qotishmadan suyuq fazali epitaksiya orqali o‘stiriladi; jarayon 750–650 °C harorat oralig‘ida, palladiy bilan tozalangan vodorod atmosferasida va taxminan 1–1.5 °C/min sovitish tezligida olib boriladi. Bunday sharoit kristallanishni termodinamik muvozanatga yaqin holatda amalga oshirishga imkon beradi. Mazkur qattiq eritmaning hosil bo‘lishida muhim mexanizmlardan biri molekulyar almashinuv hisoblanadi. Bu yondashuvga ko‘ra, Ge, GaAs va ZnSe komponentlari kristall panjarada faqat alohida atomlar sifatida emas, balki Ge–Ge, Ga–As va Zn–Se kabi bog‘langan molekulyar fragmentlar ko‘rinishida ishtirok etadi. Maqolada ta’kidlanishicha, bunday almashinuv sodir bo‘lishi uchun ikki asosiy shart bajarilishi kerak: kimyoviy bog‘larda qatnashuvchi valent elektronlar soni saqlanishi va almashinuvchi strukturaviy birliklarning kovalent radiuslari sezilarli farq qilmasligi lozim. Shu sababli Ge_2, GaAs va ZnSe oddiy atomar almashinuvdan ko‘ra molekulyar almashinish asosida yagona qattiq eritma hosil qilishi mumkin[1]. O‘sish jarayonining ikkinchi asosiy tomoni massa ko‘chish mexanizmi bilan bog‘liq. Eritma tarkibidagi Ge_2, GaAs va ZnSe komponentlari Bi erituvchida ma’lum darajada erib, taglik yuzasiga yetib boradi va kristallanish frontida qattiq fazaga o‘tadi. Sovitish davomida eritma supersaturatsiya holatiga keladi, natijada komponentlarning kristall panjaraga kirishi uchun qulay sharoit yuzaga keladi. Kichik tagliklararo masofada massa ko‘chish asosan molekulyar diffuziya bilan boshqariladi; bu esa qatlamning bir tekis va nisbatan kam nuqsonli o‘sishiga yordam beradi. Masofa ortganda esa gravitatsion oqimlar va tabiiy konveksiya kuchayishi mumkin, bu o‘sish tezligini oshirsa-da, tarkibiy notekislik va strukturaviy nuqsonlar paydo bo‘lish xavfini kuchaytiradi[2]. Shu jihatdan, suyuq fazali epitaksiya jarayonida qattiq eritmaning shakllanishi faqat kimyoviy tarkibga emas, balki eritmaning harorati, sovitish tezligi, tagliklar orasidagi masofa va massa ko‘chish rejimiga ham bog‘liq. Maqolada aynan shu omillar $(Ge_2)1-x-y(GaAs1-\delta Bi_\delta)_x(ZnSe)_y$ qatlamlarining kristall sifati va tarkibiy bir jinsliligini belgilovchi asosiy parametrlar sifatida qaraladi.



1-rasm.
$(Ge_2)1-x-y(GaAs1-\delta Bi_\delta)_x(ZnSe)_y$



2-rasm. Epitaksial qatlam qalinligi d ning tagliklar orasidagi masofa δ ga bog‘liqligi.

qattiq eritmasida tetraedrik bog‘larning fazoviy konfiguratsiyasi.

1- va 2-rasmlar suyuq fazali epitaksiya jarayonida $(Ge_2)1-x-y(GaAs1-\delta Bi_\delta)_x(ZnSe)_y$ qattiq eritmasining hosil bo‘lish mexanizmini ikki jihatdan ochib beradi: birinchisi kristall-kimyoviy tuzilishni, ikkinchisi esa massa ko‘chish sharoitining epitaksial qatlam qalinligiga ta’sirini ko‘rsatadi. 1-rasmdagi grafik-sxema qattiq eritma tarkibida atomlar qanday fazoviy tartibda joylashishi mumkinligini ifodalaydi[3]. Unda turli atomlar yoki atom juftliklari tetraedrik yo‘nalishlarda bog‘langan holda tasvirlangan. Bunday bog‘lanish Ge, GaAs va ZnSe kabi yarimo‘tkazgich materiallar uchun xos bo‘lgan kovalent bog‘lanish tabiatiga mos keladi. Sxemadagi qora, oq va halqali belgilar turli komponentlarning panjara tugunlarida joylashishini bildiradi. Ularni alohida atomlar sifatida emas, balki Ge–Ge, Ga–As va Zn–Se kabi bog‘langan strukturaviy birliklar sifatida talqin qilish maqsadga muvofiq. Bu model qattiq eritma oddiy atomar almashinuv orqali emas, balki molekulyar fragmentlarning o‘zaro moslashuvi orqali shakllanishini tushuntiradi. Ge_2, GaAs va ZnSe tarkibidagi bog‘langan juftliklar valent elektronlar soni va kovalent radiuslar bo‘yicha yaqin bo‘lgani sababli ular umumiy kristall panjarada muvofiqlashgan holatda joylasha oladi. Rasmda ko‘rsatilgan 5.6 Å atrofidagi masofa panjara parametrlariga yaqin xarakterli qiymat bo‘lib, Ge, GaAs va ZnSe tuzilmalari orasidagi moslikni bildiradi. 10 Å uzunlik esa bir necha tetraedrik bog‘lanishlar orqali hosil bo‘lgan strukturaviy takrorlanish masofasini ifodalaydi. 1-rasm molekulyar almashinuv mexanizmining kristall-kimyoviy asosini ko‘rsatadi. 2-rasmdagi grafik esa epitaksial qatlam qalinligi d ning tagliklar orasidagi masofa δ ga bog‘liqligini ko‘rsatadi. Gorizontal o‘qda δ millimetrda, vertikal o‘qda esa qatlam qalinligi d mikrometrda berilgan. Punktir chiziq nazariy chiziqli bog‘lanishni, tajriba nuqtalari esa amaliy natijalarni ifodalaydi. Grafikdan ko‘rinadiki, δ taxminan 0.8 mm gacha bo‘lgan sohada tajriba natijalari nazariy chiziqqa yaqin joylashadi. Bu kichik masofalarda massa ko‘chish asosan molekulyar diffuziya orqali boshqarilishini bildiradi. Diffuziya rejimida komponentlar kristallanish frontiga barqaror yetib boradi va qatlam nisbatan bir tekis o‘sadi. Ammo δ 0.8 mm dan oshganda tajriba nuqtalari nazariy chiziqdan sezilarli og‘a boshlaydi. Ayniqsa yulduzcha bilan belgilangan nuqtalarda qatlam qalinligi keskin ortib, ayrim hollarda 25–30 μm ga yetadi. Bu holat eritmada gravitatsion oqimlar va tabiiy konveksiya kuchayganini ko‘rsatadi. Konveksiya modda oqimini tezlashtiradi, lekin uni bir tekis taqsimlamaydi. Natijada yuqori va pastki tagliklarda o‘sish sharoitlari farqlanadi, qatlam qalinligi ortadi, ammo tarkibiy notekislik va kristall nuqsonlar paydo bo‘lish ehtimoli ham kuchayadi.

Adabiyotlar

[1] D.S. Abramkin, M.O. Petrushkov, M.A. Putyato va boshq. // *Semiconductors*. 2019. Vol. 53. P. 1143–1147.

[2] P.V. Seredin, D.L. Goloshchapov, I.N. Arsentyev va boshq. // *Semiconductors*. 2021. Vol. 55. P. 44–50.

[3] N.Y. Yunusaliyev. // *European Journal of Physics*. 2024. Vol. 4. P. 439.

Si TAGLIKLARDA O‘STIRILGAN $(Ge_2)_{1-x-y}(ZnSe)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$ EPITAKSIAL PLYONKALARNING RENTGENSTRUKTURAVIY XOSSALARI

N.N. Yunisaliyev[1], U. Karimberdiyev[2], F.A. Abdulkhayev[2],
N.A. Adixamov[2], G.I. Numonjonova[2].

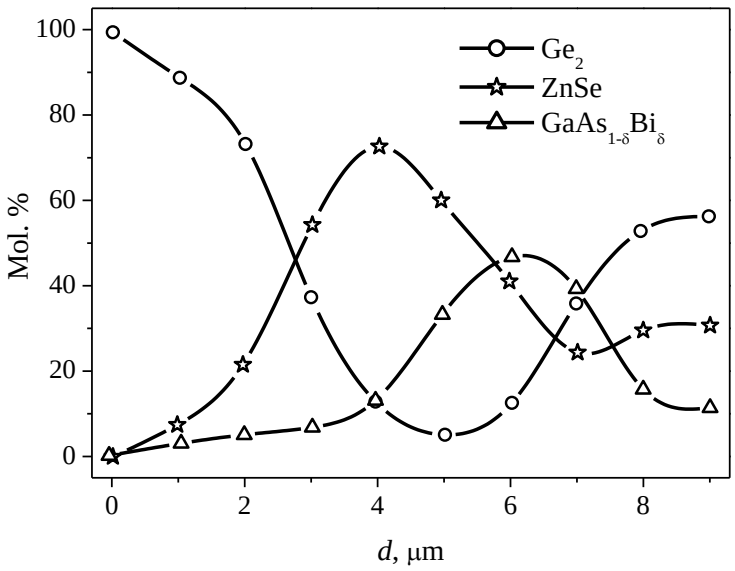
[1]*Tashkent International University Andijan Campus, Andijan, 170100, Uzbekistan*

[21]*Andijon davlat universiteti, Andijon, O‘zbekiston, 170100*

Annotatsiya: Ushbu tezisda Si tagliklarda suyuqlik fazali epitaksiya usuli orqali o‘stirilgan $(Ge_2)_{1-x-y}(ZnSe)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$ epitaksial plyonkalarning rentgenstrukturaviy xossalari tahlil qilindi. Tadqiqotda epitaksial qatlamlarning kristallografik yo‘nalishi, panjara parametrlari, qalinlik bo‘yicha tarkibiy taqsimoti hamda Si taglikdagi strukturaviy nuqsonlar XRD natijalari asosida baholandi. Olingan natijalarga ko‘ra, hosil qilingan epitaksial plyonka asosan (111) yo‘nalishli monokristall tuzilishga ega bo‘lib, uning panjara parametri $a_{exp} = 0{,}5658$ nm ni tashkil etadi. Qatlam qalinligi bo‘yicha ZnSe va $GaAs_{1-\delta}Bi_\delta$ birikmalarining notekis taqsimlanishi aniqlanib, bu holat eritma-rasplavdagi komponentlarning turlicha eruvchanligi va kristallanish jarayoni bilan izohlanadi. Rentgenogramma tahlili Si taglikda (111), (222) va (333) reflekslarining mavjudligini, shuningdek, kislorod bilan bog‘liq SiO_2 va SiO_x klasterlari hosil bo‘lishini ko‘rsatdi. Panjara parametrlarining mos kelmasligi, lokal mexanik kuchlanishlar va mikrodefektlarning shakllanishi epitaksial qatlamning strukturaviy xossalariga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: Si taglik, epitaksial plyonka, $(Ge_2)_{1-x-y}(ZnSe)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$, suyuqlik fazali epitaksiya, rentgenstrukturaviy tahlil, XRD, kristallografik yo‘nalish, panjara parametri, ZnSe, $GaAs_{1-\delta}Bi_\delta$, SiO_2, SiO_x klasterlari, mikrodefektlar, lokal mexanik kuchlanish, yarimo‘tkazgich geterotuzilma.

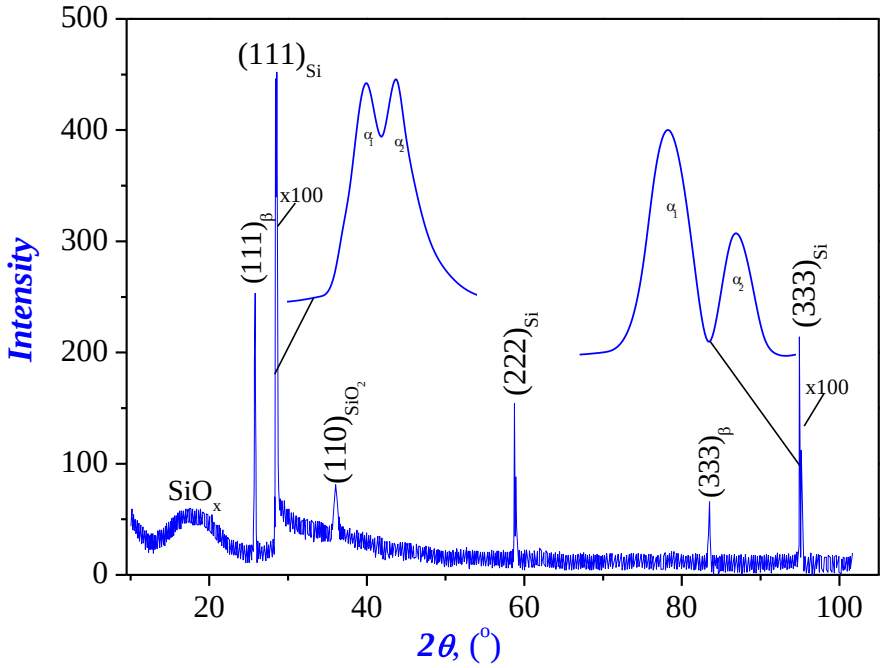
Zamonaviy yarimo‘tkazgichlar fizikasi va materialshunosligi oldida turgan eng muhim masalalardan biri — keng harorat diapazonida barqaror ishlay oladigan, ko'p funksiyali nano- va mikroelektron tizimlarni yaratishdir. Ushbu murakkab texnologik vazifani hal qilishda kremniy (Si), germaniy (Ge) va galiy arsenid (GaAs) kabi an'anaviy monokristallarni legirlash, ularda yuzaga keladigan nuqsonlarni va faza o'zgarishlarini boshqarish katta ahamiyatga ega. Xususan, n-tip o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan Si tagliklarida o‘stirilgan murakkab $(Ge2)_{1-x-y}(ZnSe)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$ epitaksial plyonkalari so'nggi yillarda o'ziga xos qiziqish uyg'otmoqda. Monokristall kremniy namunalarida kristall panjaraning sirtqi nanostrukturalarini rentgendiffraktometriya (XRD) va boshqa analitik usullar yordamida o'rganish bunday murakkab qattiq eritmalarning xossalarini to'liq tushunish uchun kalit bo'lib xizmat qiladi. Tadqiqotlarda epitaksial qatlamlarni o'stirish uchun maxsus vismut saqlovchi eritma-rasplavdan foydalanilgan. Kristallarni o'stirish jarayoni suyuqlik fazali epitaksiya usulida, tozalangan vodorod atmosferasida palladiy filtri orqali amalga oshiriladi. Ushbu jarayonda kristallizatsiyaning boshlang‘ich harorati 730 °C ni, eritmani sovutish tezligi esa taxminan 1 °C/min ni tashkil etishi belgilangan. Ushbu o'ziga xos termik ishlov natijasida qalinligi qariyb 10 mkm bo'lgan, p-tip o'tkazuvchanlikka hamda 0,1 Om·sm solishtirma qarshilikka ega plyonkalar olinadi. Rentgenstrukturaviy tahlil natijalari shuni tasdiqlaydiki, hosil bo'lgan epitaksial plyonka asosan (111) kristallografik yo'nalishga ega bo'lgan monokristalldir.



1-rasm. ZnSe, Ge_2 va $GaAs_{1-\delta}Bi_\delta$ birikmalari molekulalarining $(Ge_2)_{1-x-y}(ZnSe)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$ epitaksial qatlami qalinligi bo‘yicha taqsimlanish profili

Uning kristall panjarasi olmossimon tuzilishdagi elementar yacheykalardan iborat bo'lib, eksperimental aniqlangan panjara parametri $a_{exp} = 0{,}5658$ nm ni tashkil etadi. Hosil qilingan plyonkaning o'ziga xosligi uning tarkibiy qismlari plyonka qalinligi bo'ylab bir tekisda taqsimlanmaganligidadir. 1-rasmda tarkibning qalinlik bo'yicha taqsimlanish grafigiga e'tibor qaratsak, chuqurlik (d, mkm) o'zgarishi bilan ZnSe, Ge_2 va $GaAs_{1-\delta}Bi$ molekulalarining miqdoriy nisbati qanday dinamikada o'zgarishini ko'ramiz.

Qatlam qalinligi oshib borishi bilan dastlab ZnSe va $GaAs_{1-\delta}Bi_\delta$ birikmalarining molyar miqdori mutanosib ravishda o'sib boradi va mos ravishda x = 0,72 hamda y = 0,46 qiymatlarida o'z cho'qqisiga chiqadi. Bu o'sish kristallizatsiya sohasida eritma-rasplavning aynan shu birikmalar bilan yuqori darajada to'yinganligini ko'rsatadi. Plyonkaning yuzasiga yaqin sohalarda esa bu birikmalarning miqdori asta-sekin pasaya boshlaydi va x = 0,31, y = 0,12 qiymatlariga tushadi. Sirt qatlamidan 1 mkm chuqurlikdan boshlab ZnSe 31% dan, $GaAs_{1-\delta}Bi_\delta$ esa 12% dan oshmaydi. Bu nomutanosiblikning asosiy sababi kristall o'stirilayotgan cheklangan hajmdagi suyuq vismutda rux selenidning (ZnSe) eruvchanligi germaniynikiga nisbatan 3 baravar, galiy arsenid ($GaAs_{1-\delta}Bi_\delta$) birikmasiniki esa 5 baravar katta ekanligi bilan bog'liqdir. Buning natijasida taglik va sirtqi qatlam orasida keng energetik zonaga ega bo'lgan birikmalarga boy maxsus o'tish qatlami shakllanadi. Epitaksial jarayon sifatini belgilovchi eng muhim omillardan biri bu asos vazifasini bajaruvchi kremniy tagligining kristallografik mukammalligidir.



2-rasm. Kremniy monokristall tagligining rentgenogrammasi

Buni tahlil qilish uchun olingan kremniy tagligining rentgenogramma grafigi juda muhim ma'lumotlarni taqdim etadi. Rentgenogrammada 2θ = 28,4° va 2θ = 94,9° burchaklarda kuzatiladigan o'ta yuqori intensivlikdagi selektiv cho'qqilar $(111)_{Si}$ va $(333)_{Si}$ kristallografik yo'nalishlariga mos tushadi. Bu sirtning aynan (111) orientatsiyada ekanligini mutlaq tasdiqlaydi. (111) cho'qqisining o'ziga xos intensivligi va yarim kengligi (FWHM = $6{,}49\cdot10^{-3}$ rad) tahlili orqali kremniy subkristallitlarining o'lchami o'rtacha 23 nm ekanligi aniqlangan. Grafikdagi eng e'tiborli jihatlardan biri bu 2θ = 58,8° burchak ostida $(222)_{Si}$ yo'nalishiga tegishli strukturaviy cho'qqining paydo bo'lishidir. Odatda yuqori sifatli, nuqsonlardan xoli bo'lgan kremniy monokristallari uchun bunday cho'qqining paydo bo'lishi xos emas. Uning yuzaga kelishi kristall panjarada fon aralashmalari, xususan, kislorod atomlarining notekis taqsimlanishi natijasida hosil bo'lgan kuchli lokal mexanik kuchlanishlar va elastik mikrobuzilishlar mavjudligini ko'rsatadi. Kislorod va kremniy ionlari radiuslaridagi farq tufayli kislorod atomlari asosan subkristallitlar chegaralarida to'planadi. Natijada, rentgenogrammaning 2θ = 35,9° qismida kristallografik yo'nalishi (110) bo'lgan, o'lchami 13,8 nm ga teng SiO2 qattiq fazasining cho'qqisi qayd etilgan. Shuningdek, kichik burchaklar hududida (2θ ≈ 15°) uzoq tartibga ega bo'lmagan, o'lchami bor-yo'g'i 0,9 nm bo'lgan SiO_x klasterlariga tegishli keng diffuz cho'qqi aniqlangan.

ADABIYOTLAR

[1] Belous A.I., Yefimenko S.A., Turtsevich A.S. Yarimo‘tkazgichli kuch elektronikasi. Moskva: Texnosfera, 2013. 216 b.

[2] Markov V.F., Muhamedzyanov X.N., Maskayeva L.N. Zamonaviy elektronika materiallari. Yekaterinburg: Ural universiteti nashriyoti, EBS ASV, 2014. 272 b.

[3] Basu P. Monokristalli va yupqa plyonkali Si–Ge qotishmasi: o‘sishi va qo‘llanilishi bo‘yicha sharh // *Advanced Materials*. 2022. Vol. 3. P. 4489.

[4] Demidov A.A., Ribalka S.B. Keyingi o‘n yillik mikroelektronikasi uchun zamonaviy va istiqbolli yarimo‘tkazgich materiallar // *Amaliy matematika va fizika*. 2021. T. 53, № 1. B. 53–72.

n-Si MONOKRISTALLIDA KISLOROD BILAN BOG‘LIQ STRUKTURAVIY NUQSONLARNING RENTGEN-DIFRAKSION TAHLILI

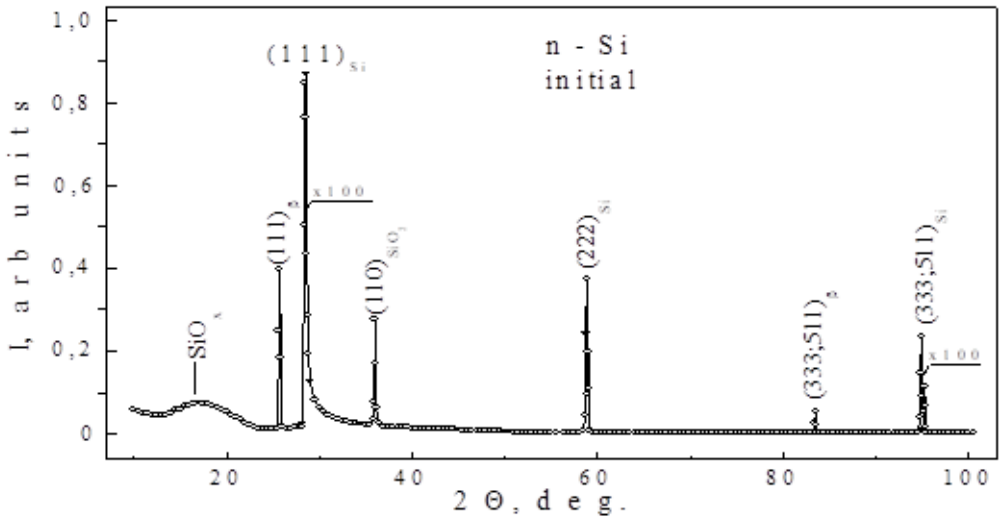
A. Y. Boboev[1], Sh.A. Makhmudov[2], Sh.Kh. Makhkamov[1], N. Y. Yunusaliyev[3], G.I Maxkamova[1], M.M. Arabboyeva[1].

[1]Z.M. Bobur nomidagi Andijon davlat universiteti, Andijon, O‘zbekiston
[2]O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Yadro fizikasi instituti, Toshkent
[3]Tashkent International University Andijan Campus, Andijan, 170100, Uzbekistan

Annotatsiya: Choxralskiy usulida o‘stirilgan kremniy monokristallarida kislorod asosiy fon aralashmalardan biri bo‘lib, uning kristall panjaradagi taqsimlanishi mahalliy elastik deformatsiyalar, kislorodli komplekslar va oksid fazalarining shakllanishiga olib kelishi mumkin. Ushbu tezisda dastlabki n-tur kremniy monokristalining rentgen-difraksion spektri asosida kristall matritsaning mukammalligi hamda kislorod bilan bog‘liq strukturaviy holatlar tahlil qilindi. Asosiy e’tibor ruxsat etilgan va taqiqlangan Si akslanishlari, SiO_2 fazasiga tegishli refleks hamda kichik sochilish burchaklaridagi diffuz fonning fizik mazmuniga qaratildi.

Kalit so‘zlar: n-Si(Cu), termodiffuziya, rentgen difraksiyasi, CuO, Cu_2O, nanokristallit, SiO_2 pretsipitatlari.

Tadqiqot obyekti sifatida solishtirma qarshiligi $\rho \approx 3-10\,\Omega\cdot cm$, dislokatsiyalar zichligi $N_D \approx 10^1-10^3 cm^{-2}$ va kislorod konsentratsiyasi $N_O \approx (2-4)\times 10^{17}\,cm^{-3}$ bo‘lgan n-Si monokristallari olindi. Namunalarning ishchi sirti (111) kristallografik yo‘nalishga ega bo‘lib, rentgen-difraksion o‘lchovlar XRD-6100 (Shimadzu) difraktometrida CuKα nurlanishi ($\lambda = 0.15418\,nm$) yordamida $2\theta = 10-100°$ oralig‘ida amalga oshirildi. 1-rasmda n-Si monokristaliga xos selektiv {HHH} turdagi akslanishlar aniq kuzatiladi. Asosiy $(111)_{Si}$ refleksi $2\theta \approx 28.7°$ da joylashgan bo‘lib, uning yuqori intensivligi va tor profili kremniy matritsasining yuqori strukturaviy mukammalligini ko‘rsatadi. Bundan tashqari, $2\theta \approx 58.9°$ da $(222)_{Si}$ va $2\theta \approx 94.9°$ da $(333)_{Si}$ akslanishlari qayd etilgan. Ideal olmos-simon kremniy panjarasi uchun $(222)_{Si}$ refleksi difraksion so‘nish qonuniga ko‘ra taqiqlangan bo‘lishi kerak. Uning tajribada kuzatilishi panjara simmetriyasining lokal buzilishi va elastik mikrodeformatsiyalar mavjudligini ko‘rsatadi [1]. Maqoladagi hisoblash bo‘yicha $I(222)/I(111) = 1.94\times 10^{-2}$ bo‘lib, bu kislorodning panjaralararo holatlarda bir jinsli taqsimlanmaganligini ko‘rsatuvchi muhim strukturaviy belgi sifatida baholangan.



1-rasm. Dastlabki n-Si monokristalining rentgen-difraksion spektri.

Difraktogrammada $2\theta \approx 36.0°$ atrofida kuzatiladigan kuchsiz (110) refleks SiO_2 fazasi bilan bog'langan. Ushbu chiziqning nisbatan torligi oksid fazasining kristall holatda ekanligini ko'rsatib, maqoladagi baholashga ko'ra SiO_2 strukturaviy fragmentlarining xarakterli o'lchami taxminan 80 nm ni tashkil etadi. Kislorod atomlarining kremniyga nisbatan katta ion radiusiga ega bo'lishi ularning energetik jihatdan nuqsonlarga boy chegara va bloklararo hududlarda to'planishini osonlashtiradi [2,3]. Shu sababli bunday sohalarda oksidli nanofazalarning shakllanishi va mahalliy panjara buzilishlarining kuchayishi ehtimoli ortadi.

Kichik sochilish burchaklaridagi keng diffuz fon uzoq masofali tartibga ega bo'lmagan kislorod–kremniy strukturaviy fragmentlari mavjudligini ko'rsatadi. Maqoladagi baholashda bunday amorf SiO_γ klasterlarining xarakterli o'lchami $\approx 1.25\ nm$ deb aniqlangan. Shu bilan birga, tajribaviy panjara parametri $a_{Si} = 0.54331\ nm$ bo'lib, jadval qiymati $a_{Si} = 0.54307 nm$ ga juda yaqin. Bu deformatsiyalangan sohalar umumiy kristall hajmiga nisbatan kichik ulushni egallashiga qaramay, rentgen-difraksion spektrda taqiqlangan refleks va diffuz sochilish orqali sezilarli strukturaviy iz qoldirishini ko'rsatadi.

Dastlabki n-Si monokristalining rentgen-difraksion spektri kremniy matritsasining umumiy kristall mukammalligi yuqori ekanini, biroq kislorodning notekis taqsimlanishi bilan bog'liq lokal strukturaviy buzilishlar mavjudligini ko'rsatdi. (222)Si taqiqlangan refleksining paydo bo'lishi mahalliy elastik mikrodeformatsiyalarni, $(110)_{SiO_2}$ refleksi esa nuqsonlarga boy hududlarda kristall oksid nanofazalarining shakllanishini tasdiqlovchi belgi sifatida qaraladi. Kichik burchaklardagi diffuz sochilish esa nanometr o'lchamli amorf SiO_γ klasterlarining mavjudligi bilan izohlanadi.

ADABIYOTLAR

1. I. R. Entin and I. A. Smirnova, Acta Crystallogr. A 45, 577 (1989). https://doi.org/10.1107/S0108767389003879

2. M. U. Kalanov, I. I. Sadikov, et al., Silicon 16, 4091 (2024). https://doi.org/10.1007/s12633-024-02985-y

3. Z. Li, J. Will, and D. Yang, AIP Adv. 10, 105324 (2020). https://doi.org/10.1063/5.0027232

n-Si MONOKRISTALLIDA (111) VA (333) REFLEKSLARNING α_1–α_2 AJRALISHI ORQALI LOKAL ELASTIK MIKROKUCHLANISHLARNI RENTGEN-DIFRAKSION TAHLIL QILISH

A. Y. Boboev[1], Sh. A. Makhmudov[2], Sh. Kh. Makhkamov [1]

N. Y. Yunusaliyev[3], G. G. Tojiboyev[1], M. M. Arabboeva[1].

[1]Z. M. Bobur nomidagi Andijon davlat universiteti, Andijon, O'zbekiston

[2]O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Yadro fizikasi instituti, Toshkent

[3]Tashkent International University Andijan Campus, Andijan, 170100, Uzbekistan

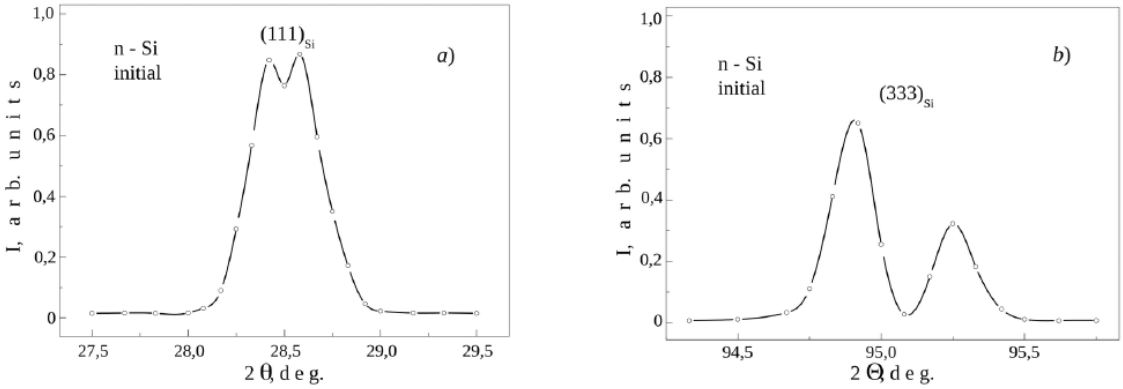
Annotatsiya: Choxralskiy usulida o'stirilgan n-tur kremniy monokristallarida kislorodning panjaralararo holatlarda notekis taqsimlanishi va o'sish jarayonida hosil bo'ladigan nuqsonlar kristall panjarada lokal elastik mikrokuchlanishlarni yuzaga keltirishi mumkin. Bunday deformatsion holatlarni baholashda rentgen-difraksion reflekslarning nozik profili muhim axborot beradi. Ushbu tezisda

maqolaning n-Si monokristalining (111) va (333) reflekslari alohida tahlil qilinib, ularning $\alpha_1 - \alpha_2$ komponentlarga ajralish xususiyati hamda bu holatning kristall strukturasi bilan bog‘liqligi o‘rganildi.

Kalit so‘zlar: termodiffuziya, rentgen difraksiyasi, nanokristallit.

Tadqiqot obyekti sifatida solishtirma qarshiligi $\rho \approx 3-10\,\Omega \cdot cm$, dislokatsiyalar zichligi $N_D \approx 10^1 - 10^3 cm^{-2}$ va kislorod konsentratsiyasi $N_O \approx (2-4) \times 10^{17} cm^{-3}$ bo‘lgan n-Si monokristallari olingan. Namunalarning ishchi sirti (111) kristallografik yo‘nalishga ega. Rentgen-difraksion o‘lchovlar XRD-6100 (Shimadzu, Yaponiya) difraktometrida CuKα nurlanishi ($\lambda = 0.15418\,nm$) yordamida, $2\theta = 10-100°$ diapazonda va $2°/min$ skanerlash tezligida amalga oshirilgan.

1-rasmning *a* qismida $(111)_{Si}$ refleksi $2\theta \approx 28.7°$ atrofida kuzatiladi. Ushbu refleksning yuqori intensivligi va tor yuzasi dastlabki n-Si monokristalining kristall panjarasi yuqori darajada mukammal ekanining belgisi sifatida talqin qilingan. Shu bilan birga, (111) refleksining α_1 va α_2 komponentlarga ajralishi juda kuchsiz bo‘lib, profil deyarli singlet ko‘rinishni saqlaydi. Bu holat kristall matritsada o‘sish tabiatiga ega lokal elastik mikrokuchlanishlar mavjudligi hamda kislorodning panjaralararo tugunlarda bir jinsli taqsimlanmaganligi bilan bog‘liq [1].



1-rasm. Dastlabki n-Si monokristalida (111) (a) va (333) (b) reflekslarining nozik rentgen-difraksion profili.

1-rasmning *b* qismida yuqori tartibli $(333)_{Si}$ refleksi $2\theta \approx 94.9°$ atrofida joylashgan va unda α_1 hamda α_2 komponentlar aniq ajralgan. (333) refleksi uchun $I_{333}(\alpha_1) \approx 2I_{333}(\alpha_2)$ intensivlik nisbati qayd etilgan bo‘lib, bu CuK_α nurlanishining xarakterli dublet tuzilishi bilan mos keladi. (333) refleksining yaxshi ajralgan profili (111) refleksidagi deyarli singlet holat bilan birgalikda ko‘rib chiqilganda, deformatsion buzilishlar butun kristall hajmida bir xil tarqalmaganini ko‘rsatadi.

(333) chiziqning $\alpha_1 - \alpha_2$ dubletga yaxshi ajralishi elastik kuchlanishlarning asosan sirtga yaqin qatlamlarda, dislokatsiyalar atrofida va monokristallning bloklar yoki subkristallitlar chegaralarida to‘planganini ko‘rsatadi. Bunday hududlarda ideal kubik simmetriyadan mahalliy chetlanishlar yuzaga keladi. Kislorodning kristall panjarada notekis taqsimlanishi ushbu lokal deformatsion maydonlarning shakllanishiga hissa qo‘shishi mumkin [2,3].

(111) va (333) reflekslarini birgalikda tahlil qilish muhim strukturaviy xulosaga olib keladi: dastlabki n-Si namunada umumiy kristall mukammalligi yuqori bo‘lsa-da, panjara mutlaqo ideal emas. Asosiy (111) refleksining tor va intensiv bo‘lishi hajmiy matritsaning tartibliligini ko‘rsatsa, yuqori tartibli (333) refleksning dublet tuzilishi lokal deformatsion sohalarning mavjudligini sezgir ravishda namoyon etadi. Shu

sababli yuqori tartibli reflekslarning nozik profilini tahlil qilish kislorod bilan bog'liq strukturaviy notekislik va elastik mikrokuchlanishlarning fazoviy xarakterini baholashda samarali yondashuv hisoblanadi.

1-rasm asosidagi rentgen-difraksion tahlil dastlabki n-Si monokristalining umumiy kristall strukturasi yuqori mukammallikka ega ekanini, biroq lokal elastik mikrokuchlanishlar mavjudligini ko'rsatadi. $(111)_{Si}$refleksida $\alpha_1 - \alpha_2$ ajralishining kuchsizligi va $(333)_{Si}$ refleksida dubletning aniq kuzatilishi deformatsion holatlarning kristall bo'ylab bir jinsli emasligini ko'rsatadi. Mikrokuchlanishlar asosan sirtga yaqin qatlamlar, dislokatsiyalar va subkristallitlar chegaralarida jamlangan bo'lib, ularning shakllanishi kislorodning panjaralararo holatlarda notekis taqsimlanishi bilan bog'liq.

ADABIYOTLAR

1. S. Utamuradova, S. Daliev, J. Khamdamov, K. Matchonov, and A. Khaitbaev, East Eur. J. Phys. (4), 484 (2025). https://doi.org/10.26565/2312-4334-2025-4-49
2. I. R. Entin and I. A. Smirnova, Acta Crystallogr. A 45, 577 (1989). https://doi.org/10.1107/S0108767389003879
3. Z. Li, J. Will, and D. Yang, AIP Adv. 10, 105324 (2020). https://doi.org/10.1063/5.0027232

ВЛИЯНИЕ ПЛЕНКИ ОСМИЯ НА ЭМИССИОННЫЕ СВОЙСТВА СИСТЕМЫ W-O-Ba

Турсунметов Камилжан Ахметович

Профессор кафедры Общей физики физического факультета Национального университета Узбекистана

kamiljantursunmetov47@gmail.com

Известно, что одним из эффективных термокатодов является металлопористые катоды (МПК). В работах Б.Ч. Дюбуа [1, 2], а также его сотрудников [3], исследованы эмиссионные свойства МПК на основе Os-W и МПК с пленкой осмия. В этих работах определены положительные влияния на эмиссионные и вторично-электронные свойства МПК. Установлено, что при этом уменьшается работа выхода электрона на ~0,10-0,15 эВ за счет относительного увеличения концентрации атомов бария в 1,2-1,3 раза [2, 3].

Одако, атомы осмия относительно более активны кислороду и образуют летучие окислы типа Os_nO_m [4]. Это должен привести к нестабильности эмиссионного состояния системы W- Os-O-Ba.

Поэтому, в данной работе исследованы эмиссионные свойства вольфрамовой губки МПК в потоке атомов бария, покрытой пленкой осмия толшиной ~ 1 мкм, а также W_{110} и чистой вольфрамовой губки при различных довлениях килорода.

Экпериментальная установка и прибор были, анологичные описанные в [5, 6]. Источником бария бария служила танталовая камера, заполяненной сплавом Ba-Ti, а источником кислорода служила никелевая трубочка, заполненной окисью меди. Обезгаживания и обработка образцов проводились по общепринетой технологии. Измерения проводились в вакууме ~$5\cdot10^{-9}$ Тор и температура образца измерялась с помощью термопары ВР-5/ВР-20 и контролировалась пирометром.

Эмиссионнный ток измерялась с помощью цилиндра Фарадея. Обезгаживания образцов проводились нагреваниям образцов до 1800-1850 К кратковременно, т.к. длительные нагревания вольфрамовой губки при высоких температурах, приводит её спеканию, следовательно к закрытию поры [6].

Изучения эмиссионных систем, проводились методом сиятия “S” – образных кривых в потока атомов бария (n=1,35·10^{12} ат/см^2·с), т.е. зависимость $lg\frac{J}{T^2}+C$ от $\frac{5040}{T,K}$.

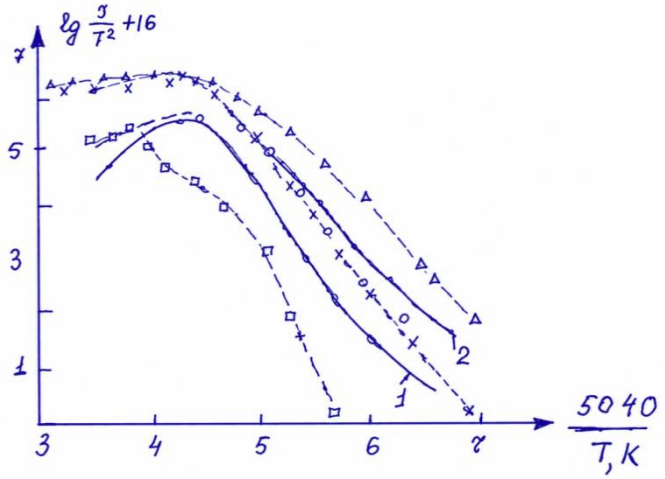


Рис. 1. Температурная зависимость электронной эмиссии систем: 1-W_{100}-O-Ba, вольфрамовая губка –O- Ba (2) и для вольфрамовой губки, покрытой пленкой осмия: (000)- для чистой, (xxx)-окисленной при Po_2=1·10^{-8} Тор , (ΔΔΔ) - окисленной при Po_2=2·10^{-7} Тор, (■■■)-окисленной при Po_2=2·10^{-6} Тор в потоке атомов Ba (при температуре источнике бария 1070 К).

На рис.1. приведены зависимости эмиссионного тока от обратной температуры в виде $lg\frac{J}{T^2}+16$ от $\frac{5040}{T,K}$ при различных давлениях кислорода.

Как видно из рисунка, относительно при низких температурах, при увеличении давлении кислорода до 10^{-7} Тор, эмиссионный ток увеличевается ~ на пол порядок и работа выхода электрона уменьшается до 2,05 эВ. Для сопоставления, на рисунке приведене зависимость $lg\frac{J}{T^2}+16$ от $\frac{5040}{T,K}$ для монокристалла W_{110} (кривая 1) и для вольфрамовой губки МПК в потоке атомов бария (кривая 2).

Также из рисунка можно утвердить, что при различных режимах, эмиссионные свойства вольфрамовой губки, покрытой пленкой осмия, можеть быть различными. Это зависит от процессов окисления осмия и образования системы Os-O-Ba, работа выхода которой меньше, чем работа выхода системы W-O-Ba [1-3]. При большых давлениях кислорода (P≥10^{-6} Тор), эмиссионный свойства во многом хуже чем даже системы W_{110}-O-Ba [5].

Относительно высокой эмиссии системы с осмием при низких температурах можно связать относительной активностью осмия к кислороду и он активируют катод, т.е. увеличивая избыток атомов бария на поверхности системы, образуются окисли осмия, которые легко испраются [4].

Таким оброзом, как утверждаются в работах [1-3], можно уменьшать работу выходя системы вольфрамовая губка- кислород-барий вводя в состав вольфрамовой губки осмия или покрывая поверхность губки тонкой пленкой осмия.

Литература

[1] Я.Л. Вирии, Б.Ч. Дюбуа. Изв. АНСССР. Сер. физ., 1979. Т.43. С.662.

[2] Б.Ч. Дюбуа. Тез. доклад. XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. Ленинград: 1990. т.1. С.181.

[3] А.П. Макаров, О.К. Култашев, Е.Д. Куранова. Там. же. С.170.

[4] Е.К. Казенас, Д.М. Чижиков. Давление и состав пара над окислами хемических элементов. Москва: Наука, 1976. С. 263-265.
[5] К.А. Турсунметов, Ф.Ю. Тургунбаев. ЎзМУ Хабарлари. Тошкент: 2013. №1-2, 181-184 б.
[6] К.А. Турсунметов, Ю.В. Гурков. Изв.АНСССР. сер. Физ. 1991. №12. С.108.

ПАРАМЕТРЫ ОБОБЩЁННЫХ КВАРТИЧНЫХ СОЛИТОНОВ

[1]Суюнов Л.А., [2]Цой Э.Н.

[1]Каршинский государственный университет, кафедра теоретической и экспериментальной физики, lasuyunov@gmail.com

[2]Физико-технический институт Академии наук Узбекистана, лаборатория теоретической физики, e.n.tsoy@gmail.com

Параметры стационарных солитонов в средах с обобщённой квартичной дисперсией изучены недостаточно. В настоящей работе проведено детальное исследование параметров солитонов в таких средах. В частности, проанализирована роль кубической дисперсии в формировании профиля и параметров солитона. Динамика света в нелинейных диспергирующих средах описывается следующим уравнением [1–3]:

$$i\psi_z - \frac{\beta_2}{2!}\psi_{\tau\tau} - i\frac{\beta_3}{3!}\psi_{\tau\tau\tau} + \frac{\beta_4}{4!}\psi_{\tau\tau\tau\tau} + \gamma|\psi|^2\psi = 0, \qquad (1)$$

где $\psi(\tau, z)$ — огибающая электрического поля, τ — время в бегущей системе координат, z — пройденное расстояние (координата распространения), β_j — параметр дисперсии j-го порядка, j = 2, 3 и 4, а γ — параметр керровской нелинейности.

Дисперсионное соотношение линейных волн получается подстановкой поля в виде $\psi(\tau,z)\sim\exp[i(\eta(\omega)z-\omega\tau)]$ в уравнение (1) при $\gamma = 0$:

$$\eta(\omega) = \frac{\beta_2}{2!}\omega^2 + \frac{\beta_3}{3!}\omega^3 + \frac{\beta_3}{4!}\omega^4. \qquad (2)$$

Здесь $\eta(\omega)$ — волновое число, а ω — частота линейной волны. Тогда $\eta_1(\omega) \equiv \eta'(\omega) = 1/v_g$ и $\eta_2(\omega) \equiv \eta''(\omega)$ — соответственно величина, обратная групповой скорости, и параметр дисперсии второго порядка линейных волн на частоте ω.

Решения уравнения (1) ищем в следующем виде:

$$\psi(\tau,z) = u(\xi)e^{i\mu z}, \;\; \xi = \tau - z/V, \qquad (3)$$

где $1/V$ — скорость импульса в бегущей системе координат, а μ — волновое число. Тогда уравнение для стационарного профиля $u(\xi)$ записывается в виде

$$-i\frac{1}{V}u_\xi - \frac{\beta_2}{2!}u_{\xi\xi} - i\frac{\beta_3}{3!}u_{\xi\xi\xi} + \frac{\beta_4}{4!}u_{\xi\xi\xi\xi} + \gamma|u|^2u = \mu u. \qquad (4)$$

Уравнение (4) представляет собой нелинейную задачу на собственные значения с двумя неизвестными параметрами μ и V, которая решается методом ускоренной эволюции в мнимом времени (AITE) [4].

Представлен анализ параметров стационарных оптических импульсов в средах с обобщённой квартичной дисперсией. С учётом симметрий уравнения (1) рассмотрены все важные случаи, включая нормальную, аномальную и нулевую дисперсию групповой скорости (ДГС) как для фокусирующих, так и для дефокусирующих сред. Показано, что волновое число μ возрастает с ростом энергии E_0. Что более важно, зависимость $\mu(E_0)$ монотонна, следовательно, солитоны устойчивы при рассмотренных параметрах. Наше исследование также показывает, что стационарные солитоны могут быть неустойчивыми при больших $|\beta_3|$. Ширина солитона a_{ex}, определённая так же, как в работе [1], уменьшается с ростом энергии. При больших E_0 функция $a_{ex}(E_0)$ ведёт себя как $\sim E_0^{-1/3}$. При умеренных E_0 функция $a_{ex}(E_0)$ при $\beta_2 > 0$ пропорциональна $\sim E_0^{-1}$. Увеличение $|\beta_3|$ обычно приводит к росту как μ, так и a_{ex} при заданных E_0 и $1/V$.

Мы показываем, что при наличии кубической дисперсии стационарные импульсы, как правило, являются чирпированными. Чирп может также возникать в средах с квадратично-квартичной дисперсией, когда центральная частота солитона не равна нулю [5, 6]. Это является следствием отсутствия галилеевой инвариантности уравнения (1) при $\beta_4 \neq 0$. Комплекснозначный профиль $u(\xi)$ стационарных солитонов имеет чётную амплитуду и нечётную фазу. Для такого профиля стационарный солитон представляет собой суперпозицию когерентных плоских волн с одинаковыми фазами. Таким образом, в настоящей работе изучены параметры стационарных солитонов и свойства их спектров в средах с квартичной дисперсией.

Литература

1. G. P. Agrawal, Nonlinear Fiber Optics, 4th ed. (Academic Press, 2007).
2. N. Akhmediev, et al, Opt. Commun. 110, 540 (1994).
3. A. Blanco-Redondo, et al, Nature Commun. 7, 10427 (2016).
4. J. Yang and T. I. Lakoba, Stud. Appl. Math. 120, 265 (2008).
5. J. Widjaja, et al, Phys. Rev. A 104, 043526 (2021).
6. W. Liu, et al, Opt. Express, 33, 38562 (2025).

X-RAY DIFFRACTION STUDY OF STRUCTURAL CHANGES IN Si_3N_4 NANOPOWDER INDUCED BY ELECTRON IRRADIATION

M.Yu. Tashmetov and M.M. Buriev

Academy of Sciences of Uzbekistan, Institute of Nuclear Physics, Ulugbek District, 100214 Tashkent, Uzbekistan

E-mail: b.maksud@inp.uz

The structural changes in Si_3N_4 nanopowder induced by electron irradiation were investigated using an Empyrean PANalytical Series 3 diffractometer with Cu Kα radiation (λ = 1.5406 Å). The obtained X-ray diffraction (XRD) data were analyzed using the Rietveld refinement method implemented in the FullProf software to determine the structural parameters of the crystalline phases.

The crystal structure and initial structural parameters of the unirradiated Si_3N_4 nanopowder were investigated in our previous study. The results reported in that work were used as the reference state for comparison with the irradiated samples. The initial sample was found to have a biphasic crystalline structure consisting of α-Si_3N_4 and β-Si_3N_4 phases. In the present study, the changes in the crystal structure caused by electron irradiation were evaluated mainly from the variations in the lattice parameters of these two phases [1].

After irradiation with an electron fluence of 5×10^{15} e/cm^2 (Fig.1*a*), noticeable changes were observed in the XRD pattern compared with the unirradiated state. Rietveld refinement gave lattice parameters of $a = b = 8.303$ Å and $c = 5.490$ Å for the α-Si_3N_4 phase with space group P31c. For the β-Si_3N_4 phase with space group $P6_3/m$, the refined parameters were $a = b = 7.585$ Å and $c = 3.303$ Å [1,2]. The changes in the lattice parameters indicate that electron irradiation affects the crystal lattice and leads to structural distortions in both phases. Such changes can be related to irradiation-induced atomic displacements and rearrangement of atoms within the crystal structure.

A further increase in the electron fluence to 1×10^{16} e/cm^2 (Fig.1*b*) resulted in additional changes in the lattice parameters. For the α-Si_3N_4 phase, the refined values were $a = b = 7.875$ Å and $c = 5.079$ Å, while for the β-Si_3N_4 phase they were $a = b = 7.635$ Å and $c = 2.907$ Å [1,2]. The refinement quality remained satisfactory, with a χ^2 value of 1.47, indicating good agreement between the experimental diffraction data and the structural model [1].

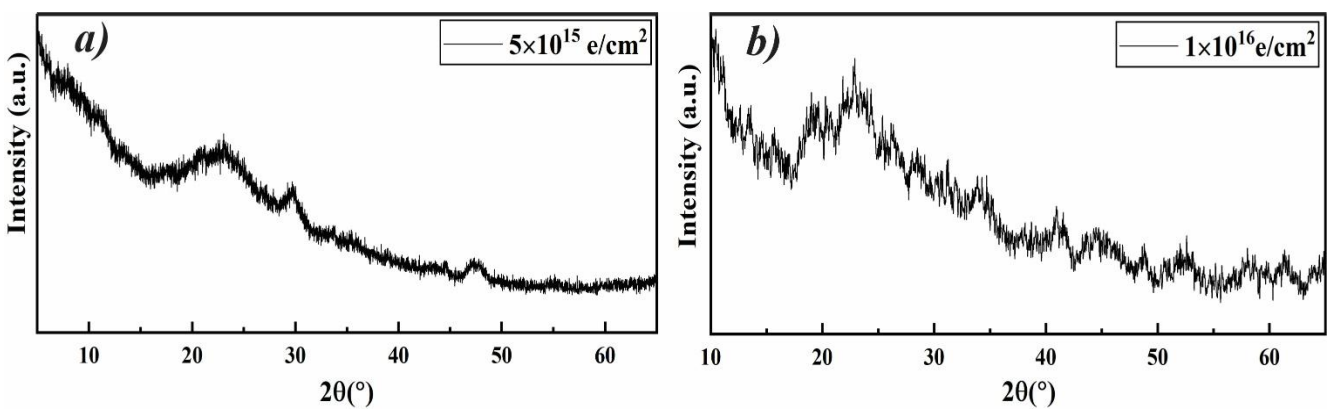


Figure 1. X-ray diffraction patterns of Si_3N_4 nanopowder irradiated with electrons at fluences of 5×10^{15} e/cm^2 (***a***) and 1×10^{16} e/cm^2 (***b***).

Comparison of the two irradiation conditions shows that the structural response of Si_3N_4 nanopowder is not simply proportional to the increase in electron fluence. The lattice parameters of the α- and β-phases change differently with increasing fluence, suggesting that the two crystalline phases respond differently to electron irradiation. The more pronounced changes observed for the α-phase indicate that its crystal lattice is more strongly affected under the investigated irradiation conditions.

Despite these changes, the diffraction analysis confirms that both α-Si_3N_4 and β-Si_3N_4 phases are preserved at electron fluences of 5×10^{15} and 1×10^{16} e/cm^2. Therefore, the applied electron irradiation modifies the crystal lattice of Si_3N_4 nanopowder and causes structural rearrangement, but does not lead to complete destruction of its crystalline biphasic structure within the studied fluence range. The XRD results

demonstrate that increasing the electron fluence produces measurable changes in the crystal structure, while the main phase composition of the material remains preserved [3].

References

1. Tashmetov M. Y and Buriev M.M. Structural and vibrational characterization of Si_3N_4 nanopowders under electron beam irradiation. J. Phys.: Condens. Matter 38 (2026) 125702.

2. Ping Yang, Hoong-Kun Fun, lsmail Ab. Rahman and Mohd. Idiris Saleh. Two phase refinements of the structures of α-Si_3N_4 and β-Si_3N_4 made from rice husk by Rietveld analysis. Ceramics International 21 (1995) 137-142.

3. Sokovnin S. Yu, Il'ves V G, Uimin M. A. Effect of annealing in different media and pulse electron beam irradiation on the properties of calcium fluoride nanopowder Ceramics International 50 (2024) 15790-15805

ASETILEN IZOTOPOLOGLARI VA UNING UCHMETILAMIN BILAN VODOROD BOG'LANISHLI KOMPLEKSLARIDA ν(AH) VA ν(AD) TEBRANISH POLOSALARINING TADQIQI

G. Murodov[1], U. Xo'jamov[1], G. Nurmurodova[1], M. Xudoyberdiyeva[1].
[1]Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti, Optika va spektroskopiya kafedrasi,
Universitet Blvd. 15, 140104, Samarqand, O'zbekiston
e – mail: (otkirxojamov@gmail.com)

Annotatsiya. Ushbu ishda asetilenning C_2H_2, C_2D_2 va C_2DH izotopologlari hamda ularning uchmetilamin ($N(CH_3)_3$) bilan hosil qilgan kuchsiz C–H···N vodorod bog'li 1:1 komplekslarining tebranish spektrlari eksperimental va nazariy jihatdan tadqiq qilindi. Asetilen izotopologlari va uchmetilaminning suyultirilgan aralashmalari suyuq kripton (LKr) muhitida 120–160 K harorat oralig'ida o'rganildi. IQ yutilish spektrlari Bruker IFS-125 HR vakuumli Furye-transformatsion spektrometri yordamida qayd etildi. Eksperimental natijalarni izohlash maqsadida garmonik va anharmonik yaqinlashuvlarda kvant-kimyoviy hisoblashlar bajarildi. H→D izotopik almashinishining ν(CH) va ν(CD) tebranish chastotalari, qizil siljishlari, polosalar intensivligi hamda yarim kengligiga ta'siri aniqlandi. Natijalar izotop effekti faqat massa o'zgarishi bilan emas, balki C–H(D) bog'ining kuch konstantasi va dipol momentining normal koordinata bo'yicha hosilasidagi o'zgarishlar bilan ham bog'liqligini ko'rsatdi.

Kalit so'zlar: asetilen izotopologlari, vodorod bog'i, C–H···N, H→D izotopik almashinish, IQ spektroskopiya, suyuq kripton, anharmonik tebranishlar, uchmetilamin, qizil siljish.

Kirish

A–H···B turidagi vodorod bog'li komplekslarda H→D izotopik almashinish molekulyar tebranishlarning nozik mexanizmlarini aniqlashda muhim ahamiyatga ega [1]. Izotopik almashinish natijasida tebranish chastotasining o'zgarishi, odatda, yadrolar massasining o'zgarishi bilan izohlanadi. Biroq kuchsiz vodorod bog'larida izotop effektining namoyon bo'lishi faqat massa effekti bilan chegaralanmaydi. Xususan, tebranishning kuch konstantasi va dipol momentining normal koordinata bo'yicha hosilasi kabi kvant-mexanik parametrlarning izotopik almashinishga qo'shadigan hissasi yetarlicha o'rganilmagan [2].

Shu nuqtai nazardan, asetilen izotopologlari C_2H_2, C_2D_2, C_2DH va C_2HD molekulalarining uchmetilamin bilan hosil qilgan C–H(D)···N vodorod bog'li komplekslari izotop effektlarini o'rganish uchun qulay model tizim hisoblanadi. Mazkur ishning asosiy maqsadi asetilen izotopologlarida H→D

almashinishining ν(CH) va ν(CD) valent tebranishlariga, ularning qizil siljishiga, IQ yutilish intensivligiga va polosalar yarim kengligiga ta’sirini kompleks hosil bo‘lishi bilan bog‘liq holda aniqlashdan iborat.

Tadqiqot usuli

C_2H_2, C_2D_2 va C_2DH izotopologlari hamda $N(CH_3)_3$ aralashmalari suyuq kripton muhitida umumiy konsentratsiyasi $(0,8–4)\cdot10^{-3}$ mol/L bo‘lgan sharoitda tayyorlandi. IQ yutilish spektrlari 120–160 K harorat oralig‘ida Bruker IFS-125 HR vakuumli Furye-transformatsion spektrometri yordamida qayd qilindi. ν(CH) va ν(CD) valent tebranishlariga tegishli murakkab spektral sohalarni tahlil qilish uchun dekonvolyutsiya usulidan foydalanildi. Natijada monomerlar va vodorod bog‘li komplekslarga tegishli spektral komponentlar ajratib olindi.

Nazariy hisoblashlar Gaussian 16W dasturida garmonik va anharmonik yaqinlashuvlarda bajarildi. Solvatatsion muhitning ta’sirini hisobga olish uchun kripton atomlari bevosita modellashtirildi. Komplekslarning bog‘lanish energiyalari bazis to‘plamlarining bir-birini qoplash xatosiga (BSSE) tuzatish kiritilgan holda MP2 usuli bilan aniqlandi.

Natijalar va muhokama

Eksperimental natijalar tadqiq qilingan sharoitlarda asosan 1:1 tarkibli $C_2H_2\cdots N(CH_3)_3$ komplekslari hosil bo‘lishini ko‘rsatdi. Erkin C_2H_2 molekulasining ν(CH) valent tebranishi Fermi rezonansi tufayli 3273 cm^{-1} (νL) va 3288 cm^{-1} (νH) komponentlardan tashkil topgan dublet ko‘rinishida kuzatildi. Kompleks hosil bo‘lganda Fermi rezonansi yo‘qolib, ν_3 tebranishi 3277 cm^{-1} atrofida kuzatildi. Shu bilan birga, $C_2H_2\cdots N(CH_3)_3$ kompleksida 3142 cm^{-1} sohada kuchli qizil siljigan va sezilarli darajada kengaygan ν(CH) polosasi hosil bo‘ldi.

C_2D_2 molekulasining ν(CD) valent tebranishi LKr muhitida 2431 cm^{-1} da, yarim kengligi 14 cm^{-1} bo‘lgan yagona polosadan iborat bo‘ldi. $C_2D_2\cdots N(CH_3)_3$ kompleksida ushbu polosa 2374 cm^{-1} gacha siljidi. C_2DH molekulasida ν(CH) va ν(CD) tebranishlari mos ravishda 3327 va 2576 cm^{-1} da kuzatildi. Kompleks hosil bo‘lganda ν(CH) chastotasi 3170 cm^{-1} gacha, ya’ni 157 cm^{-1} ga qizil siljidi. Uning yarim kengligi 12 cm^{-1} dan 56 cm^{-1} gacha ortib, deyarli to‘rt barobar kengaydi. $C_2HD\cdots N(CH_3)_3$ kompleksida esa ν(CD) tebranishining qizil siljishi 90 cm^{-1} ni tashkil etdi va polosaning yarim kengligi 15 cm^{-1} dan 26 cm^{-1} gacha ortdi.

Olingan natijalarga ko‘ra ν(CH) va ν(CD) chastotalarining qizil siljishi quyidagi tartibda kamayadi:

$$C_2DH\cdots N(CH_3)_3 > C_2H_2\cdots N(CH_3)_3 > C_2HD\cdots N(CH_3)_3 > C_2D_2\cdots N(CH_3)_3.$$

Qizil siljishning musbat qiymati C–H(D) bog‘ining kompleks hosil bo‘lishi natijasida zaiflashganini ko‘rsatadi. Bunda vodorod bog‘i hosil bo‘lishi bilan C–H(D) bog‘ining qutblanishi ortadi va natijada IQ yutilish polosasi intensivligi sezilarli ravishda kuchayadi.

Ayniqsa, polosalar yarim kengligining izotopologlarga bog‘liq holda turlicha o‘zgarishi muhim natija hisoblanadi. Erkin asetilen izotopologlarida ν(CH) va ν(CD) polosalarining yarim kengligi 12–14 cm^{-1} atrofida bo‘lib, izotopik tarkibga deyarli bog‘liq emas. Biroq kompleks hosil bo‘lganda $C_2H_2\cdots N(CH_3)_3$ va $C_2DH\cdots N(CH_3)_3$ komplekslarida yarim kenglik mos ravishda 13→57 cm^{-1} va 12→56 cm^{-1} gacha keskin ortdi. $C_2D_2\cdots N(CH_3)_3$ va $C_2HD\cdots N(CH_3)_3$ komplekslarida esa bu o‘zgarish nisbatan kichik bo‘lib, mos ravishda 14→16 cm^{-1} va 15→26 cm^{-1} ni tashkil etdi.

Ushbu farqni faqat massa effekti orqali tushuntirib bo‘lmaydi. Anharmonik hisoblashlar $C_2H_2\cdots N(CH_3)_3$ va $C_2DH\cdots N(CH_3)_3$ komplekslarining ν_3 polosasiga yaqin sohada oberton va yig‘indi chastotalar mavjudligini ko‘rsatdi. Ularning asosiy ν_3 tebranishi bilan o‘zaro ta’siri eksperimental spektrda polosalar kengayishi va murakkab shaklning yuzaga kelishiga sabab bo‘lishi mumkin.

Xulosa

Shunday qilib, asetilen izotopologlari va uchmetilaminning LKr muhitidagi C–H(D)···N vodorod bog‘li komplekslari uchun olingan natijalar H→D izotopik almashinishining tebranish spektrlariga murakkab ta’sir ko‘rsatishini tasdiqladi. Izotop effekti ν(CH) va ν(CD) chastotalarining qizil siljishi, IQ yutilish intensivligi hamda spektral polosalar kengligida yaqqol namoyon bo‘ladi. Ayniqsa, $C_2DH\cdots N(CH_3)_3$ kompleksida kuzatilgan 157 cm^{-1} qizil siljish va polosa yarim kengligining qariyb to‘rt barobar ortishi C–H tebranishining vodorod bog‘iga juda sezgir ekanligini ko‘rsatadi.

Adabiyotlar

1. Murodov, G., Doroshenko, I., Hushvaktov, H., Khujamov, U., & Nurmurodova, G. (2026). Hydrogen Bonding in CD3Hal··· HCl Complexes: IR Spectroscopy and MP2 Calculations. Ukrainian Journal of Physics, 71(3), 210-210. https://doi.org/10.15407/ujpe71.3.210
2. Murodov, G., Doroshenko, I., Hushvaktov, H., Sharifov, G., Khujamov, U., & Nurmurodova, G. (2026). Isotope effects on hydrogen bonding in acetylene··· trimethylamine complexes isolated in liquid krypton: IR and MP2 study. Low Temperature Physics, 52(8), 987-994. https://doi.org/10.1063/10.0044484

OKSIDLANGAN VANADIY TERMOEMITTERIDA KORTIZON MOLEKULASINING SIRTIY IONLANISH XUSUSIYATLARI

O.I. Boliyev[1], G.Sh. Isayeva[2], Sh.M. Axmedov[1],
Sh.Dj. Axunov[1], D.T. Usmanov[1]
[1]O‘zR FA U.A.Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti,
Toshkent, O‘zbekiston,
[2]Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, *e-mail: orifjonboliyev95@gmail.com*

Organik molekulalarning qizdirilgan metall sirtlarida sirt ionlanishi ularning elektron tuzilishi, sirtning kimyoviy holati va termoemission xususiyatlari bilan chambarchas bog‘liq bo‘lgan murakkab fizik-kimyoviy jarayondir. Ayniqsa, metall sirtining oksidlanishi uning chiqish ish , adsorbsion xususiyatlari va molekula–sirt elektron almashinuvi sharoitlarini sezilarli darajada o‘zgartirishi mumkin. Shu sababli oksidlangan termoemitterlardan foydalanish organik birikmalarning ionlanishi va termik fragmentatsiyasini boshqarishning istiqbolli usullaridan biri hisoblanadi. Ushbu ishda kortizon molekulasining oksidlangan vanadiy termoemitteri sirtidagi sirt ionlanish xususiyatlari mass-spektrometriya usulda tadqiq qilindi.

Tadqiqotlar modifikatsiyalangan MI-1201B statik magnit mass-spektrometrida musbat ionlar rejimida amalga oshirildi[1,2]. Tajribalarda 99,8 % tozalikdagi, diametri 0,25 mm va uzunligi 16 mm bo‘lgan vanadiy simi termoemitter sifatida ishlatildi. Emitterning harorati VIMP-015M optik pirometri yordamida nazorat qilindi. Kortizonning molekulyar oqimi kvarts Knudsen yacheykasi yordamida hosil qilindi. Namuna xromatografik toza kortizondan tayyorlanib, analitik toza etanolda eritildi va Knudsen yacheykasiga kiritildi. Molekulyar oqim hosil qilish jarayonida yacheyka harorati nazorat qilindi.Vanadiy emitteri tajribalardan oldin yuqori vakuum sharoitida qisqa muddatli termik aktivatsiyadan o‘tkazildi. Bunda emitter harorati silliq ravishda taxminan 1600 K gacha oshirilib, ushlab turish bosqichisiz sekin pasaytirildi. Mazkur ishlov sirtga adsorbsiyalangan gazlar va uchuvchan aralashmalarni desorbsiyalash hamda emitterning boshlang‘ich termoemission holatini barqarorlashtirish uchun qo‘llanildi. Oksidlangan vanadiy sirtini hosil qilish uchun emitter atmosfera havosida qizdirildi.

Metall va oksidlangan vanadiy termoemitterlarida olingan SI mass-spektrlarning dastlabki qiyosiy tahlili emitter sirtining kimyoviy holati kortizonning ionlanish va fragmentatsiya jarayonlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatishini ko‘rsatdi. Oksidlangan vanadiy sirtida kortizonga tegishli molekulyar va fragment ionlar keng massa diapazonida qayd etildi. Spektrda m/z 360 va 361 sohalaridagi molekulyar ionlarga mos

signallar bilan bir qatorda m/z 248 ionining yuqori intensivligi kuzatildi. Shuningdek, yuqori, o'rta va quyi massali fragment ionlarining mavjudligi kortizonning oksidlangan sirt bilan o'zaro ta'siri jarayonida turli fragmentatsiya kanallari yuzaga kelishini ko'rsatdi.

Olingan dastlabki natijalar vanadiy sirtining oksidlanishi kortizonning sirtiy ionlanish xususiyatlarini sezilarli darajada o'zgartirishini ko'rsatadi. Ayniqsa, oksidlangan vanadiy sirtida molekulyar ionlarning saqlanib qolishi bilan bir qatorda intensiv fragment ionlarining hosil bo'lishi sirtning elektron-kimyoviy holati ion hosil bo'lish va fragmentatsiya kanallarini shakllantirishda muhim rol o'ynashini ko'rsatadi. Mazkur ishning muhim jihati shundaki, vanadiyning oksidlangan sirtidan termoemitter sifatida foydalanib, kortizon molekulasining sirt ionlanishi ilk bor tadqiq qilinmoqda. Bu natijalar oksidlangan vanadiy sirtlarining organik molekulalar SI-MS tadqiqotlaridagi imkoniyatlarini baholash uchun yangi eksperimental asos yaratadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Rasulev UK, Khasanov U, Islamov TK, et al. Z Zagadnien Nauk Sadowych 2000; 43: 231-236.
2. Akhunov SD, Kasimov BS, Ashurov KB, Usmanov DT. Journal of Analytical Chemistry 2021 Dec; 76.13: 1499-504.

Correlation of Interaction Energy with ρ(BCP) Density and V_{max} in the $S(CH_3)_2\cdots CH_4$ $CH_3SSCH_3\cdots CH_4$ complexes

G'.Sharifov, A.Amonov, E.Bahrinov
Department of Optics and Spectroscopy, Engineering Physics Institute, Samarkand State University, University boulevard 15, 140104 Samarkand, Uzbekistan
e-mail: akhtamul@gmail.com

In this study, molecular complexes formed between CH_4 and dimethyl sulfide (DMS, $S(CH_3)_2$), dimethyl disulfide (DMDS, CH_3SSCH_3) were investigated. The correlation plots show that the interaction energy of the DMS···CH_4 complex is closely related to both topological and electrostatic descriptors. For the DMS series, the BCP electron density exhibits a strong correlation with the interaction energy (R^2=0.9692), indicating that electron density accumulation at the bond critical point is a reliable marker of weak intermolecular bond formation.

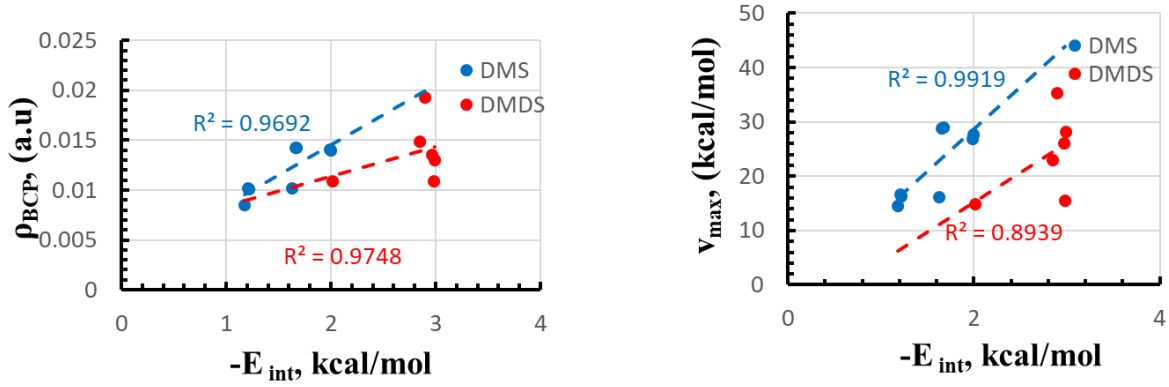


Figure1. Linear relationships between interaction energy and (a) BCP electron density and (b) V_{max} for DMS and DMDS complexes with methane.

A still stronger correlation is obtained for V_{max} (R^2=0.9919). This result suggests that the positive electrostatic potential maximum is highly sensitive to the strength of the weak C-H···S and C···H contacts stabilizing the DMS···CH4 complex. As the magnitude of the interaction energy increases, both ρ(BCP) and V_{max} increase, confirming that the energetic stabilization is reflected in measurable changes in the electron-density topology and electrostatic potential surface. Overall, the DMS···CH_4 complex can be described as a weak, dispersion-dominated molecular complex in which C-H···S and C···H bonds are supported by consistent topological and electrostatic indicators. Among the two examined descriptors, V_{max} provides the best linear prediction of the interaction energy for DMS···CH_4 and can therefore be considered a practical spectroscopic and computational marker for comparing related weakly bound complexes. Higher-order SAPT calculations (SAPT2 and SAPT3) confirmed that dispersion dominates the attractive interactions in both complexes and their conformers.

POLIPROPILEN VA MODIFIKATSIYALANGAN $CaCO_3$ ASOSIDAGI KOMPOZIT MATERIALLAR

Qodirbek Berdinazarov[1], Nurbek Normuradov[1], Elshod Haqberdiyev[1], Nigmat Ashurov[1]
Polimerlar kimyosi va fizikasi institute
Ma'ruza nomi va yo'nalishi: 2-sho'ba. Kondensirlangan muhitlar fizikasining dolzarb muammolari
E-mail: qodirberdinazarov@gmail.com

Polimer kompozit materiallar zamonaviy sanoatda talab etiladigan fizik-mexanik xususiyatlarni ta'minlash uchun keng qo'llaniladi. Ularning xossalari polimer matritsaning tabiatiga, to'ldiruvchining turi va miqdoriga, zarrachalarning o'lchami hamda sirt xususiyatlariga bog'liq. Polipropilen (PP) yengilligi, kimyoviy barqarorligi, nisbatan yuqori mustahkamligi va termoplastik usullar bilan qayta ishlash qulayligi sababli kompozitlar uchun muhim matritsa hisoblanadi. Biroq ayrim qo'llanishlarda uning qattiqligi, elastiklik moduli va deformatsiyalanish xususiyatlarini boshqarish talab etiladi. Shu maqsadda PP tarkibiga mineral to'ldiruvchilar, nukleatorlar, stabilizatorlar va moslashtiruvchi qo'shimchalar kiritiladi.

Kalsiy karbonat ($CaCO_3$) polipropilen uchun keng tarqalgan mineral to'ldiruvchilardan biridir. U kompozit tarkibida qattiq dispers faza vazifasini bajaradi va to'ldiruvchi miqdori oshganda materialning elastiklik modulini ko'tarishi mumkin. Shu bilan birga, $CaCO_3$ miqdori ortishi polimer matritsasining uzluksiz faza sifatidagi ulushini kamaytiradi. Natijada deformatsiyalanish qobiliyati pasayishi, mexanik xossalar esa tarkibga qarab o'zgarishi mumkin. Shuning uchun kompozit tarkibini tanlashda faqat qattiqlikni oshirish emas, balki mustahkamlik va deformatsiya o'rtasidagi maqbul muvozanatga erishish ham muhimdir.

Ushbu ishda PP JM-380 asosidagi $CaCO_3$ bilan to'ldirilgan kompozitlar hamda malein angidrid bilan modifikatsiyalangan polipropilen (PP-g-MA) ishtirokidagi tizimlar ko'rib chiqilgan. Tarkiblarda β-nukleator va Irganox 1010 stabilizatori ham qo'llanilgan. $CaCO_3$ miqdori 5 dan 50 mass.% gacha o'zgartirilgan. Bunday tarkiblar to'ldiruvchi ulushining mexanik ko'rsatkichlarga ta'sirini solishtirish, shuningdek PP-g-MA qo'shilishining natijalarini baholash imkonini beradi.

β-nukleator polipropilenning kristallanish jarayoniga ta'sir ko'rsatish uchun qo'llanadi, Irganox 1010 esa polimer materialni qayta ishlash jarayonida termooksidlanish ta'siridan himoyalashga mo'ljallangan stabilizator sifatida kiritilgan. Ushbu qo'shimchalar kompozitsiyaning asosiy to'ldiruvchisi bo'lmasa-da, qayta ishlash sharoitida materialning barqarorligi va struktura shakllanishiga ta'sir qilishi mumkin. Shuning uchun kompozit tarkibini baholashda mineral faza bilan bir qatorda qo'shimchalarning mavjudligini ham hisobga olish lozim.

Sinov natijalarida $CaCO_3$ miqdorining oshishi bilan PP/$CaCO_3$ kompozitlarining elastiklik moduli umumiy ravishda ortgani kuzatilgan. 5 mass.% $CaCO_3$ saqlagan namunada elastiklik moduli 575±32 MPa

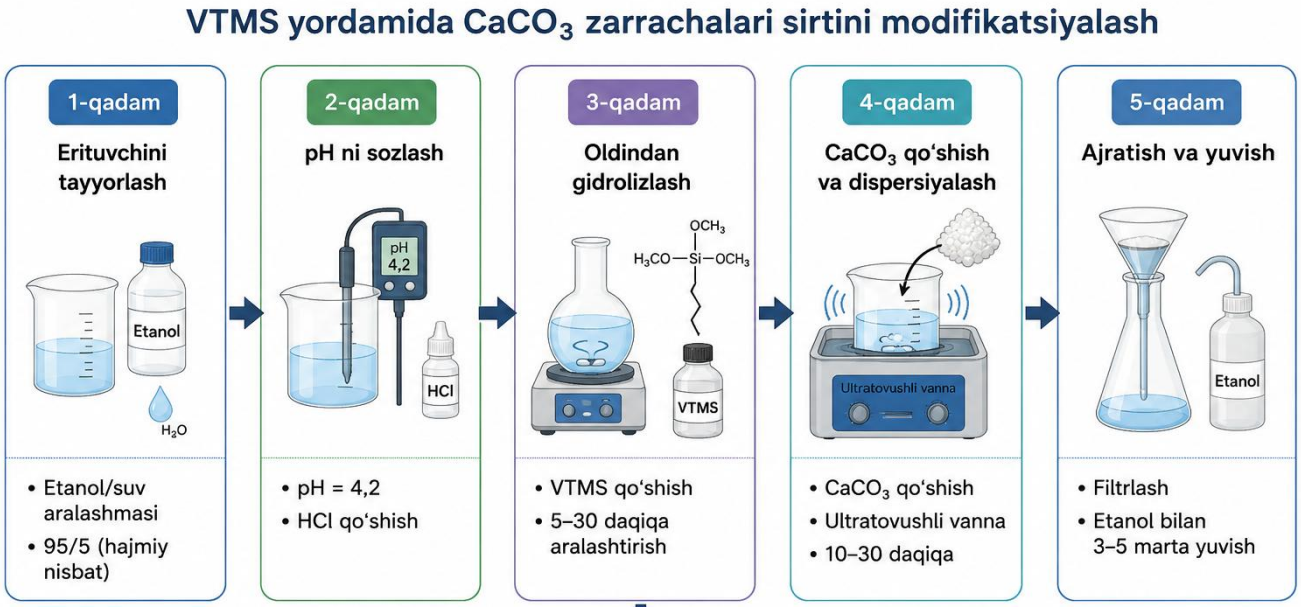
bo‘lgan. To‘ldiruvchi miqdori 10 va 15% bo‘lganda bu ko‘rsatkich mos ravishda 710±70 va 708±40 MPa ni tashkil qilgan. 20% $CaCO_3$ tarkibida elastiklik moduli 797±60 MPa ga, 30% da 863±81 MPa ga, 40% da 936±86 MPa ga yetgan. 50% $CaCO_3$ li namunada esa 1108±55 MPa qayd etilgan. Bu natijalar $CaCO_3$ ning qattiq mineral faza sifatida kompozitning elastik deformatsiyaga qarshiligini oshirishini ko‘rsatadi.

Elastiklik modulidagi o‘sish bilan birga, uzilishdagi deformatsiya qiymatlari kamaygan. 5% $CaCO_3$ li namunada deformatsiya 22±4% bo‘lgan bo‘lsa, 10% li tarkibda 13±4%, 15% da 12±4% va 20% da 7±1% ni tashkil qilgan. $CaCO_3$ miqdori 30% ga yetganda deformatsiya 5,2±0%, 40% da 3,6±0,2%, 50% da esa 3±0,1% bo‘lgan. Demak, yuqori to‘ldiruvchi miqdori kompozitni qattiqlashtiradi, lekin uning plastik deformatsiyalanish imkoniyatini cheklaydi. Shu sababli amaliy foydalanish uchun tarkib tanlashda kutilayotgan yuklanish turi va kerakli deformatsion xususiyatlar hisobga olinishi kerak.

PP-g-MA qo‘shilgan tizimlarda ham mexanik ko‘rsatkichlar tarkibga bog‘liq bo‘lgan. $CaCO_3$ miqdori 5% bo‘lgan kompozitda elastiklik moduli 638±70 MPa, 20% da 817±22 MPa, 30% da 887±58 MPa va 40% da 996±67 MPa ni tashkil qilgan. 50% to‘ldiruvchi bo‘lgan namunada esa 960±58 MPa qiymat olingan. Ushbu natijalar elastiklik moduli faqat to‘ldiruvchi miqdori bilan emas, balki kompozitsiyaning umumiy tarkibi va komponentlar o‘rtasidagi o‘zaro ta’sir bilan ham bog‘liq bo‘lishini ko‘rsatadi. PP-g-MA dan foydalanish polimer va mineral fazalar orasidagi moslashuvni yaxshilashga qaratilgan yondashuv sifatida qaraladi.

PP-g-MA ishtirokidagi kompozitlarda mustahkamlik qiymatlari ko‘p tarkiblarda taxminan 20–22 MPa oralig‘ida bo‘lgan. Masalan, 5% $CaCO_3$ saqlagan namunaning mustahkamligi 21,3±1 MPa, 15% li tarkibda 22,3±0,9 MPa, 20% li tarkibda 22,2±0,4 MPa va 40% li tarkibda 22±0,7 MPa ni tashkil qilgan. Bu ko‘rsatkichlar PP-g-MA qatnashgan kompozitsiyalarda ayrim tarkiblar mustahkamlikni saqlash yoki oshirish imkonini berishini ko‘rsatadi. Biroq to‘ldiruvchi miqdori juda yuqori bo‘lganda deformatsiya baribir past bo‘lib qoladi, shuning uchun barcha mexanik ko‘rsatkichlarni birgalikda tahlil qilish zarur.

Kompozit xossalarini boshqarishning yana bir yo‘li $CaCO_3$ zarrachalari sirtini kimyoviy modifikatsiya qilishdir. Taqdimotda viniltrimetoksisilan yordamida $CaCO_3$ sirtini modifikatsiya qilish yondashuvi ko‘rsatilgan. Sirtga ishlov berishdan ko‘zlangan maqsad mineral zarrachalar va polipropilen matritsasi o‘rtasidagi fazalararo o‘zaro ta’sirni kuchaytirishdir. Chunki mineral to‘ldiruvchi va polimerning sirt xususiyatlari bir-biridan farq qilishi mumkin; sirt modifikatsiyasi esa ularning birgalikda ishlashini yaxshilashga qaratiladi. Modifikatsiyalash sxemasi 1-rasmda keltirilgan.



1-rasm. $CaCO_3$ sirtini viniltrimetoksisilan bilan modifikatsiya qilish sxemasi.

Modifikatsiyalangan $CaCO_3$ asosidagi namunalar natijalari sirt ishlovining kompozit xossalariga ta’sir qilishi mumkinligini ko‘rsatadi. PP/aragonit 70/30 tarkibli kompozitda elastiklik moduli 937±89 MPa, mustahkamlik 19±0,4 MPa va deformatsiya 7±2% bo‘lgan. Aragonit sirtiga silan bilan ishlov berilganda PP/aragonit+silane 70/30 tarkibida elastiklik moduli 781±96 MPa, mustahkamlik 20,4±0,7 MPa va deformatsiya 19±8% ni tashkil qilgan. Ushbu ma’lumotlarda modifikatsiyadan so‘ng mustahkamlik biroz ortgani, deformatsiya esa yuqoriroq qiymatga yetgani ko‘rinadi. Shu bilan birga, elastiklik moduli dastlabki PP/aragonit tarkibiga nisbatan pastroq bo‘lgan.

PP-g-MA va silan bilan modifikatsiyalangan aragonit birgalikda ishlatilgan PP/PP-g-MA/aragonit+silane 60/10/30 kompozitida elastiklik moduli 927±37 MPa, mustahkamlik 28,2±0,3 MPa va deformatsiya 10±0,6% bo‘lgan. Mazkur tarkibda mustahkamlik ko‘rsatkichi taqdimotda keltirilgan modifikatsiyalangan aragonitli namunalar orasida yuqori qiymatni tashkil qiladi. Bu natija polimer matritsasiga moslashtiruvchi komponent kiritish va mineral to‘ldiruvchi sirtini modifikatsiya qilishni birgalikda qo‘llash mexanik xossalarni yaxshilash uchun istiqbolli yondashuv ekanini ko‘rsatadi.

Natijalarni umumlashtirib aytganda, PP/$CaCO_3$ kompozitlarining mexanik xossalari mineral to‘ldiruvchining miqdori va sirt holatiga, shuningdek PP-g-MA kabi moslashtiruvchi qo‘shimchalar mavjudligiga bog‘liq. $CaCO_3$ ulushining oshishi elastiklik modulini oshiradi, ammo uzilishdagi deformatsiyani kamaytiradi. Silan bilan sirt modifikatsiyasi va PP-g-MA dan foydalanish esa mustahkamlik hamda deformatsion xossalarni boshqarish uchun qo‘shimcha imkoniyat yaratadi. Shuning uchun kompozit tarkibi maqsadli foydalanish sharoitiga qarab tanlanishi lozim: yuqori qattiqlik talab qilinganda to‘ldiruvchi miqdori, mustahkamlik va deformatsiya muhim bo‘lganda esa fazalararo moslashuv va sirt modifikatsiyasi alohida e’tiborga olinadi.

III SHO‘BA. ENERGIYA VA RESURSLARNI TEJOVCHI INNOVATSION TEXNOLOGIYALARNI RIVOJLANTIRISH

BIMETAL TERMOAVTOMATIKA: ATMOSFERADAN SUV YIG‘ISH TIZIMIDA ENERGIYASIZ IKKI BOSQICHLI KUNLIK TSIKL NAZARIYASI

Xolmirzayev Oybek To‘ramirzayevich
Turon xalqaro universiteti, Biznes boshqaruvi fakulteti, Biznes boshqaruvi kafedrasi dotsenti (PhD)
Jalalov Ravshanbek Maxmudxanovich
Namangan davlat universiteti, Fizika-matematika fakulteti, Fizika kafedrasi dotsenti, Namangan,
Sultonov Bobur Qobuljon o‘g‘li
Namangan davlat texnika universiteti, Energetika fakulteti, Fizika kafedrasi katta o‘qituvchisi
E-mail: oybekjon88@inbox.ru

ANNOTATSIYA

Ushbu tezisda bimetal termoavtomatika aktuatorining atmosferadan suv yig‘ish (AWH) tizimida qo‘llanilishi nazariy jihatdan tahlil qilinadi. Po‘lat-mis bimetal plastinka (L = 150 mm, h = 1,5 mm) uchun Timoshenko formulasi asosida 28–30°C haroratda egilish δ = 4,16–5,50 mm ekanligi isbotlangan. Bu ko‘rsatkich PE plyonka qopqog‘ini elektr energiyasisiz boshqarish imkonini beradi. Orol dengizi mintaqasida tizim yil bo‘yi avtonomli ishlaydi.

Kalit so‘zlar: bimetal termoavtomatika; Timoshenko formulasi; energiyasiz avtomatlashtirish; AWH; Orol dengizi.

KIRISH

Atmosferadan suv yig‘ish (AWH) tizimlari quruq iqlimli hududlarda, xususan Orol dengizi havzasida suv tanqisligini bartaraf etishning istiqbolli yo‘li hisoblanadi [1]. Kechasi membrana suv yig‘sa, kunduz uni qayta tiklab, keyingi tsiklga tayyorlashi zarur. Bu jarayonni boshqarish uchun odatda elektr mexanizmlari ishlatiladi — bu esa qishloq hududlarida muammo tug‘diradi [2]. Bimetal termoavtomatika bu muammoga to‘liq energiyasiz yechim taklif etadi [3].

Bimetal aktuator — issiqlik kengayish koeffitsientlari (α) turlicha bo‘lgan ikkita metall qatlamining bog‘lanmasi — harorat o‘zgarishiga mexanik javob beradi va elektr energiyasi yoki boshqaruv tizimi talab etmasdan tizimning kecha/kunduz rejimlarini avtomatik almashtiradi [4].

NAZARIY ASOS

Bimetal plastinkaning egilishi Timoshenko (1925) [5] tomonidan keltirilgan klassik formula bilan ifodalanadi:

$$\delta = (3(\alpha_1 - \alpha_2)(1+m)^2 \times L^2 \times \Delta T) / (h \times (3(1+m)^2 + (1+mn)(m^2 + 1/mn))) \quad (1)$$

bu yerda: α_1, α_2 — metallarning issiqlik kengayish koeffitsientlari (K^{-1}); L — plastinka uzunligi (m); h — umumiy qalinlik (m); $m = t_1/t_2$ — qalinliklar nisbati; $n = E_1/E_2$ — elastiklik modullari nisbati; ΔT — harorat o‘zgarishi (K).

Po‘lat-mis juftligi uchun xossalar [6]: $\alpha_1 = 12 \times 10^{-6}$ K^{-1} (po‘lat), $\alpha_2 = 17 \times 10^{-6}$ K^{-1} (mis), E_1 = 200 GPa, E2 = 110 GPa, n = 1,818, m = 1 (teng qalinlik). L = 150 mm, h = 1,5 mm uchun hisob:

$$\delta = (3 \times 5\times10^{-6} \times 4 \times 0{,}15^2 \times \Delta T) / (0{,}0015 \times 16{,}368) = 0{,}550 \times \Delta T \quad (mm/K) \quad (2)$$

Demak har 1 K harorat o‘zgarishida plastinka 0,550 mm egiladi. 28–30°C da (ΔT = 8–10 K asosiy haroratdan):

$$\delta(28°C) = 0{,}550 \times 8 = 4{,}40 \text{ mm} \quad \delta(30°C) = 0{,}550 \times 10 = 5{,}50 \text{ mm} \quad (3)$$

Minimal talab δ_min = 4,0 mm. (3) tenglamadan: 28°C da δ = 4,40 mm > 4,0 mm . Tizim 28°C da ishonchli faollashadi.

1-jadval. Turli bimetal juftliklar uchun egilish taqqoslashi (L=150mm, h=1.5mm, ΔT=10K)

Metal juftligi	$\Delta\alpha$ ($\times 10^{-6}$ K^{-1})	δ (mm)	Narxi	Baho
Po‘lat + Mis ☆	5,0	5,50	Arzon	Optimal ✓
Po‘lat + Alyuminiy	11,0	12,1	Arzon	Yaxshi
Invar + Mis	15,5	17,0	Qimmat	Ortiqcha

OROL DENGIZI MINTAQASIGA MOSLIGI

WeatherAPI.com ma‘lumotlariga ko‘ra [7] Orol dengizi mintaqasida (45°N, 59°E) yillik barcha mavsumda tungi harorat 28°C dan past bo‘ladi (qish: −12...−5°C; bahor: 8...18°C; yoz: 20...25°C; kuz: 6...15°C). Demak bimetal qopqoq kechasi doimo ochiq — membrana yil bo‘yi suv yig‘ish rejimida ishlaydi.

Kunduz harorat 30°C dan oshishi bilan (yozda ~180 kun) qopqoq avtomatik yopiladi va regeneratsiya bosqichi boshlanadi. Tizim to‘liq avtonomli: elektr komponenti, dvigatel yoki boshqaruv elektronikasi talab etilmaydi.

XULOSA

1. Timoshenko formulasi asosida po‘lat-mis plastinka (L=150 mm, h=1,5 mm) 28°C da δ = 4,40 mm egiladi — PE plyonka boshqarish uchun yetarli (δ_{min} = 4,0 mm).
2. Po‘lat-mis juftligi optimal: arzon, keng mavjud, $\Delta\alpha = 5\times10^{-6}$ K^{-1}, korroziyaga chidamli.
3. Orol dengizi mintaqasida tizim yil bo‘yi avtonomli ishlaydi: kechasi yig‘ish, kunduz regeneratsiya.
4. Energiyasiz ishlash qishloq hududlar uchun muhim afzallik.

ADABIYOTLAR

1. Micklin P. The Aral Sea disaster // Annu. Rev. Earth Planet. Sci. — 2007. — Vol. 35. — P. 47–72.
2. Zhou M. et al. Accelerating vapor collection with polymer-based radiative coolers // Adv. Mater. — 2021. — Vol. 33. — Art. 2100025.
3. Jungen A. et al. Bimetallic microactuators for passive thermal control // J. Micromech. Microeng. — 2009. — Vol. 19. — Art. 085006.
4. Roberts W.H. Bimetallic thermostats: design and applications // Engineering. — 1956. — Vol. 182. — P. 248–251.
5. Timoshenko S. Analysis of bi-metal thermostats // J. Opt. Soc. Am. — 1925. — Vol. 11. — P. 233–255.
6. ASM International. Materials Properties Database. — 2024. https://www.asminternational.org
7. WeatherAPI.com historical climate data. Aral region (45.0°N, 59.0°E), 2009–2025. https://www.weatherapi.com

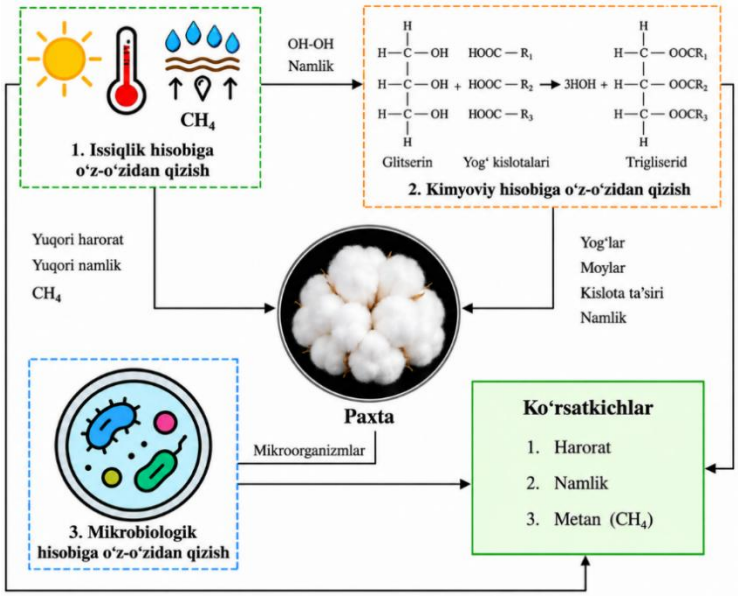
G‘ARAMLARDA PAXTANI O‘Z-O‘ZIDAN YONISHNI ERTA BASHORAT QILISH UChUN SIMSIZ SENSOR TARMOG‘I (WSN)

Daliev Xojakbar, Kuldashov G‘olibjon
Toshkent shahridagi “MEI” Milliy tadqiqot universiteti

Jahon miqyosida paxta tolasini yetishtirish, saqlash va undan yuqori qo‘shilgan qiymatga ega mahsulotlar - yigirma, to‘qimachilik va tayyor kiyim-kechak mahsulotlarini ishlab chiqarish sohalarida energiya va resurs tejamkor texnologiyalarni joriy etish dolzarb yo‘nalishlardan biri hisoblanadi. Paxta xom-ashyosini g‘aramlarda saqlash jarayonida uning sifat ko‘rsatkichlarini belgilab beruvchi asosiy fizik omillardan biri paxta massasida kechadigan o‘zaro bog‘langan issiqlik va namlik almashinuv jarayonlari hisoblanadi. G‘aramdagi paxtaning sifatiga ta’sir ko‘rsatuvchi muhim omillardan biri harorat-namlik holati

hisoblanadi. Paxta g‘aramidagi harorat va namlik, havo harakatining tezligi, shuningdek, radiatsion nurlanish intensivligi kabi parametrlar bilan tavsiflanadi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, yuqori haroratning havo namligi yuqori bo‘lgan sharoit bilan birgalikda ta’sir etishi operatorning ish qobiliyatiga sezilarli darajada salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Yuqori harorat insonning qator psixologik va psixofiziologik funksiyalariga ham salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Jumladan, xotirada saqlanadigan axborot hajmi kamayadi, assotsiativ bog‘lanishlarni shakllantirish qobiliyati pasayadi, assotsiativ va hisoblash operatsiyalarini bajarish qiyinlashadi hamda diqqatni jamlash darajasi susayadi.

Havoning nisbiy namligi 40-60 % oralig‘ida bo‘lganda uning g‘aramdagi paxtaning holatiga ta’siri nisbatan kam bo‘ladi. Nisbiy namlik 80-90 % ga yetganda esa paxta tolasi morfologik tuzilishiga va mikrostrukturaviy o‘zgarishlarga olib keladi va g‘aramning qizib ketish xavfi ortadi. Paxta xomashyosini g‘aramlarda saqlash jarayonida o‘z-o‘zidan qizish holatlari ularni yuzaga keltiruvchi omillarning tabiatiga ko‘ra termik, kimyoviy va mikrobiologik turlarga ajratiladi (1-rasm).

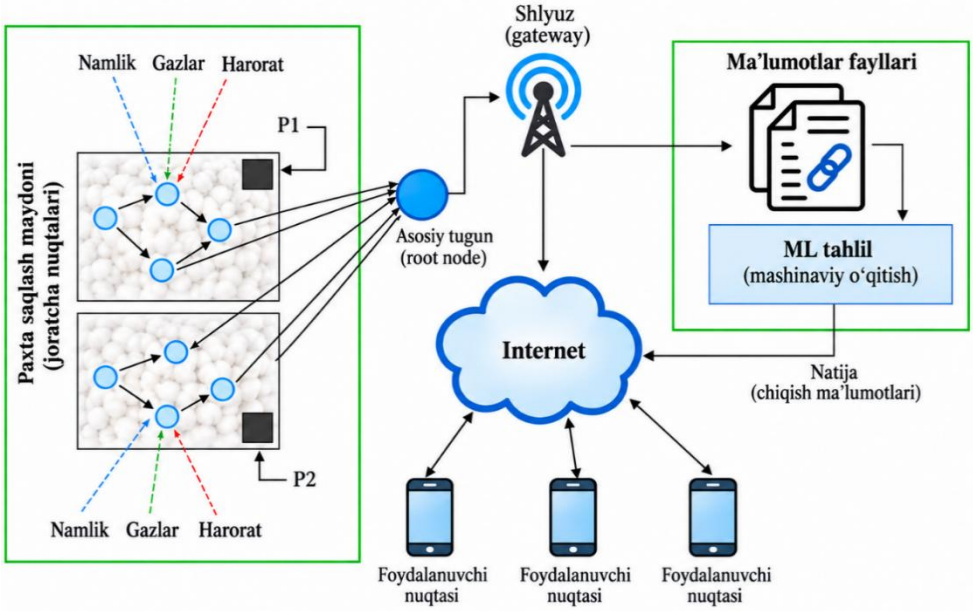


1-rasm. G‘aramda paxtani o‘z-o‘zidan qizish modeli

Paxta xom-ashyosini g‘aramlarda saqlash jarayonida harorat, namlik, metan gazini nazorat qilish asosida o‘z-o‘zidan yonishni erta bashorat qilish dolzarb muammo hisoblanadi.

G‘aramlarda paxtani o‘z-o‘zidan yonishni erta bashorat qilish uchun simsiz sensor tarmog‘i (WSN) va mashinali o‘qitish (ML) asosida monitoring tizimi taklif etildi. WSN turli sensorlar yordamida saqlash maydonidan real vaqt ma’lumotlarini yig‘adi va tarmoq orqali uzatadi. Olingan ma’lumotlar o‘z-o‘zidan qizishni aniqlash uchun qayta ishlanib, bashorat natijalari foydalanuvchiga yetkaziladi. Real vaqt ma’lumotlarini yig‘ish va mashinali o‘qitish asosida tahlil qilish tizimning ishonchliligini oshiradi.

Simsiz sensor tarmog‘i (WSN) - nazorat ob’ektining turli nuqtalariga o‘rnatilgan sensor tugunlari majmuasidir. Tizimda harorat, namlik va metan sensorlari hamda Bluetooth moduli qo‘llaniladi. Sensorlar saqlash muhiti haqidagi ma’lumotlarni uzluksiz yig‘adi. Ma’lumotlar simsiz ravishda markaziy tugun yoki shlyuzga uzatiladi, keyin grafik foydalanuvchi interfeysiga (GUI) yetkazilib, tahlil va bashorat uchun ishlatiladi.



2- rasm. G‘aramlarda paxtani o‘z-o‘zidan yonishni erta bashorat qilish uchun simsiz sensor tarmog‘i (WSN)

G‘aramlarda saqlanayotgan paxta xom-ashyosining namligini nazorat qilish uchun optoelektron sensor taklif etildi, uning ishlash jarayoni quruq va nam paxta xom-ashyosining infraqizil (IQ) spektral sohada nurlanishni yutish xususiyatlarining farqlanishiga asoslanadi. Paxta tarkibidagi namlik miqdori o‘zgarganda suv molekulalarining IQ nurlanishni yutish darajasi ham o‘zgaradi. 3-rasmda suv molekulalarining (H_2O) infraqizil spektral sohada nurlanishni yutish spektri hamda namlikni ikki to‘lqinli o‘lchash usuli modeli keltirilgan.

G‘aramdagi paxta xom-ashyosiga ta’sir etayotgan va undan o‘tayotgan nurlanish oqimlari yutilish qonuniyati asosida quyidagi ifodalar bilan tavsiflanadi:

$$\begin{cases} F_{\lambda 1} = \gamma_{\lambda 1} . F_{0\lambda 1} \\ F_{\lambda 2} = \gamma_{\lambda 2} . F_{0\lambda 2} \cdot e^{-km} \end{cases}$$

bu yerda tayanch va o‘lchov to‘lqin uzunliklaridagi kattaliklar paxta xom-ashyosining tegishli spektral sohalardagi yorug‘lik o‘tkazish koeffitsientlarini, k - IQ nurlanishning yutilish koeffitsientini, m esa paxta xom-ashyosining namlik miqdorini ifodalaydi. Mazkur ifodalardan ko‘rinib turibdiki, paxta tarkibidagi namlik miqdori ortishi bilan namlikka sezgir to‘lqin uzunligida nurlanishning yutilishi kuchayadi. Natijada paxta massasidan o‘tgan o‘lchov nurlanish oqimining intensivligi kamayadi. Tayanch spektral kanalda esa namlikning ta’siri nisbatan kichik bo‘lganligi sababli signaldagi o‘zgarish ancha kam bo‘ladi. Aynan shu farq paxta namligini aniqlash uchun informativ parametr sifatida qabul qilinadi.

Agar berilgan shart:

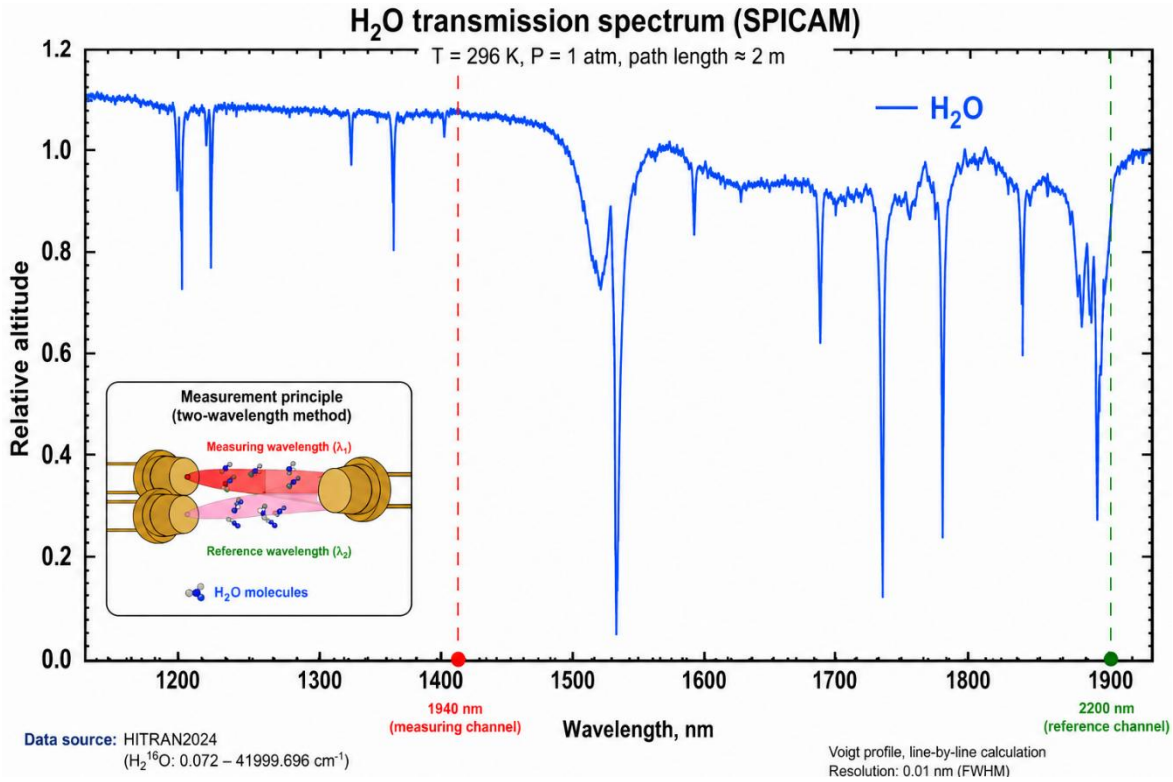
$$F_{\lambda 1 = A \cdot e^{-t/\tau}} \text{ , u xolda } \begin{cases} F_{\lambda 1 = \gamma_{\lambda 1} \cdot A \cdot e^{-t/\tau}} \\ F_{\lambda 2 = \gamma_{\lambda 2}} \cdot F_{0\lambda 2} \cdot e^{-km} \end{cases}$$

bajarilsa, unda nurlanish oqimlari o‘rtasidagi bog‘lanish quyidagi ko‘rinishga keladi:

$$F_{\lambda 1} = F_{\lambda 2} \; va \; \gamma_{\lambda 1} \cdot A \cdot e^{-t/\tau} = \gamma_{\lambda 2} \cdot F_{0\lambda 2} \cdot e^{-km}$$

Tayanch va o‘lchov to‘lqin uzunliklarida hosil qilingan nurlanish oqimlari fotoqabul qilgich yordamida qabul qilinib, tegishli fotoelektr signallarga o‘zgartiriladi. Keyin ushbu signallar elektron taqqoslash sxemasida o‘zaro solishtiriladi. Nurlanish oqimlarining tenglashish yoki belgilangan nisbatga erishish momenti qurilmaning chiqish informativ parametri sifatida qabul qilinadi. Tayanch va o‘lchov kanallaridagi

nurlanish oqimlarini taqqoslash sharti: $\gamma_{\lambda 1} = \gamma_{\lambda 2}$ ko‘rinishida bajarilganda, berilgan matematik o‘zgartirishlar natijasida yakuniy holda: $m = -\frac{1}{K \cdot \tau}$ bog‘lanish hosil bo‘ladi.



3-rasm. Cuv molekulalarining (H_2O) infraqizil spektral sohada nurlanishni yutish spektri hamda namlikni ikki to‘lqinli o‘lchash usuli modeli

Shunday qilib, paxta xom-ashyosi namligini aniqlashda ikki spektral kanaldan foydalanish namlik ta’sirida IQ nurlanish yutilishining o‘zgarishini differensial baholash imkonini beradi. O‘lchov va tayanch kanallaridan olingan signallarni o‘zaro taqqoslash esa paxta namligini elektr signaliga o‘zgartirish va keyinchalik uni avtomatlashtirilgan nazorat tizimida qayta ishlash uchun asos yaratadi. Ushbu yondashuv g‘aramlarda saqlanayotgan paxtaning namlik holatini tezkor nazorat qilishga matematik asosini tashkil etadi.

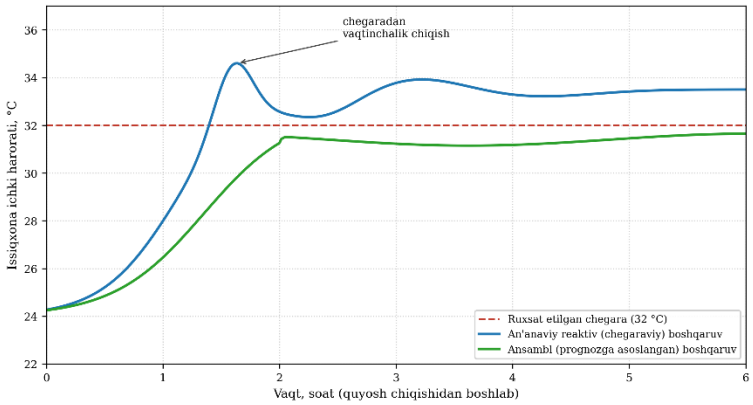
Adabiyotlar

1. Jumaniyazov Q., Rakhimov O., Mamatov Sh. Study on the Influence of the Cotton Storage Process on the Quality Indicators of Fiber and Yarn. Tashkent Institute of Textile and Light Industry, 2021. - P. 25–33.
2. Cao J., Delhom C.D., Rodgers J.E., French A.D. Further Studies of Mechanical Damage on Machine-Harvested Cotton Fibers. Journal of Cotton Science, 2024. - P. 115–127.

SUN’IY INTELLEKT ANSAMBL MODELLARI ASOSIDA GELIOISSIQXONALAR MIKROIQLIMINI BOSHQARISH

Ibragimov Islomnur XXX
iislomnur@gmail.com
Mustaqil izlanuvchi
Qarshi davlat texnika universiteti

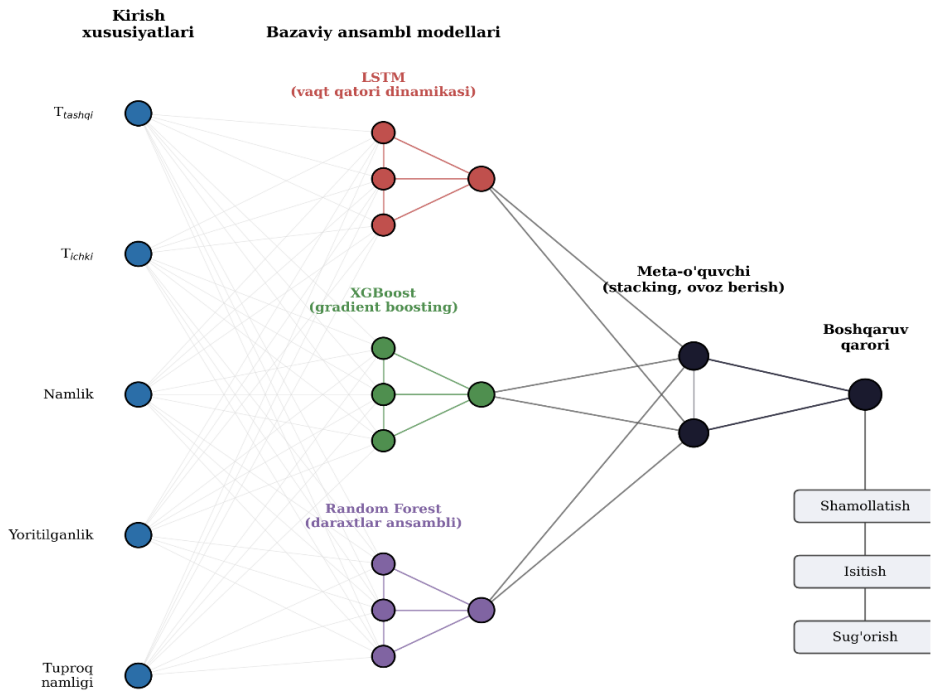
Qashqadaryo viloyati sharoitida quyosh chiqishidan keyingi 30–40 daqiqa ichida issiqxona ichidagi harorat tashqi havo bilan birga keskin ko‘tariladi, biroq an’anaviy relening yoki PID asosidagi boshqaruv tizimi bu o‘zgarishga faqat chegara qiymati buzilgandan keyin javob beradi. Natijada issiqxona ichida qisqa muddatli, ammo o‘simlik uchun stress hosil qiluvchi harorat sakrashlari yuzaga keladi, shamollatish va isitish tizimlari esa energiyani nooqilona sarflaydi (1-rasm). Ushbu kuzatuv — reaktiv boshqaruvning tabiiy chegarasi — mazkur tadqiqotning boshlang‘ich nuqtasi bo‘ldi: agar tizim harorat chegaradan chiqishini emas, balki chiqish ehtimolini oldindan baholay olsa, boshqaruv qarori tezroq va yumshoqroq qabul qilinishi mumkin.



1-rasm. Reaktiv (chegaraviy) va prognozga asoslangan ansambl boshqaruvning sxematik taqqoslanishi

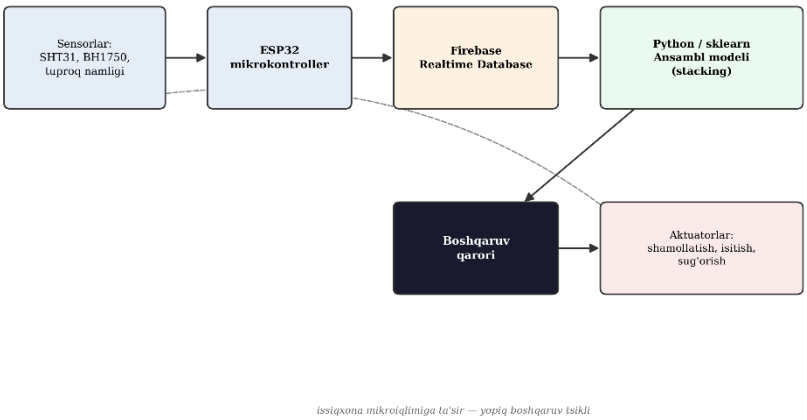
Adabiyotlarda issiqxona mikroiqlimini boshqarish uchun asosan ikki yo‘nalish qo‘llaniladi: klassik PID/fuzzy-logika asosidagi reaktiv nazoratchilar [6] va yagona modelli, masalan faqat XGBoost yoki faqat ANN asosidagi, prognoz tizimlari [3; 4]. Birinchi guruh sodda va ishonchli, biroq oldindan ko‘rish qobiliyatiga ega emas; ikkinchi guruh esa ko‘pincha bir turdagi bog‘liqlikni (vaqtinchalik yoki statik) yaxshi ushlab, ikkinchisini e‘tiborsiz qoldiradi. So‘nggi yillarda LSTM, XGBoost va Random Forest kabi modellarni birlashtiruvchi stacking-ansambllar issiqxona va qishloq xo‘jaligi muhitlari uchun yuqori aniqlik ko‘rsatgani qayd etilgan [1; 2; 5]. Aynan shu ikkiga bo‘lingan yondashuvlar orasidagi bo‘shliq — vaqt bo‘yicha dinamika bilan ko‘p omilli statik bog‘liqlikni bitta qaror qabul qiluvchi tizimda birlashtirish zarurati — ushbu tadqiqotning ilmiy asoslanishini tashkil etadi.

Mazkur tezisda gelioissiqxona mikroiqlimini boshqarish uchun sun’iy intellektning ansambl modellariga asoslangan yondashuv taqdim etiladi. Yondashuvning markazida uchta bazaviy model yotadi: LSTM tarmog‘i harorat va namlikning vaqt bo‘yicha dinamikasini prognoz qilish uchun, XGBoost va Random Forest esa quyosh radiatsiyasi, tashqi harorat, nisbiy namlik va tuproq namligi kabi omillar orasidagi nochiziqli bog‘liqlikni aniqlash uchun qo‘llanildi. Uchala bazaviy modelning chiqishlari stacking (uyg‘unlashtiruvchi) meta-o‘quvchi orqali birlashtirilib, yagona boshqaruv qaroriga — ya’ni ovoz berish tamoyili asosida shamollatish, isitish yoki sug‘orish aktuatorlarini ishga tushirish yoki to‘xtatish qaroriga — aylantiriladi (2-rasm). Bitta modelga tayanishning kamchiligi shundaki, LSTM vaqt ketma-ketligidagi uzoq bog‘liqlikni yaxshi ushlaydi, lekin qisqa muddatli keskin o‘zgarishlarga sezgirligi past; daraxt asosidagi modellar esa aksincha — joriy holatni yaxshi tasniflaydi, ammo kelgusi holatni prognoz qila olmaydi. Ansambl birlashmasi aynan shu ikki xususiyatni bir-birini to‘ldiradigan tarzda ishlatishga qaratilgan.



2-rasm. Taklif etilgan ansambl modelning arxitekturasi: bazaviy modellar (LSTM, XGBoost, Random Forest) va stacking meta-o‘quvchisi orasidagi bog‘lanishlar

Tadqiqot ob’ekti sifatida Qarshi davlat texnika universiteti hududidagi 6×9 metrli tajriba-sinov issiqxonasi tanlandi, unda 108 tup Madora F1 navli bodring o‘stiriladi. Issiqxonada ESP32 mikrokontrolleriga ulangan SHT31 (harorat/namlik), BH1750 (yorug‘lik) va tuproq namligi sensorlaridan olingan ma’lumotlar real vaqt rejimida Firebase Realtime Database bazasiga uzatiladi (3-rasm). To‘plangan vaqt qatorlari asosida Python sklearn kutubxonasidagi StackingRegressor quvuri (pipeline) tuzilib, model sifatini baholash uchun k-fold cross-validation usuli qo‘llanildi. Bu infratuzilma nafaqat modelni o‘qitish, balki uni real issiqxona sharoitida uzluksiz yangilab borish imkonini ham beradi.



3-rasm. Tajriba-sinov issiqxonasining apparat-dasturiy tizimi: sensorlardan aktuatorlargacha ma’lumot va boshqaruv oqimi

Xususiyatlar (feature) sifatida joriy va oldingi soatlardagi harorat, namlik, yorug‘lik va tuproq namligi qiymatlari, shuningdek siljib boruvchi o‘rtacha (moving average) va kechikish (lag) belgilari qo‘llanildi — bu LSTM tarmog‘iga vaqtinchalik naqshni, XGBoost va Random Forest’ga esa joriy holatning ko‘p omilli tasnifini bir vaqtda taqdim etish imkonini beradi. Meta-o‘quvchi sifatida bazaviy modellarning chiqishlarini vaznlab birlashtiruvchi logistik regressiya qatlami tanlandi: har bir bazaviy model o‘z “ovozi”ni beradi, meta-qatlam esa bu ovozlarni tarixiy aniqlik ko‘rsatkichlariga qarab vaznlab, yakuniy boshqaruv qaroriga aylantiradi. Modelni sinash bosqichida natijalar Qarshi mintaqasi bo‘yicha NIGMI meteorologik ma’lumotlari bilan tashqi tekshiruvdan o‘tkaziladi, bu esa modelning faqat issiqxona ichidagi sensorlarga emas, balki mintaqaviy ob-havo naqshlariga nisbatan ham barqarorligini baholash imkonini beradi.

Model sifati regressiya bosqichida RMSE, MAE va R^2 ko‘rsatkichlari [1; 4], boshqaruv qarori (aktuatorni yoqish/o‘chirish) qatlamida esa aniqlik (precision) va to‘liqlik (recall) ko‘rsatkichlari orqali baholanishi rejalashtirilgan. Bunday ikki bosqichli baholash — avval prognozning o‘zini, keyin shu prognoz asosida qabul qilingan qarorning to‘g'riligini — reaktiv tizimlar bilan solishtirish uchun zarur, chunki past prognoz xatosi har doim ham to‘g'ri boshqaruv qaroriga olib kelavermaydi: masalan, harorat prognozi 0,5 °C xatolik bilan to‘g'ri bo‘lsa-da, agar bu xatolik aynan chegara atrofida yuz bersa, aktuator noto‘g'ri ishga tushishi mumkin. Shu sababli ikkala qatlam alohida tekshirilishi ko‘zda tutilgan.

Mazkur tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat: gelioissiqxona mikroiqlimini boshqarish uchun LSTM, XGBoost va Random Forest modellarini stacking meta-o‘quvchisi orqali birlashtiruvchi ovoz berish asosidagi ansambl arxitekturasi ishlab chiqilgan; ESP32 va Firebase Realtime Database asosida real vaqt rejimida ma’lumot to‘plash va modelni uzluksiz yangilab borish imkonini beruvchi infratuzilma yaratilgan; hamda Qashqadaryoning yarim quruq iqlim sharoitida sinov o‘tkazish uchun 6×9 metrli tajriba-sinov issiqxonasi asosida metodika shakllantirilgan. Bu uchala natija birgalikda reaktiv boshqaruvdan prognozga asoslangan boshqaruvga o‘tishning amaliy modelini tashkil etadi.

Amaliy nuqtai nazardan, taklif etilgan yondashuv Qashqadaryo va shunga o‘xshash yarim quruq iqlimli hududlardagi fermer xo‘jaliklari uchun ahamiyatga ega, chunki bu yerdagi issiqxonalarning aksariyatida hanuzgacha oddiy termostat yoki qo‘lda boshqariladigan shamollatish tizimlaridan foydalaniladi [6; 7]. Bunday tizimlarda operator harorat ko‘tarilib ketgandan keyin aralashadi, bu esa nafaqat energiya isrofiga, balki o‘simlik stressiga ham olib keladi. Prognozga asoslangan ansambl qaror qatlami xuddi shu bo‘shliqni — inson operatorining reaksiya vaqtidagi kechikishni — avtomatik ravishda qisqartirishga qaratilgan bo‘lib, kelgusida tayyor dastur-apparat majmuasi (ESP32 + bulutli baza + ansambl model) sifatida kichik va o‘rta fermer xo‘jaliklariga tatbiq etilishi mumkin.

Shu bilan birga, olingan dastlabki natijalar hozircha faqat bitta issiqxonada, bitta o‘sish mavsumida to‘plangan ma’lumotlarga asoslanadi. Model boshqa iqlim mintaqalarida — masalan, Toshkentning nam yozida yoki tog‘oldi hududlarida — qayta o‘qitishsiz qanchalik barqaror ishlashi hozircha noma’lum va bu keyingi tadqiqot uchun ochiq savol bo‘lib qolmoqda.

Xulosa qilib aytganda, LSTM, XGBoost va Random Forest modellarini stacking meta-o‘quvchisi orqali birlashtirish gelioissiqxona mikroiqlimini boshqarishda faqat joriy holatga emas, balki uning yaqin kelajakdagi rivojlanishiga asoslangan qaror qabul qilish imkonini beradi. Bu yondashuv Qashqadaryo sharoitida energiya tejamkorligini oshirish va o‘simlik uchun barqarorroq mikroiqlim yaratishning amaliy yo‘li sifatida qaraladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Xu S. et al. Predicting Multidimensional Environmental Factor Trends in Greenhouse Microclimates Using a Hybrid Ensemble Approach // Journal of Sensors. — 2023. — Vol. 2023. — Art. 6486940.

2. Rezaei Melal S., Aminian M., Shekarian S.M. A machine learning method based on stacking heterogeneous ensemble learning for prediction of indoor humidity of greenhouse // Journal of Agriculture and Food Research. — 2024. — Vol. 16. — 101107.

3. Bolandnazar E., Sadrnia H., Rohani A., Marinello F., Taki M. Application of artificial intelligence for modeling the internal environment condition of polyethylene greenhouses // Agriculture. — 2023. — Vol. 13, No. 8. — 1583.

4. Morales-García J., Bueno-Crespo A., Martínez-España R., Cecilia J.M. Data-driven evaluation of machine learning models for climate control in operational smart greenhouses // Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments. — 2023. — Vol. 15, No. 1. — P. 3–17.

5. Behvandi O., Ghorbani H. Predicting future climate scenarios: a machine learning perspective on greenhouse gas emissions in agrifood systems // Frontiers in Environmental Science. — 2024. — Vol. 12. — 1471599.

6. Noureddine S., Mohammed B., Abdelmadjid M.K. An IoT-Based System to Control the Greenhouse’s Microclimate // IoT-Enabled Energy Efficiency Assessment of Renewable Energy Systems and Micro-grids in Smart Cities (IC-AIRES 2023). — Cham: Springer, 2024.

7. Wolpert D.H. Stacked generalization // Neural Networks. — 1992. — Vol. 5, No. 2. — P. 241–259.

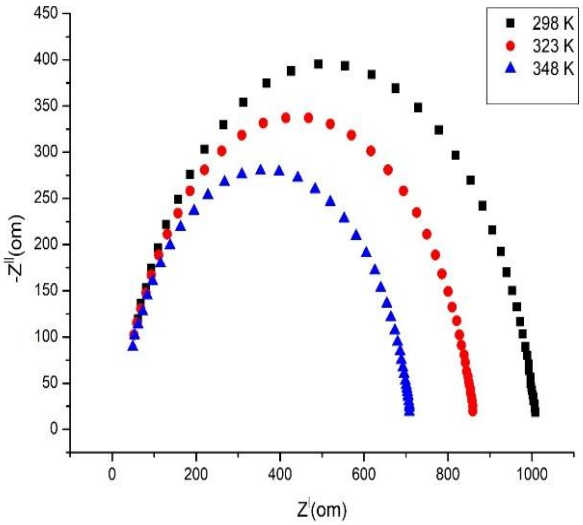
MONOKRISTALL KREMNIYLI FOTOELEMENTLARDA VOLT-FARAD TAHLILI ASOSIDA ZARYAD TASHUVCHILAR REKOMBINATSIYA MEXANIZMLARINI TADQIQ ETISH

M.O.Tursunov[1], M.N.Kamolov[2]
[1]Termiz davlat universiteti, f.-m.f.PhD, dotsent,
[2]Termiz davlat universiteti Yarimo‘tkazgichlar fizikasi yo‘nalishi 2-kurs magstranti
Email: kamolovmamur202@gmail.com

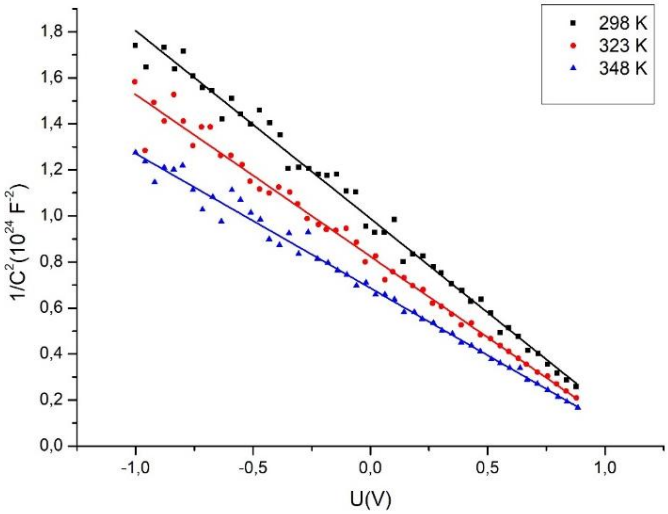
Monokristall kremniy $(Mono-Si)$ asosidagi fotoelektr o‘zgartirgichlarning real ekspluatatsiya sharoitlaridagi, xususan, Termiz iqlimiga xos bo‘lgan yuqori haroratlardagi (298 K dan 348 K gacha) energetik samaradorligi bevosita p-n o‘tish sohasidagi elektrofizik jarayonlar bog‘liqligi bilan belgilanadi. Yuqori harorat sharoitida fotoelementlarda nafaqat makroskopik parametrlar (ochiq zanjir kuchlanishi, to‘ldirish koeffitsiyenti) pasayadi, balki mikroskopik darajada zaryad tashuvchilarning rekombinatsiyasi va hajm zaryadlari sohasidagi aralashmalar faolligi o‘zgaradi. Ushbu ishda volt-farad $(C-V)$ xarakteristikalari tahlili yordamida monokristall kremniy fotoelementlarida harorat omilining zaryad tashishuvchilar rekombinatsiyasi dinamikasiga ta’siri o‘rganildi.

Tadqiqot obyekti sifatida monokristall kremniyli fotoelementlar olindi. Harorat o‘zgarishlarining (298 K, 323 K, 348 K) ta’sirini izchil baholash uchun raqamli boshqaruvga ega termometrdan foydalanildi. Kompleks tekislikda Nikvist diagrammalari ($-Z''$ ning Z' ga bog‘liqligi) qurildi. Volt-Farad $(C-V)$ xarakteristikalari orqali $1/C^2$ ning kuchlanish U ga bog‘liqligi (Mott-Shottki grafigi) tahlil qilinib, $p-n$ o‘tish sohasidagi donorlar konsentratsiyasi (N_d) hamda sig‘im ko‘rsatkichlari (C_p) hisoblab chiqildi.

Olingan eksperimental ko‘rsatkichlar fotoelementning ichki parametrlari haroratga kuchli bog‘liq ekanligini tasdiqladi. Kompleks tekislikdagi Nikvist grafiklari (1-rasm) tahlili shuni ko‘rsatdiki, harorat 298 K dan 348 K gacha ko‘tarilganda yarim aylanalar radiusi mos ravishda kichrayib boradi. Ekvivalent zanjir modellari asosida hisoblangan rekombinatsiya qarshiligi (R_p) 298 K dagi $1000\ \Omega$ dan 348 K haroratda $700\ \Omega$ gacha pasayishi aniqlandi. Rekombinatsiya qarshiligining 30% ga kamayishi termik uyg‘otilgan zaryad tashuvchilarning sirtlararo holatlar va defektlar orqali rekombinatsiyalanish ehtimoli keskin ortishidan dalolat beradi. Shu bilan birga, strukturaning hajm qarshiligi (R_b) ham $5.0\ \Omega$ dan $3.6\ \Omega$ gacha kamayishi kuzatildi.



1-rasm. Fotoelementning turli haroratlardagi Nikvist grafiklari.



2-rasm. Fotoelementning $1/C^2$ qiymatining kuchlanishga bog‘liqligi (Mott-Shottki grafigi).

Volt-farad tahlilida Mott-Shottki grafiklarining (2-rasm) chiziqli xarakteri $p-n$ o‘tish sohasida zaryad tashuvchilarning bir jinsli taqsimlanganligini ko‘rsatadi. Eksperiment natijalariga ko‘ra, harorat 298 K dan 348 K gacha ko‘tarilganda parellel sig‘im qiymati (C_p) $100\ \mathrm{nF}$ dan $140\ \mathrm{nF}$ gacha oshishi va donorlarning effektiv konsentratsiyasi (N_d) $1.52 \cdot 10^9\ \mathrm{cm}^{-3}$ dan $2.08 \cdot 10^9\ \mathrm{cm}^{-3}$ gacha ortishi qayd etildi (1-jadval).

1-jadval.

Termizning turli haroratlarida monokristall kremniyli fotoelementning fotoelektrik parametrlari.

Harorat, T (K)	$R_b(\Omega)$	$R_p(\Omega)$	$C_p(nF)$	$N_d(sm^{-3})$
298	5.0	1000	100	$1.52 \cdot 10^9$
323	4.2	850	120	$1.67 \cdot 10^9$
348	3.6	700	140	$2.08 \cdot 10^9$

N_d qiymatining ortishi taqiqlangan zonadagi chuqur energetik sathlarning termik ionizatsiyasi hamda "effektiv faollashuv" hodisasi bilan izohlanadi. Bu holat $p-n$ o‘tish sohasidagi tutib qoluvchi qatlam kengligining o‘zgarishiga va asbobning sig‘im xususiyatlari degradatsiyasiga olib keladi.

Monokristall kremniy fotoelementlarining volt-farad tahlili natijalari shuni ko‘rsatadiki, 348 K gacha bo‘lgan harorat ta’sirida rekombinatsiya qarshiligining $1000\ \Omega$ dan $700\ \Omega$ gacha pasayishi zaryad tashuvchilarning ichki yo‘qotishlarini oshiradi. Mott-Shottki grafigi orqali aniqlangan donorlar konsentratsiyasining $2.08 \cdot 10^9\ \mathrm{sm}^{-3}$ gacha ortishi va sig‘imning $140\ \mathrm{nF}$ ga yetishi termik ionizatsiya hamda $p-n$ o‘tish sohasida zaryad taqsimotining o‘zgarishi bilan bog‘liqdir. Ushbu ilmiy xulosalar ekstremal iqlim sharoitida ishlovchi quyosh elementlarining degradatsiya mexanizmlarini tahlil qilish va ularning strukturaviy barqarorligini oshirish imkonini beradi.

SELF-ASSEMBLED MONOLAYER ENHANCES PHOTOVOLTAIC PERFORMANCE OF TRIPLE-CATION PEROVSKITE SOLAR CELLS

Julliev Z.N[*a], *Xolmuradov J*[b], *Ashurov N.R*[a].
PhD[*a],*Institute of Chemistry and Physics of Polymers of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent*[a].
Faculty of Physics, National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan [b].

Efficient inverted perovskite solar cells require strong absorption and low-loss extraction of photogenerated carriers. For triple-cation Cs/FA/MA absorbers, similar optical response can coexist with different photovoltaic outputs because the hole-selective contact controls interfacial transport and resistive losses [1,2]. Molecular self-assembled monolayers (SAMs) provide an ultrathin alternative to polymeric PTAA and can improve selective hole transfer [3,4]. Here, UV–vis spectroscopy and direct PTAA/SAM(2PACz) J–V comparison is used to distinguish optical effects from interface-controlled device performance.

Triple-cation $Cs_{0.05}(FA_{0.83}MA_{0.17})_{0.95}Pb(I_{0.83}Br_{0.17})_3$ perovskite films were deposited on bare ITO, PTAA-modified ITO, and a 2PACz-derived SAM-modified ITO interface. For all optical comparisons, the antisolvent application time was fixed at 20 s, so that differences could be attributed primarily to the underlying hole-selective interface rather than processing time. UV–vis absorption spectra and J–V characteristics of the corresponding PTAA- and SAM-based solar cells were evaluated using PCE, FF, J_{SC}, V_{OC}, R_{sh}, and R_s.

The UV–vis spectra (Fig. 1) of ITO/ Cs/FA/MA, ITO/PTAA/ Cs/FA/MA, and ITO/SAM/Cs/FA/MA films prepared with the same 20-s antisolvent condition show closely related absorption-edge behavior. This indicates that the fundamental optical response of the triple-cation absorber remains largely unchanged by the hole-selective layer. Moderate differences in absorbance are nevertheless visible across the spectrum, reflecting interface-dependent film formation and optical density. Because crystallization timing was kept constant, the spectral differences are associated mainly with the underlying interface. Therefore, the higher PCE of the SAM device is more consistently linked to improved interfacial charge transport than to a shift of the absorber optical band edge.

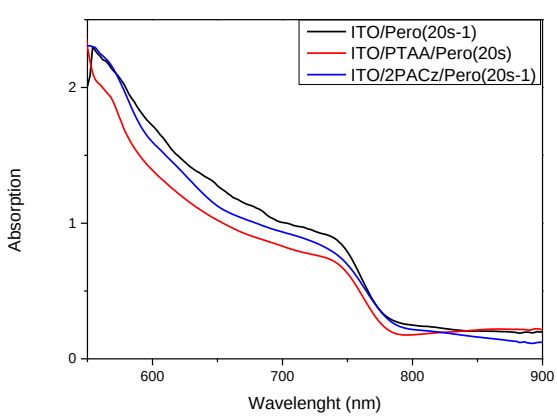


Fig. 1. UV–vis absorption spectra of active layer on ITO, PTAA, and SAM samples.

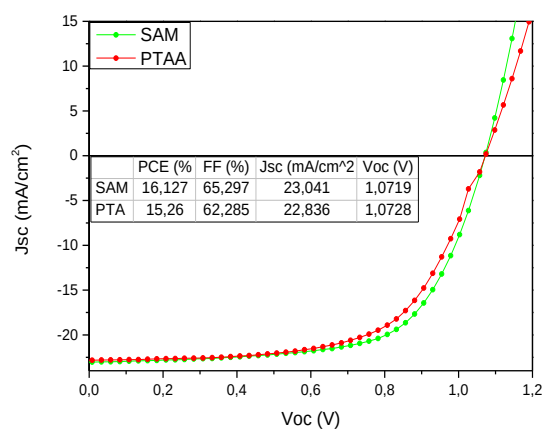


Fig. 2. J–V curves of Cs/FA/MA solar cells with PTAA and SAM layers

1-Table

Simple	Maximum Power (W)	V_{mp} (V)	J_{mp} (mA/cm^2)	R $_{Shunt}$ (Ohm.cm^2)	R Series (Ohm.cm^2)
PTAA	$5{,}80\times10^{-4}$	0,81	18,92	1321,37	9,21
SAM	$6{,}13\times10^{-4}$	0,83	19,39	1061,01	6,53

The comparative J–V characteristics (Fig. 2) show that the SAM-based device clearly outperforms the PTAA-based reference. The PCE increases from 15.26% for PTAA to 16.13% for SAM, corresponding to an absolute gain

of 0.87 percentage points and a relative improvement of approximately 5.7%. The most pronounced change is observed in FF, which rises from 62.29% to 65.30%. J_{SC} also increases slightly from 22.84 to 23.04 mA/cm^2, whereas V_{OC} remains essentially unchanged (1.072 V for PTAA and 1.071 V for SAM). Thus, the efficiency enhancement is not driven by a voltage increase; instead, it is dominated by improved fill factor and a modest gain in collected photocurrent.

Series resistance decreases from 9.21 to 6.53 Ω cm² (≈29%), while V_{mp} rises from 0.81 to 0.83V and J_{mp} from 18.92 to 19.39 mA/cm^2; maximum power increases from 5.80×10^{-4} to 6.13×10^{-4} W. These changes support reduced resistive/contact losses as the principal origin of the higher FF and PCE [3–5]. Although R_{sh} is lower for SAM (1061 vs 1321 Ω cm²), the dominant improvement is associated with lower Rs and more favorable carrier transport.

Under the controlled 20 s antisolvent condition, UV–Vis and J–V results show that SAM improves device performance mainly through the hole-selective interface rather than through a substantial optical change. PCE increases from 15.26% to 16.13%, FF from 62.29% to 65.30%, and J_{SC} from 22.84 to 23.04 mA/cm^2, while V_{OC} remains essentially unchanged. Together with the approximately 29% reduction in R_s, the results identify reduced resistive losses and improved interfacial carrier extraction as the main SAM advantage over PTAA.

REFERENCES

[1] Pydzińska-Białek K., Drushliak V., Coy E. et al. Understanding the Interfaces between Triple-Cation Perovskite and Electron or Hole Transporting Material. ACS Appl. Mater. Interfaces, 2020.

[2] González D.A., Puerto Galvis C.E., Li W. et al. Influence of the carbazole moiety in self-assembling molecules as selective contacts in perovskite solar cells: interfacial charge transfer kinetics and solar-to-energy efficiency effects. Nanoscale Adv., 2023.

[3] Wang J., Liu N., Liu Z. et al. Versatile Self-Assembled Monolayer Enables High-Performance Inverted CsPbI3 Perovskite Solar Cells. ACS Appl. Nano Mater., 2024.

[4] Azam M., Du T., Wan Z. et al. Dual functionality of charge extraction and interface passivation by self-assembled monolayers in perovskite solar cells. Energy Environ. Sci., 2024.

[5] Vidyasagar D., Yun Y., Yu Cho J. et al. Surface-functionalized hole-selective monolayer for high efficiency single-junction wide-bandgap and monolithic tandem perovskite solar cells. J. Energy Chem., 2024.

INJECTION DEPLETION EFFECT IN SILICON-BASED p–n STRUCTURES

Xolyigitova G.S. assistant
Turon University, Andijan Branch
gulhayot2012@gmail.com

Abstract

The paper investigates the injection depletion effect in silicon-based p–n structures. The influence of carrier injection on the concentration of charge carriers and the electrical properties of the structure is considered. The results can be useful for improving the performance of semiconductor devices.

Keywords: silicon, p–n structure, injection depletion, charge carriers, carrier concentration, semiconductor devices.

Introduction

Silicon-based p–n structures are fundamental components of modern semiconductor electronics and are widely used in diodes, transistors, photodetectors, solar cells, and other electronic and optoelectronic devices. The electrical behavior of these structures is mainly determined by the concentration, distribution, and transport of charge carriers. Under equilibrium conditions, the carrier concentration is determined by the doping level and temperature. However, when an external voltage is applied, nonequilibrium conditions arise and additional charge carriers are injected through the p–n junction.

At low injection levels, the influence of injected carriers on the semiconductor properties is relatively small. With increasing injection intensity, however, the concentration of injected minority carriers becomes comparable to or even exceeds the equilibrium concentration of majority carriers. As a result, significant changes may occur in the spatial distribution of charge carriers, conductivity, electric field, and current-voltage characteristics of the structure. These processes are closely associated with the injection depletion effect.

The injection depletion effect is an important physical phenomenon that can influence the operation and efficiency of semiconductor devices. A better understanding of this effect is necessary for controlling carrier transport and optimizing the electrical parameters of silicon-based p–n structures. The effect may become particularly significant under high-level injection conditions, where conventional low-injection approximations are no longer sufficient to describe carrier behavior accurately.

The main problem of this study is to determine how the injection depletion effect changes the electrical properties of silicon-based p–n structures under different operating conditions. Special attention is given to the influence of injection intensity, doping concentration, and temperature. Changes in these parameters can affect carrier concentration, recombination processes, conductivity, and the internal electric field of the structure.

Therefore, a systematic investigation of the injection depletion effect is important for establishing the relationship between external operating conditions and semiconductor characteristics. The obtained results can contribute to a better theoretical understanding of carrier transport and provide useful information for improving the performance and reliability of silicon-based semiconductor devices.

Main Part

The injection depletion effect in silicon-based p–n structures was analyzed based on the behavior and redistribution of charge carriers under forward-bias conditions. When an external voltage is applied to a p–n junction, minority carriers are injected from one region into the other. This process produces a nonequilibrium carrier distribution and changes the internal electrical state of the semiconductor structure. The behavior of electrons and holes depends on the applied voltage, doping concentration, temperature, carrier mobility, and recombination mechanisms.

At relatively low injection levels, the concentration of injected minority carriers is much lower than the equilibrium concentration of majority carriers. In this case, the electrical characteristics of the p–n structure

can generally be described using the low-injection approximation. However, as the injection level increases, the concentration of injected carriers becomes comparable to the equilibrium carrier concentration. Under such conditions, the assumptions of low-level injection become less applicable, and significant changes in carrier concentration and electric-field distribution can occur.

The injection depletion effect is associated with the redistribution and reduction of the concentration of equilibrium charge carriers in certain regions of the semiconductor. This process can affect the conductivity and current transport mechanism of the p–n structure. In addition, recombination and generation processes influence the spatial distribution of injected carriers and determine how rapidly the nonequilibrium state changes with distance from the junction.

The study is based on a theoretical analysis of charge-carrier transport in silicon-based p–n structures. The main parameters considered in the analysis are carrier concentration, doping level, injection intensity, temperature, carrier mobility, and recombination rate. Semiconductor transport equations and the continuity equation are used to describe the behavior of electrons and holes under forward-bias conditions.

Different injection conditions are considered to evaluate changes in carrier concentration and electrical characteristics. The theoretical relationships allow the influence of injection intensity and material parameters on the internal electric field and conductivity of the structure to be analyzed. Particular attention is given to the transition from low-level to high-level injection, where the injection depletion effect becomes more pronounced.

The analysis shows that increasing the injection level leads to a stronger variation in carrier concentration and enhances the injection depletion effect. At high injection levels, the redistribution of charge carriers produces noticeable changes in conductivity and the internal electric field. Temperature also has a significant influence because it affects carrier concentration, mobility, and recombination processes.

Doping concentration determines the initial carrier population and therefore influences the conditions under which injection depletion becomes important. The results indicate that appropriate control of injection conditions, doping parameters, and temperature can help regulate carrier transport and improve the electrical characteristics, efficiency, and reliability of silicon-based p–n semiconductor devices.

Conclusion

The study shows that the injection depletion effect significantly affects the carrier concentration and electrical characteristics of silicon-based p–n structures. The effect depends mainly on the injection level, doping concentration, and temperature. Understanding these factors is important for controlling charge-carrier transport and improving the performance of semiconductor devices.

References

1. Sze, S. M., & Ng, K. K. *Physics of Semiconductor Devices*. 3rd ed. Wiley, 2007.
2. Neamen, D. A. *Semiconductor Physics and Devices*. 4th ed. McGraw-Hill Education, 2012.
3. Pierret, R. F. *Semiconductor Device Fundamentals*. Addison-Wesley, 1996.
4. Schroder, D. K. *Semiconductor Material and Device Characterization*. 3rd ed. Wiley-IEEE Press, 2006.
5. Streetman, B. G., & Banerjee, S. *Solid State Electronic Devices*. 7th ed. Pearson, 2015.
6. Selberherr, S. *Analysis and Simulation of Semiconductor Devices*. Springer, 1984.

HARORATNING INJEKSION KAMBAG‘ALLASHISH EFFEKTIGA TA’SIRI

Xolyigitova G.S. assissent
Turon universiteti Andijon filiali
gulhayot2012@gmail.com (50)7143000

Аннотация

В статье анализируется влияние температуры на эффект инжекционного обеднения в полупроводниковых структурах. Рассматривается влияние изменения температуры на концентрацию носителей заряда, процессы рекомбинации и формирование области обеднения.

Ключевые слова: температура, инжекционное обеднение, полупроводник, носители заряда, рекомбинация, область обеднения.

Abstract

This paper analyzes the effect of temperature on injection depletion in semiconductor structures. The influence of temperature variation on charge carrier concentration, recombination processes, and the formation of the depletion region is considered.

Keywords: temperature, injection depletion, semiconductor, charge carriers, recombination, depletion region.

Annotatsiya

Ushbu maqolada haroratning yarimo‘tkazgichli tuzilmalarda yuzaga keladigan injeksion kambag‘allashish effektiga ta’siri tahlil qilinadi. Harorat o‘zgarishining zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi, rekombinatsiya jarayonlari va kambag‘allashish qatlamining shakllanishiga ta’siri ko‘rib chiqiladi.

Kalit so‘zlar: harorat, injeksion kambag‘allashish, yarimo‘tkazgich, zaryad tashuvchilar, rekombinatsiya, kambag‘allashish qatlami.

Kirish

Yarimo‘tkazgichli tuzilmalarda zaryad tashuvchilarning injeksiyasi elektron va kovaklar konsentratsiyasining o‘zgarishiga, elektr maydonning qayta taqsimlanishiga hamda tokning shakllanish jarayonlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Bunday jarayonlar natijasida yarimo‘tkazgichning ayrim sohalarida asosiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi kamayib, injeksion kambag‘allashish effekti yuzaga kelishi mumkin. Mazkur effekt yarimo‘tkazgichli diodlar, p–n o‘tishlar, geterotuzilmalar va boshqa elektron qurilmalarning elektr xususiyatlarini belgilovchi muhim omillardan biridir.

Harorat yarimo‘tkazgichlarning elektr va kinetik xususiyatlariga kuchli ta’sir qiluvchi tashqi omil hisoblanadi. Haroratning o‘zgarishi tashuvchilar konsentratsiyasi, ularning harakatchanligi, diffuziya jarayonlari va rekombinatsiya tezligining o‘zgarishiga olib keladi. Shu sababli haroratning injeksion kambag‘allashish effektiga ta’sirini o‘rganish yarimo‘tkazgichli tuzilmalarda zaryad tashuvchilar dinamikasini chuqurroq tushunish va qurilmalar parametrlarini optimallashtirish uchun muhimdir.

Injeksion kambag‘allashish effektining kuchi va rivojlanish darajasi haroratga bevosita bog‘liq bo‘lib, harorat oshishi bilan yarimo‘tkazgichdagi zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi va rekombinatsiya jarayonlarining o‘zgarishi kuzatiladi. Natijada kambag‘allashish sohasining kengligi, zaryad taqsimoti va elektr maydon kuchlanganligi ham o‘zgarishi mumkin.

Asosiy muammo shundan iboratki, haroratning o‘zgarishi injeksion kambag‘allashish effektining qaysi parametrlarini va qanday darajada o‘zgartirishi yetarlicha aniq baholanishi zarur. Ayniqsa, harorat, tashuvchilar konsentratsiyasi, rekombinatsiya va diffuziya jarayonlari o‘rtasidagi bog‘liqlikni aniqlash muhim ahamiyatga ega. Ushbu masalani tadqiq qilish orqali yarimo‘tkazgichli tuzilmalarning turli harorat sharoitlaridagi elektr xususiyatlarini oldindan baholash va ularning barqaror ishlash sharoitlarini aniqlash mumkin.

Asosiy qism

Yarimo‘tkazgichli tuzilmalarda injeksion kambag‘allashish effekti zaryad tashuvchilarning faol sohaga injeksiyalanishi va ularning qayta taqsimlanishi bilan bog‘liq. Ushbu jarayonning kechishi tashqi haroratga sezilarli darajada bog‘liq. Harorat o‘zgarishi yarimo‘tkazgich materialining energetik holati, zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi, diffuziya koeffitsiyenti va rekombinatsiya tezligiga ta’sir qiladi.

Harorat oshishi bilan xususiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi ortadi. Natijada yarimo‘tkazgichdagi elektron va kovaklarning muvozanat holati o‘zgarib, injeksiyalangan tashuvchilarning taqsimlanish jarayoni tezlashishi mumkin. Shu bilan birga, yuqori haroratda rekombinatsiya jarayonlarining kuchayishi injeksion tashuvchilarning yashash vaqtini kamaytiradi. Bu esa injeksion kambag‘allashish sohasining shakllanishi va uning davomiyligiga ta’sir ko‘rsatadi.

Haroratning ta’sirini baholashda zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi, diffuziya koeffitsiyenti, rekombinatsiya vaqti hamda elektr maydon kuchlanganligi asosiy parametrlar sifatida qaraladi. Ushbu parametrlarning o‘zaro bog‘liqligi injeksion kambag‘allashish effektining haroratga bog‘liqligini tushuntirish imkonini beradi.

Tadqiqotda kremniy asosidagi yarimo‘tkazgichli tuzilma uchun injeksion kambag‘allashish effektining haroratga bog‘liqligi nazariy va matematik modellashtirish asosida o‘rganildi. Turli harorat qiymatlarida zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi, diffuziya jarayonlari va rekombinatsiya ko‘rsatkichlarining o‘zgarishi tahlil qilindi.

Tahlilda yarimo‘tkazgichdagi tashuvchilar konsentratsiyasining haroratga bog‘liqligi umumiy holda

$$n_I \sim T^{3/2} exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right)$$

ifoda orqali baholandi. Bu yerda n_i — xususiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi, T — absolyut harorat, E_g — taqiqlangan zona kengligi, k — Boltsman doimiysi.

Shuningdek, harorat o‘zgarishi bilan diffuziya va rekombinatsiya jarayonlaridagi o‘zgarishlar hisobga olinib, injeksion kambag‘allashish sohasining elektr parametrlariga ta’siri solishtirma tahlil qilindi. Hisoblash natijalari grafik bog‘lanishlar yordamida baholanishi mumkin.

Tadqiqot natijalari haroratning oshishi injeksion kambag‘allashish effektining asosiy parametrlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatishini ko‘rsatadi. Harorat ortishi bilan xususiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi oshadi va yarimo‘tkazgichdagi zaryad tashuvchilarning termik faolligi kuchayadi.

Bundan tashqari, haroratning ortishi diffuziya jarayonlarini jadallashtirishi bilan birga, rekombinatsiya jarayonlarining ham kuchayishiga olib kelishi mumkin. Natijada injeksiyalangan tashuvchilarning fazoviy taqsimlanishi va kambag‘allashish sohasining xususiyatlari o‘zgaradi. Past haroratlarda tashuvchilar konsentratsiyasining nisbatan kichik bo‘lishi injeksion jarayonlarning sustroq kechishiga sabab bo‘ladi.

Umuman olganda, harorat injeksion kambag‘allashish effektini boshqaruvchi muhim tashqi omillardan biri ekanligi aniqlandi. Olingan natijalar kremniy asosidagi yarimo‘tkazgichli tuzilmalarning haroratga bog‘liq elektr xususiyatlarini baholash, shuningdek, elektron qurilmalarni loyihalash va optimal ish rejimlarini tanlashda foydalanish mumkin.

Xulosa

Tadqiqot natijalari haroratning injeksion kambag‘allashish effektiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishini ko‘rsatdi. Harorat oshishi bilan zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi, diffuziya va rekombinatsiya jarayonlari o‘zgarib, kambag‘allashish sohasining xususiyatlari ham o‘zgaradi. Olingan natijalar kremniy asosidagi yarimo‘tkazgichli tuzilmalarning haroratga bog‘liq elektr xususiyatlarini baholashda muhim ahamiyatga ega.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Sze S.M., Ng K.K. Physics of Semiconductor Devices. – 3rd ed. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2007.

2. Neamen D.A. Semiconductor Physics and Devices: Basic Principles. – 4th ed. – New York: McGraw-Hill, 2012.
3. Pierret R.F. Semiconductor Device Fundamentals. – Addison-Wesley, 1996.
4. Streetman B.G., Banerjee S. Solid State Electronic Devices. – 7th ed. – Pearson, 2015.
5. Yu P.Y., Cardona M. Fundamentals of Semiconductors: Physics and Materials Properties. – 4th ed. – Springer, 2010.
6. Shockley W., Read W.T. Statistics of the Recombinations of Holes and Electrons. – Physical Review, 1952, Vol. 87, pp. 835–842.
7. Hall R.N. Electron-Hole Recombination in Germanium. – Physical Review, 1952, Vol. 87, pp. 387–387.
8. Sze S.M. Semiconductor Devices: Physics and Technology. – 2nd ed. – John Wiley & Sons, 2002.
9. Green M.A. Intrinsic concentration, effective densities of states, and effective mass in silicon. – Journal of Applied Physics, 1990, Vol. 67, pp. 2944–2954.
10. Blakemore J.S. Semiconductor Statistics. – Dover Publications, 2002.

STUDY OF THE DEPENDENCE OF THE FILLING COEFFICIENT OF SOLAR PANELS ON THE ANGLE OF INCIDENCE OF SUNLIGHT

Prof. Kuldashov O.Kh.
Research Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at the National University of Uzbekistan
Master. Iskandarov O.S.
National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Faculty of Physics
e-mail: otabekiskandarov123@gmail.com

EXPERIMENTAL METHOD

A solar cell made of monocrystalline silicon was used as the presentation sample. An alternating current lamp with a capacity of 150 W, designed for a frequency of 220 V and 50 Hz, was used to characterize the solar spectra. The light rays emitted by the lamp fall directly at an angle perpendicular to the solar photovoltaic module. This experiment was conducted at a distance of 15 cm, 25 cm, and 35 cm from the light source. The resistance of alternating loads operates in the 1180 Ohm interval. During the research, the direction of the radiation incident on the solar cell was altered, and the values of the electrical parameters were recorded accordingly. The experimental results were formulated in the form of a table, and the relationship between the obtained values was analyzed graphically. The experimental results are presented in the form of several consecutive measurements. For example, in the initial part, 1.216; 1.218; 1.229; Values such as 1.220 and their corresponding values 201.5; 201.8; 203.8; Results of 202.2 were recorded. In the next part of the experiment, the values of the parameters gradually changed, ranging from 1.948 to 1.964 values, while the second parameter was approximately in the range of 96 to 98, and in the range of 2.14 to 2.16 was around 53[1].

RESULTS AND DISCUSSIONS

Analysis of the experimental results indicates a significant dependence of the studied electrical parameters on the conditions of solar radiation penetration. The values are relatively high in the initial measurements, and a downward trend is observed in subsequent measurements. In Figure 1, a decrease in the second parameter was observed in the next part of the data from values of 43.3–43.7 to 36.5–36.9, followed by values of 31.5–31.8 [4]. These results show that the operating parameters of the solar cell can be studied in relation to the conditions of radiation penetration. By graphically representing the experimental results, the trend of the parameter's change can be demonstrated more clearly. During the

experiment, the voltage varied from 1.0 V to 2.4 V. In this case, the angle of incidence was changed from 11.4° to 90°, and the following result was obtained. We can see from the figure that a good result was achieved around the angle of incidence 43°[5].

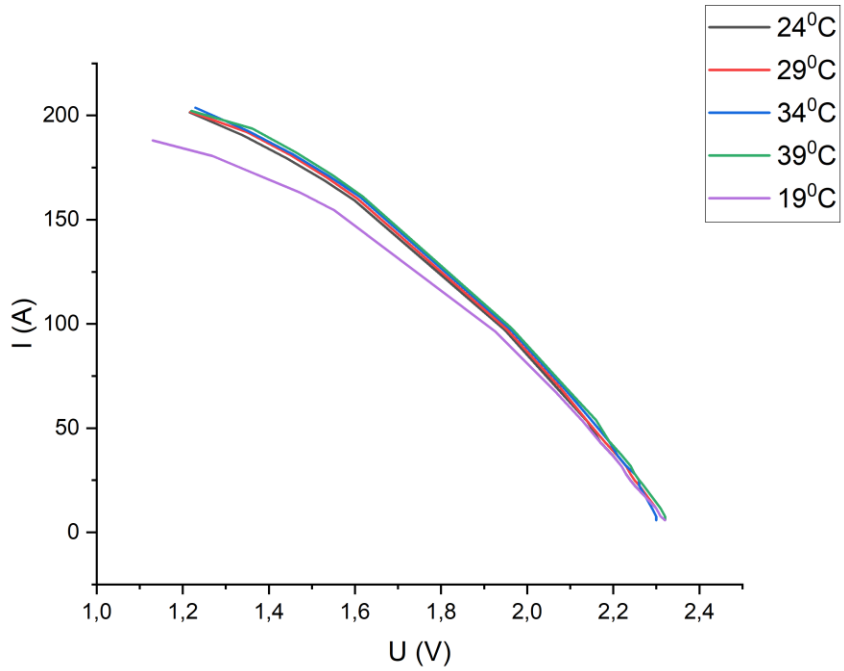


Figure 1. Studying the dependence of the filling coefficient on the angle of incidence during the experimental process

Table 1.

N 0	Angle of incidence	Fill Factor - FF
1	11	2.30
2	27	2.24
3	43	2.18
4	69	2.08
5	90	1.22

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{sc} \cdot U_{oc}} = \frac{I_m \cdot U_m}{I_{sc} \cdot U_{oc}} \qquad (1)$$

Formula (1) is the formula for determining the Fill Factor of a solar cell. The results of the table above were calculated using formula (1).

CONCLUSION

As a result of the conducted analysis, changes in the electrical parameters of the solar cell were observed depending on the conditions of solar radiation penetration. The experimental data revealed a significant decrease in the studied parameter under specific conditions. When the angle of incidence of the sun's rays approaches 90°, the filling coefficient decreases sharply. ° The wide angle of the sun's rays

negatively affects the efficiency of the solar panel. These experimental results can be effectively used to explain the physics of photovoltaic elements.

REFERENCES

1. Sze, S. M., & Ng, K. K. (2006). *Physics of Semiconductor Devices*. John Wiley & Sons.
2. Nelson, J. (2003). *The Physics of Solar Cells*. Imperial College Press.
3. Green M.A. Solar Cells: Operating Principles, Technology, and System Applications. — Prentice-Hall, 1982. — 274 p.
4. Fahrenbruch A.L., Bube R.H. Fundamentals of Solar Cells: Photovoltaic Solar Energy Conversion. — Academic Press, 1983.
5. Green M.A. Solar cell fill factors: General graph and empirical expressions // *Solid-State Electronics*. — 1981. — Vol. 24, No. 8. — P. 788–789. — DOI: 10.1016/0038-1101(81)90062-9.

"AHOLI XONADONLARINI ISITISHDA QUYOSH ENERGIYASIDAN FOYDALANISHNING INNOVATSION VA ENERGIYA TEJOVCHI YECHIMLARI"

Mashrapova Iroda Ravshanbekovna
Farg’ona davlat texnika universiteti

Hozirgi kunda neft, ko‘mir va konlarining borgan sari tugab borayotganligi global energiya falokatiga yetaklamoqda. Buning uchun qayta tikalanadigan energiya manbalari va energiyani tejash kelajakda ham yaxshi yashash uchun najot yo‘li bo‘lib, dunyo aholisining asosiy qismini omon qolishini ta’minlaydi. Tuganmas va qayta tiklanadigan tabiiy resurslardan energiya olish imkoniyatiga ega bo’lgan qurilmalar an’anaviy xom ashyolarga qaramlikni bartaraf etadi. Qayta tiklanuvchi energiya manbalariga butunlay o‘tish kelajakdagi energiya tanqisligi muammosini bartaraf etish imkonini beradi.

Uylarimizni isitish va sanoat jarayonlarini quvvatlantirish ko‘pincha qazib olinadigan yoqilg‘ilarni yoqishga tayanadi va uglerod chiqindilariga sezilarli hissa qo‘shadi. Dunyo yashil energiya yechimlariga intilar ekan, innovatorlar quyosh energiyasidan foydalanishning yangi usullarini o‘rganmoqda.

Isitish global energiya iste’molining katta qismini tashkil qiladi. Qishda uylarimizni issiq tutishdan tortib, son-sanoqsiz sanoat jarayonlarini issiqlik bilan ta'minlashgacha bo'lgan talab juda katta. Ushbu talabning katta qismi atmosferaga katta miqdorda issiqxona gazlarini chiqaradigan tabiiy gaz, ko‘mir yoki neftni yoqish orqali qondiriladi. Qazib olinadigan yoqilg‘iga bog‘liqlik nafaqat iqlim o‘zgarishiga olib keladi, balki bizni energiya narxlarining o‘zgaruvchanligi va ta'minot zanjiri uzilishlariga qarshi himoyasiz qoldiradi. Yuqori samarali, qayta tiklanadigan muqobillarni topish energiya mustaqilligi va ekologik barqarorlikka erishish uchun juda muhimdir.

Mamlaktimizda quyosh qurilmalaridan foydalanish o'sib bormoqda, bu energiya narxining yuqoriligi, texnologiyaning rivojlanishi va xarajatlarning kamayishi bilan bog'liq. Mahalliy tashabbuslar va hukumat ko‘rsatmalari qazib olinadigan yoqilg‘iga bog'liqlikni kamaytirish maqsadiga to‘liq mos keladigan yashil energetikaga o’tishni yanada rag‘batlantiradi. Ayni paytda hukumatimiz aholiga qayta tiklanadigan quyosh energiyasi bilan uyni isitish va sovutish kabi qayta tiklanadigan energiya texnologiyalariga sarmoya kiritishga rag'batlantirish uchun aholini rag'batlantirish kabi moliyaviy imtiyozlarni taklif qilmoqda. Quyosh kollektorlaridan foydalanish , suv isitish tizimlari bilan jihozlangan uylar ko'pincha energiyani tejaydigan va ekologik jihatdan qulayroq deb hisoblanadi. Binoning energiya ehtiyojlarini hisobga olgan holda, issiqlik taxminan 80% ni tashkil qiladi, 15% maishiy issiq suv ishlab chiqarish va 65% xonani isitish uchun.

Shu bilan bir qatorda, binoning yoki uning atrofidagi hududning o'ziga xos energiya ehtiyojlarini qondirish uchun tegishli quyosh energiyasi texnologiyalari, masalan, markaziy issiqlik tarmoqlari yoki

sanoat issiqlik ta'minotiga hissa qo'shish uchun uyimizda quyosh qurilmalaridan foydalanishimiz kerak. Ammo o'rnatishning dastlabki xarajatlari muhim omil bo'lishi mumkin bo'lsa-da, uzoq muddatli foyda dastlabki investitsiyalardan ustun turadi. Potensial energiya to‘lovini 50% yoki undan ko‘proq tejash, uglerod izini kamaytirish va hukumat tomonidan rag‘batlantirish bilan aholini bepul elektr energiya , suvni va qish kunlari uyni quyosh energiyasi birgalikda issiqlik nasoslari bilan isitish , to‘g‘ri moliyaviy va ekologik qaror bo‘lishi mumkin.

Quyosh panellari va issiqlik nasosi texnologiyalarini birlashtirish ayniqsa kuchli va tobora dolzarb bo'lgan isitish muammosini hal qiladi. Birgalikda bu yuqori samarali, kam uglerodli tizimlar ko'plab Evropa binolarida allaqachon qo'llanilmoqda. Quyosh nurlanishining 80% gacha bo'lgan issiqqa aylantira oladigan quyosh kollektorlari va issiqlik nasoslarini birgalikda qo’llanishi maishiy issiq suvni oldindan qizdirishi yoki xonani isitish va sovutishni ta'minlashi mumkin. Bu issiqlik nasosidagi yukni kamaytiradi, bu esa uning yanada samarali ishlashiga imkon beradi. Natijada, kombinatsiyalangan tizim kamroq elektr energiyasini iste'mol qiladi, bu esa energiya uchun to'lovlarni kamaytirishga va energiya narxlarining o'zgarishidan ko'proq himoya qilishga olib keladi

Qazib olinadigan an’anaviy yoqilg‘i resurslarining kamayishi va global ekologik inqiroz dunyoni muqobil, yashil energiya manbalariga zudlik bilan o‘tishga majbur qilmoqda. Ayniqsa, iste'molning qariyb 80 foizini tashkil etuvchi isitish va issiq suv tizimlarida quyosh qurilmalari hamda issiqlik nasoslaridan birgalikda foydalanish bu muammoning eng samarali yechimidir.

Quyosh panellari va issiqlik nasoslarini birgalikda qo’llash, binoga integratsiya qilish uning bozor qiymatini sezilarli darajada oshirishi mumkin. Ushbu texnologiya mahalliy energiya xarajatlarini barqaror ravishda kamaytiradi, bu esa aholi va kelajakdagi xaridorlarga to'g'ridan-to'g'ri iqtisodiy foyda keltiradi. Energiya narxlarining ko'tarilishi va operatsion xarajatlardan xavotirning kuchayishi sharoitida, bu uzoq muddatli tejash mulkni ko'chmas mulk bozorida yanada jozibador qiladi.

An’anaviy havo-suv issiqlik nasoslari qishda tashqi havo -15 C gacha sovuganda o’z samaradorligini yo’qotadi va ko’p tok satflaydi.Gibrid tizimda esa quyosh kollektorlari qish kunlarida ham suvni kamida +15C gacha isitib beradi.Issiqlik nasosi sovuq havodan emas , aynan tayyor iligan suvdan energiya oladi.Natijada qishda ham kompressor yuklamasi kamayadi va energiya tejash 30-40% ga ortadi.

Quyosh elektr stansiyalari va issiqlik nasosi tizimi asosida , shuningdek, binoning umumiy energiya ko'rsatkichlariga va shuning uchun uning energiya darajasi sertifikatiga ijobiy ta'sir ko'rsatadi. Yuqori energiya reytingi ko'pincha katta moliyaviy qiymat va kuchli bozor pozitsiyasi bilan sinonimdir.

Ushbu iqtisodiy jihatlardan tashqari, Quyosh elektr stansiyalari va issiqlik nasosi tizimi asosida elektr energiyasi o'ziga xos rol o'ynaydi. Ko'rinadigan o'rnatish mavjudligi, me'moriy jihatdan yaxshi integratsiyalashgan, sifat va zamonaviylik belgisi bo'lib xizmat qiladi. Bu iqlim masalalariga sezgir bo'lgan xaridorlarning ko'payishiga olib keladigan aniq va o'lchanadigan ekologik yondashuvni namoyish etadi.

Mamlakatimizda yashil energetikaga o‘tish jarayoni davlat tomonidan moliyaviy imtiyozlar va rag‘batlar orqali faol qo‘llab-quvvatlanmoqda. Garchi quyosh texnologiyalarini o‘rnatish boshida muayyan investitsiyani talab qilsa-da, bu xarajatlar 4.5–6 yil ichida o‘zini to‘liq qoplaydi. Yakunda esa ushbu tizimlar energiya to‘lovlarini 50% gacha tejash, atrof-muhitga zararni kamaytirish hamda aholini uzluksiz, bepul energiya va issiqlik bilan ta’minlash imkonini beradi. Xulosa qilib aytganda, qayta tiklanuvchi energiyaga sarmoya kiritish — ham iqtisodiy, ham ekologik jihatdan kelajak farovonligining yagona kafolatidir.

Foydalanilgan adabiyotlar

1.Morozyuk, T. V. Sovutgich mashinalari va issiqlik nasoslari nazariyasi. Odessa: "Negotsiant" studiyasi, 2006. - 412 p.

2. 2. Xalqaro energetika agentligi (IEA). Issiqlik nasoslari - Energiya tizimi, 2023. - Elektron resurs. 3. Avezova, N. R., Uzoqov, G., Qo‘chqorov, A. A., Oshchepkova, E. A., Shermatova, M. B., Xolmatov, E. S.,

Ergashev, E. A. Issiqlik nasoslari kam uglerodli kelajak kaliti sifatida. 1-qism: O‘zbekistonda tarixiy evolyutsiya va rivojlanish istiqbollari.

4. Safarov, O. F., Radzhabov, M., Komilov, O. S., Abdurahmonov, O. R. Issiqlik nasosini quritish moslamasining eksergiya tahlili // Geliotexnika. - 2009 yil.

5. Rudenko, I. Yu. O'zbekistondagi qishloq maktablari uchun muqobil isitish tizimining (HP + PVS) afzalliklari va xarajatlarini tahlil qilish. Toshkent: Birlashgan Millatlar Tashkilotining Taraqqiyot Dasturi (BMTTD), O‘zbekiston, 2019 yil.

6. Meng, X., Zhou, X., Li, Z. Integratsiyalashgan quyosh va havo manbali issiqlik nasos tizimlarini ko'rib chiqish // Energiyalar. - 2024. - 17. - 6045

KREMNIY KONSENTRATORLI QUYOSH ELEMENTLARINI ISHLAB CHIQARISH VA MODELLASHTIRISH.

Kurbanova Ugolay Xasanovna
TDTU, REM kafedrasi professori, f-m,f-n
E-mail: qurbonovaogiloy965@mail.com
Karimova Shahlo Orif qizi
TDTU "REM" kafedrasi, 1-kurs magistr

ANNOTATSIYA: Kichik o‘lchamli kremniy konsentratsiyalovchi quyosh elementlari ishlab chiqilib, ular past haroratda va o‘rta konsentratsiya diapazonida yaxshi ishlashni ko‘rsatishi aniqlangan . Ushbu ishda yuqoridagi elementlarni ishlab chiqarish texnologiyasi, ularni xarakterlash va xususiyatlari ko’rib chiqilgan. Elementni o'zgartirish samaradorligi, ichki kvant samaradorligi (IKS), ochiq doiradagi kuchlanish (Voc) va qisqa tutashuv oqimi zichligi (Jqt) 1-200 quyosh konsentratsiyasi diapazonida ko'rildi.

Bu effekt o'rganilib va asosiy hududdagi elektr maydonining kuchayishi bilan izohlandi, bu esa asosiy bo'lmagan tok tashuvchilarni yig'ish samaradorligini yaxshilash imkonini ko'satadi. Nihoyat, turli konsentratsiya sathlarida old metall kontaktlar qadamini hisobga olgan holda yacheka dizaynini optimallashtirish uchun raqamli modellardan foydalanildi.

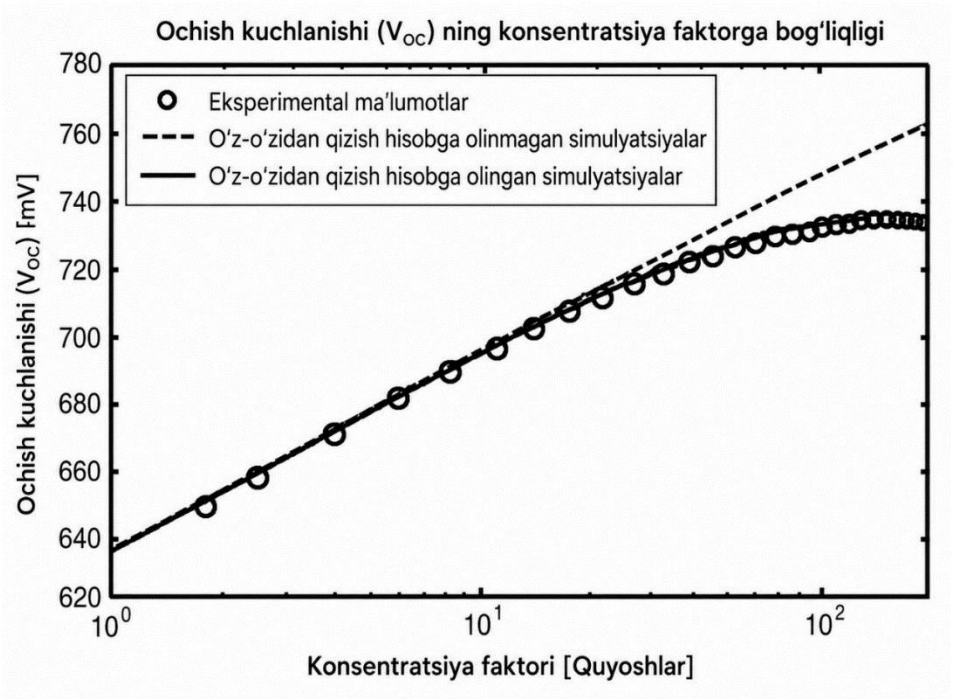
Kalit so'zlar: Konsentratsion yachekalar, kremniy, modellash, opti-mallashtirish.

KIRISH

Kremniy hanuzgacha arzon konsentratsiyali fotoelektr elementlar ishlab chiqishda qiziqish uyg'otadi, ular past va o'rta konsentratsiya diapazonida, 200 quyoshgacha ishlaydi [1]. Taqdim qilinayotgan elementlar 20,8% samaradorlikni 60 quyoshda va 18,6% samaradorlikni 200 quyoshda ta’sirlanishda namoyish qilmoqda, o'zgartirish samaradorligini ko'rsatadi, bu arzon konsentratsiyali fotoelektr elementlarni kelajakda tatbiq etish uchun juda yuqori natijadir. Biroq, ushbu yoritish sharoitida, metallizatsiya dizayni, profilni ko'rib chiqish va texnologik bosqichlarning umumiy sifati kabi ba’zi element xususiyatlari yuqori samaradorlikni ta’minlash uchun juda muhim bo'ladi.

Ushbu ishda raqamli elektr modellashtirishga asoslangan modelni taklif qilindi, u quyosh panellarining elektr xususiyatlari va samaradorligini konsentrlangan yorug'lik sharoitida to'g'ri tasvirlaydi. Ushbu model ma'lum konsentratsiya diapazonida quyosh elemen-tining samaradorligini maksimal darajaga chiqarish uchun ishlatiladi. Ushbu tartibda 1 quyosh yorug'ligi sharoitida ishlaydigan elementlar uchun qo'llanadigan qoidalardan sezilarli darajada farq qiladigan loyihalash qoidalariga olib keladi. Modellashda e'tiborga harakat-chanlikning bog'liqlik qobiliyati va asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar zichligini, shuningdek, Oje va Shokkli-Rid-Xoll rekom-binatsiyasini hisobga oladi. Model yuqori yorug'lik quvvati zichligida

quyosh elementlarini to'g'ri modellashtirishga imkon beradi va yuqori injektsiya effektlarining ba'zilari haqida to'g'ri ma'lumot beradi.



1-rasm.

Tajriba va modellashgan Voc qiymatlari 1- rasmda ko'rsatilgan. Eksperimental Voc (belgilar) kontsentratsiya faktoriga bog'liq. Nuqta bilan chizilgan chiziq doimiy haroratni hisobga olgan holda modulyatsiya qilingan Voc ni ifodalaydi, to'g'ri chiziq esa o'z- o'zidan qizishi hisobga olingani.

Harorat doimiy bo'lganda, Voc nurlanish quvvatiga nisbatan deyarli logarifmik o'shishi kuzatiladi (rasmdagi punktri chiziq). Tajriba o'lchovlari 10 quyoshdan yuqori kontsentratsiya darajalarida ideal logarifmik qonundan farq qiladi. Bu nomuvofiqlik yacheykaning qizishi bilan bog'liq bo'lib, issiqlik hodisalarini hisobga olgan sonli modellash bilan tasdiqlanadi (to'g'ri chiziq).

Adabiyotlar

1. R.A. Sinton va boshqalar, «27,5 foizlik kremniy konsentratorli quyosh batareyalari», IEEE Electron Device Lett., jild 7, № 10 (1986).

2. G. Paternoster va boshqalar, «Konsentratsiyalovchi kremniy fotovoltaik elementlar uchun emitter va metall grid dizaynini optimallashtirish», 26-chi Yevropa quyosh fotovoltaik energiya konferensiyasi materiallari, Gamburg, Germaniya (2011), b. 1467

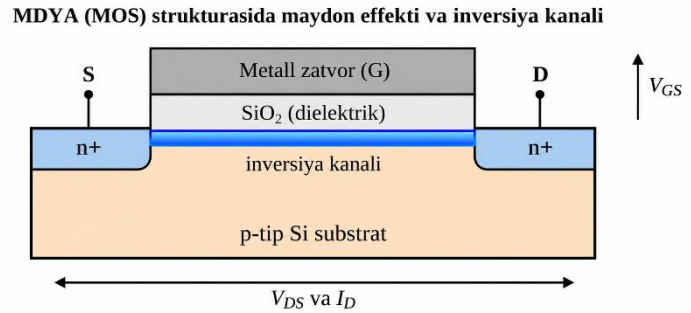
3. P. Bellutti va boshqalar, «So'nggi tajribalar cSiPVda», 3-chi Xalqaro CPV seminar: Optika, materiallar, modullar, iqtisodiy asos - Grids, Bremerhaven, Germaniya, (2010-yil 20-22 oktyabr) Onlayn materiallar.

4. R. De Rose va boshqalar, «Yuqori darajada legirlash profilining selektiv emitterli quyosh elementlarining xususiyatlariga 2D raqamli tahlili», 37-chi IEEE PVSC konferensiyasi, 2011.

MDYA STRUKTURALARINING VOLT-AMPER XARAKTERISTIKALARI

[1]Abdulxayev Abrorbek Abdulloxon o‘g‘li — fizika-matematika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD)
[2]Qo’chqorov Bekzod Hoshimjanovich — fizika-matematika fanlari doktori, dotsent
[1]Nosirdinov Islomiddin Qutpiddin o‘g‘li — erkin tadqiqotchi,
[1]Namangan davlat texnika universiteti; [2]Impuls tibbiyot instituti
e-mail: abdulxayev2308@gmail.com

MDYA strukturasining fizik mohiyati metall zatvor bilan yarimo‘tkazgich orasidagi yupqa dielektrik qatlam orqali sirt yaqinidagi zaryad tashuvchilar konsentratsiyasini elektr maydon yordamida boshqarishdan iborat. Berilgan o‘quv manbasining 6.3-bo‘limida maydon effekti yarimo‘tkazgich sirtining asosiy zaryad tashuvchilar bilan boyishi yoki kambag‘allashishi, katta sirt potensialida esa o‘tkazuvchanlik turining inversiyalanishi orqali tushuntirilgan [6, 137–140-betlar]. MIT materiallarida ham MOS kondensatorning akkumulyatsiya, depletion va inversion rejimlari MOSFET kanalining elektrostatik asoslari sifatida qaraladi [1,2].



1-rasm. *MDYA (MOSFET) strukturasining soddalashtirilgan ko‘rinishi va inversiya kanali.*

p-tip yarimo‘tkazgich uchun musbat zatvor kuchlanishi sirt yaqinidagi kovaklarni siqib chiqarib, kambag‘allashish qatlamini hosil qiladi. Kuchlanish yanada oshirilganda elektronlar sirtga tortiladi va kuchli inversiya yuzaga keladi. Berilgan manbada inversiya boshlanishi sirt potensialining bo‘sag‘aviy qiymati bilan bog‘lanib, $\varphi S \approx 2\varphi T \ln(NA/ni)$ ifoda keltirilgan [6, 140-bet]. MIT materiallarida bu holat threshold kuchlanish VT va kanal hosil bo‘lishi bilan bog‘lanadi [1,3].

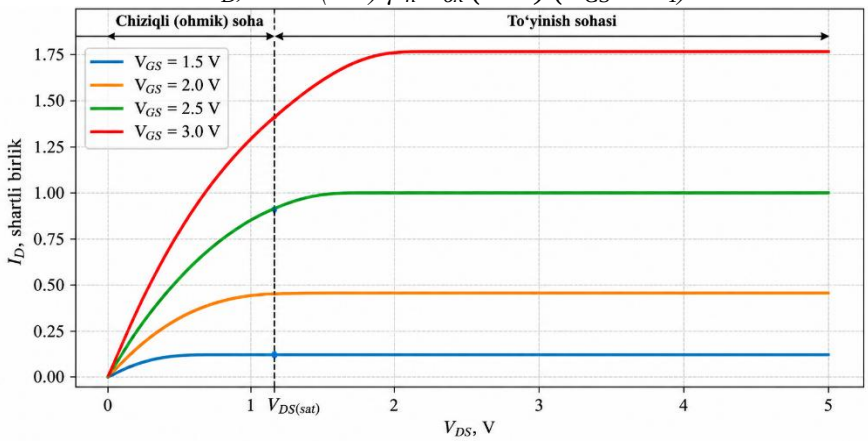
Ikki elektrodli MOS kondensator uchun asosiy elektr xarakteristika odatda C–V bo‘lsa, uch elektrodli MOSFET uchun asosiy V-A xarakteristikalar I_D–V_{DS} chiqish va I_D–V_{GS} uzatish xarakteristikalaridir [1,2]. Shuning uchun MDYA strukturalarining V-A xususiyatlarini tahlil qilishda MDYA asosidagi MOSFETning stok toki va kuchlanishlari orasidagi bog‘lanish ko‘rib chiqiladi. Ideal uzun kanalli n-MDYA tranzistorida $V_{GS} \leq VT$ bo‘lganda kanal mavjud emas va $I_D \approx 0$. $V_{GS} > V_T$ bo‘lganda V_{DS} kichik qiymatlarda chiziqli (ohmik, triode) soha yuzaga keladi. Bu sohada [1,3,4]:

$$I_D = \mu_n C_{ox} (W/L) [(V_{GS} - V_T)V_{DS} - V^2_{DS}/2].$$

Bu yerda μ_n — elektronlar harakatchanligi, Cox — dielektrikning birlik yuzadagi sig‘imi, W va L — kanal kengligi va uzunligi, VT — threshold kuchlanish. Chiziqli soha $V_{DS} < V_{GS} - VT$ sharti bilan chegaralanadi. V_{DS} oshganda stok tomonidagi kanal torayadi va pinch-off boshlanib, tranzistor to‘yinish sohasiga o‘tadi [1,3,4].

To‘yinish sohasida $V_{DS} \geq V_{GS} - V_T$ bo‘lib, ideal modelda [1,3,4]:

$$I_{D,sat} = (1/2)\,\mu_n C_{ox}\,(W/L)\,(V_{GS} - V_T)^2.$$



2-rasm. *Ideal uzun kanalli n-MDYA tranzistorining nazariy I_D–V_{DS} chiqish V-A xarakteristikalari.*

V_{GS} oshishi inversiya qatlamidagi elektronlar konsentratsiyasini va kanal o‘tkazuvchanligini oshiradi; shu sababli to‘yinish toki ortadi va I_D–V_{GS} uzatish xarakteristikasi threshold nuqtasidan keyin ideal modelda kvadrat qonunga yaqinlashadi [3,4]. Real qurilmalarda harakatchanlikning maydonga bog‘liqligi, kanal uzunligi modulyatsiyasi, body effect, qisqa kanal effektlari va harorat ideal modeldan og‘ishlarga sabab bo‘ladi [2,5]. Kanal uzunligi modulyatsiyasi mavjud bo‘lganda to‘yinish toki VDS ga kichik darajada bog‘liq bo‘lib, soddalashtirilgan holda $I_D \approx I_{D,sat}(1+\lambda V_{DS})$ bilan ifodalanadi [3,5]. MDYA strukturasining elektrostatikasi va V-A xarakteristikasi o‘rtasidagi sabab–natija zanjiri quyidagicha ifodalanadi: zatvor kuchlanishi → sirt potensialining o‘zgarishi → kambag‘allashish/inversiya → kanal zaryadining shakllanishi → stok toki. Demak, V-A xarakteristikaning shakli faqat tashqi V_{GS} va V_{DS} ga emas, balki dielektrik qalinligi, yarimo‘tkazgich legirlanishi, tashuvchilar harakatchanligi, kanal geometriyasi va haroratga ham bog‘liq [2, 4–6].

Xulosa. MDYA strukturasida elektr maydon yordamida sirt zaryad tashuvchilarini boshqarish MOSFET kanalining shakllanishiga olib keladi. Kanal hosil bo‘lgach, ID–VDS xarakteristika cutoff, chiziqli va to‘yinish sohalariga ajraladi. VGS ortishi to‘yinish tokini oshiradi, VT esa kanal hosil bo‘lish chegarasini belgilaydi. Shu bois MDYA strukturasining elektrostatik jarayonlarini tushunish uning V-A xarakteristikasini fizik jihatdan izohlashning asosiy shartidir [1–6].

Foydalanilgan adabiyotlar

[1] Aripov X.K., Abdullayev A.M., Alimova N.B., Bustanov X.X., Obyedkov Y.V., Toshmatov Sh.T. Elektronika: darslik. — Toshkent: O‘zbekiston faylasuflari milliy jamiyati nashriyoti, 2012. — 400 b. — 137–140-b.

[2] MIT OpenCourseWare. Lecture 9: MOS Capacitors I — accumulation, depletion, inversion, VT.

[3] MIT OpenCourseWare. Lecture 8: MOSFET I-V Characteristics — cutoff, linear and saturation.

[4] Leach, W. M. Jr. Georgia Tech. MOSFET notes: transfer/output characteristics and saturation.

[5] University of Illinois ECE. n-channel MOSFET: threshold voltage, I–V relations and channel-length modulation.

[6] Mamatkarimov O. O. va boshqalar. “MDY — tuzilma va maydon effekti”, 137–140-betlar.

PCM INTEGRATSIYALASHGAN GIDRONIK RADIANT POL TIZIMINING ENERGIYA SAMARADORLIGINI OSHIRISHDA Al_2O_3/SUV NANOSUYUQLIGIDAN FOYDALANISH

S.I. Khamraev
Qarshi davlat texnika universiteti, Energetika muhandisligi kafedrasi t.f.f.d., dotsent.
Qarshi, O‘zbekiston. E-mail: xamrayevs@bk.ru

Binolarning isitish tizimlarida energiya iste’molini kamaytirish va qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan samarali foydalanish zamonaviy energetikaning dolzarb vazifalaridan biridir. Past haroratli gidronik radiant pol tizimlari an’anaviy radiatorli isitish tizimlariga nisbatan pastroq issiqlik tashuvchi haroratida ishlashi sababli quyosh issiqlik kollektorlari va boshqa past potensialli issiqlik manbalari bilan integratsiyalash uchun istiqbolli hisoblanadi[1]. Biroq bunday tizimlarning issiqlik inersiyasi, issiqlik oqimining vaqt bo‘yicha notekisligi va issiqlik tashuvchining cheklangan termofizik xususiyatlari tizim samaradorligini oshirish imkoniyatlarini cheklaydi.

Ushbu muammoni hal qilishning istiqbolli yo‘nalishlaridan biri faza o‘zgaruvchan materiallar (PCM) yordamida issiqlik energiyasini akkumulyatsiyalash hamda an’anaviy suv o‘rniga yuqori issiqlik o‘tkazuvchanlik xususiyatlariga ega nanosuyuqliklardan foydalanishdir. PCM issiqlik yuklamasining vaqt bo‘yicha o‘zgarishini yumshatish imkonini bersa, Al_2O_3 nanozarrachalarining asosiy suyuqlikka kiritilishi issiqlik tashuvchining samarali issiqlik o‘tkazuvchanligini oshirish imkoniyatini yaratadi.

Mavjud tadqiqotlarda PCM asosidagi issiqlik akkumulyatsiyasi va nanosuyuqliklarning issiqlik uzatish xususiyatlari keng o‘rganilgan bo‘lsa-da, ularning gidronik radiant pol tizimida o‘zaro bog‘langan termik ta’sirini baholash masalasi qo‘shimcha tadqiqotlarni talab qiladi. Shu sababli Al_2O_3/suv nanosuyuqligi va PCMning birgalikdagi ta’sirini gidronik radiant pol tizimida kompleks baholash muhim ilmiy masala hisoblanadi. Ushbu ishning maqsadi Al_2O_3/suv nanosuyuqligi konsentratsiyasining PCM integratsiyalashgan gidronik radiant polning issiqlik uzatish xususiyatlariga ta’sirini nazariy jihatdan baholashdan iborat.

Tadqiqot obyekti sifatida past haroratli gidronik radiant pol tizimi qabul qilindi. Hisoblash modelida pol konstruksiyasi yuqoridan pastga qarab 10 mm keramik plitka, PEX quvurlari joylashtirilgan 50 mm sementli styajka, 20 mm RT28 turidagi PCM qatlami, 0.1 mm alyuminiy reflektiv folga, 30 mm XPS issiqlik izolyatsiyasi va 100 mm temir-beton asosdan tashkil topgan.

Issiqlik tashuvchi sifatida suv va Al_2O_3/suv nanosuyuqligi qaraldi. Nanozarrachalarning hajmiy konsentratsiyasi

$$0 \leq \varphi \leq 1.0\% \tag{1}$$

oralig‘ida o‘zgartirildi.

Nanosuyuqlikning samarali zichligi aralashma modeli asosida quyidagicha aniqlanadi:

$$\rho_{nf} = (1-\varphi)\rho_f + \varphi\rho_p, \tag{2}$$

bu yerda ρ_{nf} - nanosuyuqlik zichligi; ρ_f - asosiy suyuqlik zichligi; ρ_p - Al_2O_3 nanozarrachalari zichligi; φ - nanozarrachalarning hajmiy ulushi.

Nanosuyuqlikning samarali issiqlik sig‘imi:

$$(\rho c_p)_{nf} = (1-\varphi)(\rho c_p)f + \varphi(\rho c_p)_p. \tag{3}$$

Samarali issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyentini baholash uchun Maxwell modeli qo‘llanildi[2]:

$$k_{nf} = k_f \frac{k_p + 2k_f + 2\varphi(k_p - k_f)}{kp + 2k_f - \varphi(k_p - k_f)}. \tag{4}$$

Quvur ichidagi oqim uchun Reynolds soni:

$$Re = \frac{\rho_{nf}\, uD}{\mu_{nf}}, \tag{5}$$

bu yerda u - nanosuyuqlikning o‘rtacha tezligi, D - quvurning ichki diametri va μ_{nf} - dinamik qovushqoqlik.

Pol konstruksiyasidagi issiqlik uzatish Furye qonuni bilan ifodalanadi:

$$q = -k\nabla T, \tag{6}$$

issiqlik oqimi modulining qiymati esa

$$|\, q \,| = (q_x^2 + q_y^2)^{1/2}| \tag{7}$$

ko‘rinishida aniqlanadi.

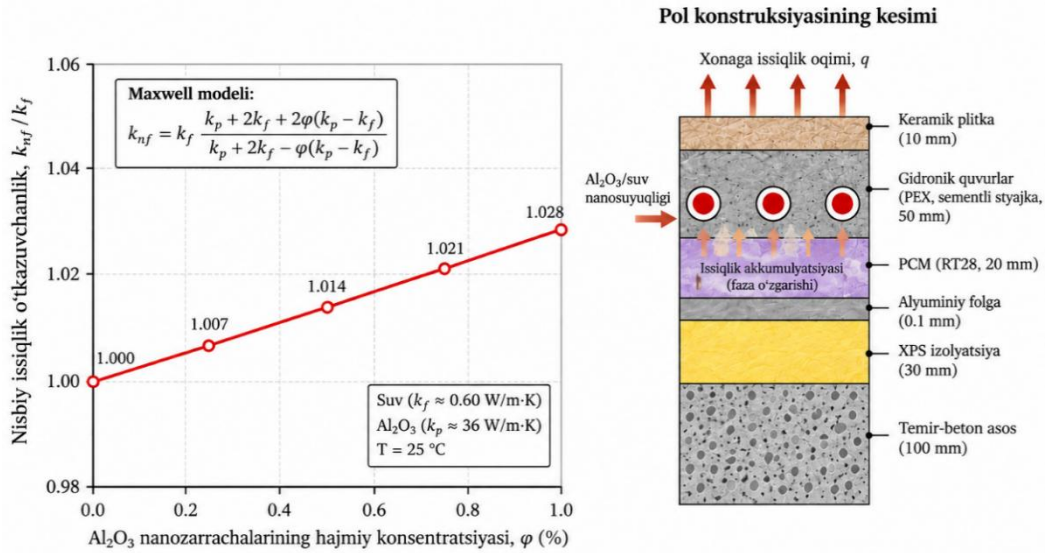
PCM qatlamidagi fazaviy o‘tish jarayoni entalpiya usuli asosida tavsiflanadi:

$$H = h + \beta L, \tag{8}$$

bu yerda H - umumiy entalpiya, h - sezilarli issiqlik entalpiyasi, L - PCMning yashirin erish issiqligi va β - suyuq faza ulushi.

Shunday qilib, modelda nanosuyuqlikning termofizik xususiyatlari, quvur ichidagi konvektiv issiqlik almashinuvi, pol qatlamlaridagi issiqlik o‘tkazuvchanligi va PCMning fazaviy o‘tishi o‘zaro bog‘langan holda hisobga olinadi.

Nazariy tahlil Al_2O_3 nanozarrachalarining suvga qo‘shilishi issiqlik tashuvchining samarali issiqlik o‘tkazuvchanligini oshirishini ko‘rsatadi. Maxwell modeli bo‘yicha hisoblangan nisbiy issiqlik o‘tkazuvchanlik k_{nf}/k_f qiymati nanozarrachalar hajmiy ulushi ortishi bilan monoton ravishda oshadi.



1-rasm. Al_2O_3/suv nanosuyuqligi konsentratsiyasining nisbiy issiqlik o‘tkazuvchanligiga ta’siri va PCM integratsiyalashgan gidronik radiant pol tizimining konstruktiv sxemasi.

1-rasmdan ko‘rinadiki, $T = 25 \circ C$ sharoitida Al_2O_3 nanozarrachalarining hajmiy konsentratsiyasi 0 dan 1,0% gacha oshirilganda Maxwell modeli bo‘yicha nanosuyuqlikning nisbiy issiqlik o‘tkazuvchanligi 1,000 dan 1,028 gacha ortadi. Ushbu termofizik o‘zgarish gidronik quvurlardan sementli qatlam va PCM tomon issiqlik uzatilishini intensivlashtirish uchun asos yaratadi. RT28 PCM qatlami esa fazaviy o‘tish jarayonida issiqlik energiyasini akkumulyatsiyalash orqali tizimning issiqlik inersiyasini oshiradi.

Al_2O_3 nanozarrachalari hajmiy konsentratsiyasining nanosuyuqlik issiqlik o‘tkazuvchanligiga hisobiy ta’siri 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval.

Al_2O_3 hajmiy konsentratsiyasining nanosuyuqlik issiqlik o‘tkazuvchanligiga hisobiy ta’siri

$\varphi, vol.\%$	k_{nf}/k_f	k ning nisbiy ortishi, %
0.00	1.000	0.00
0.25	≈1.007	≈0.7
0.50	≈1.014	≈1.4
0.75	≈1.021	≈2.1
1.00	≈1.028	≈2.8

Nanozarrachalar konsentratsiyasining oshishi quvur devori va issiqlik tashuvchi orasidagi issiqlik almashinuvini kuchaytirish uchun termofizik asos yaratadi. Konsentratsiya ortishi nanosuyuqlik qovushqoqligining oshishiga, gidravlik qarshilik va nasos uchun talab qilinadigan energiyaning ko‘payishiga olib kelishi mumkin. Biroq nanozarrachalar miqdorini cheksiz oshirish energetik nuqtai nazardan maqsadga muvofiq emas. Konsentratsiya ortishi nanosuyuqlik qovushqoqligining oshishiga, gidravlik qarshilik va nasos uchun talab qilinadigan energiyaning ko‘payishiga olib kelishi mumkin. Shuning uchun tizim samaradorligini faqat issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyentining ortishi orqali baholash yetarli emas. Optimal nanosuyuqlik konsentratsiyasi issiqlik uzatishdagi yutuq va gidravlik yo‘qotishlar o‘rtasidagi muvozanat asosida aniqlanishi lozim.

PCM issiqlik yuklamasining vaqt bo‘yicha o‘zgarishini yumshatish imkonini bersa [5], Al_2O_3 nanozarrachalarining asosiy suyuqlikka kiritilishi issiqlik tashuvchining samarali issiqlik o‘tkazuvchanligini oshirish imkoniyatini yaratadi [3,4]. Ularning kombinatsiyasi past haroratli isitish tizimining termik boshqaruv imkoniyatlarini kengaytiradi.

Nazariy tahlil Al_2O_3 nanozarrachalarining hajmiy konsentratsiyasini 0 dan 1.0 vol.% gacha oshirish nanosuyuqlikning samarali issiqlik o‘tkazuvchanligini oshirishini ko‘rsatdi. Maxwell modeli bo‘yicha 1.0 vol.% Al_2O_3 konsentratsiyasida $\frac{k_{nf}}{k_f} = 1{,}028k$ bo‘lib, bazaviy suvga nisbatan nazariy ortish taxminan 2.8% ni tashkil etdi. Nanosuyuqlikning yaxshilangan termofizik xususiyatlari va 20 mm RT28 PCM qatlamining latent issiqlik akkumulyatsiyasi gidronik radiant pol tizimida issiqlik uzatish va akkumulyatsiyalash jarayonlarini birlashtirish imkonini beradi. Keyingi tadqiqotlarda optimal Al_2O_3 konsentratsiyasini aniqlash uchun issiqlik uzatish samaradorligi, gidravlik qarshilik va nasos energiyasi o‘zaro bog‘langan holda baholanishi lozim.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Khamraev S., Kamolov B., Tadjiboyev S., Axmedova B., Burieva N., Ochilov M., Samatova S., Sharopov U. Experimental and theoretical analysis of thermo-hydraulic performance of a solar-collector-based hydronic floor heating system under climatic conditions of Uzbekistan. *Energy*. 2026;348:140399. https://doi.org/10.1016/j.energy.2026.140399.
2. Maxwell J.C. *A Treatise on Electricity and Magnetism*. Oxford: Clarendon Press; 1873.
3. Choi S.U.S., Eastman J.A. Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles. *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. 1995.
4. Khanafer K., Vafai K. A critical synthesis of thermophysical characteristics of nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2011;54:4410–4428.
5. Cabeza L.F., Castell A., Barreneche C., de Gracia A., Fernández A.I. Materials used as PCM in thermal energy storage in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011;15:1675–1695.

QUYOSH–ISSIQLIK NASOSLI TIZIMDA HARORAT REJIMINING ISSIQLIK NASOSI SAMARADORLIK KOEFFITSIYENTIGA TA’SIRINI PARAMETRIK TAHLIL QILISH

Mirzayeva Aziza Oydin qizi
Sanoat issiqlik energetikasi magistranti
Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

Binolarning issiqlik ta’minotida qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish va elektr energiyasi sarfini kamaytirish zamonaviy energetikaning dolzarb vazifalaridan biridir. Quyosh energiyasini issiqlik nasosi bilan integratsiyalash past potensialli issiqlik manbai haroratini oshirish va kompressor zimmasidagi termodinamik yuklamani kamaytirish imkonini beruvchi istiqbolli texnologik yechim hisoblanadi [1–3].

Quyosh–issiqlik nasosli tizimning energetik samaradorligi quyosh radiatsiyasi, tashqi muhit harorati, issiqlik tashuvchining harorati hamda issiqlik nasosining bug‘lanish va kondensatsiya haroratlariga bog‘liq. Issiqlik nasosining ishlashida bug‘latgich va kondensator orasidagi harorat ko‘tarilishi kompressor energiya sarfiga va tizimning issiqlik samaradorlik koeffitsiyentiga (COP) bevosita ta’sir etuvchi asosiy termodinamik omillardan biridir [3,4].

Avvalgi tadqiqotlarda quyosh–issiqlik nasosli tizimlarning umumiy energetik ko‘rsatkichlari va ish rejimlari keng o‘rganilgan bo‘lsa-da, muayyan harorat diapazonlarida bug‘lanish va kondensatsiya haroratlarining COPga kombinatsiyalangan ta’sirini parametrik baholash optimal harorat rejimlarini asoslashda muhim ahamiyatga ega. Ayniqsa, quyosh energiyasidan issiqlik nasosining past haroratli manbasini qo‘llab-quvvatlash uchun foydalanilganda bug‘lanish haroratining o‘zgarishi tizim samaradorligiga qanday ta’sir ko‘rsatishini aniqlash zarur.

Tadqiqotning maqsadi quyosh–issiqlik nasosli tizimda bug‘lanish harorati T_e va kondensatsiya harorati T_c o‘zgarishining issiqlik nasosining nazariy isitish samaradorlik koeffitsiyentiga ta’sirini parametrik tahlil qilishdan iborat.

Tadqiqotda quyosh energiyasi bilan integratsiyalashgan issiqlik nasosining isitish rejimi ko‘rib chiqildi. Quyosh issiqlik konturi past haroratli manbani qo‘llab-quvvatlovchi issiqlik manbai sifatida qaraldi. Parametrik tahlilda issiqlik nasosining bug‘lanish harorati $T_e$va kondensatsiya harorati T_c asosiy o‘zgaruvchan parametrlar sifatida qabul qilindi.

Issiqlik nasosining isitish rejimidagi samaradorlik koeffitsiyenti:

$$COP_h = \frac{Q^{\cdot}{}_h}{W_{comp}}, \quad (1)$$

bu yerda COP_h – issiqlik nasosining isitish rejimidagi samaradorlik koeffitsiyenti; $Q^{\cdot}{}_h$ – kondensator orqali isitish konturiga uzatiladigan foydali issiqlik quvvati, W; W_{comp} – kompressor tomonidan iste’mol qilinadigan elektr quvvati, W.

Harorat rejimining COPga ta’sirini nazariy jihatdan baholash uchun qaytar Karno issiqlik nasosi siklining chegaraviy samaradorlik koeffitsiyentidan foydalanildi:

$$COP_{h,C} = \frac{T_c}{T_c - T_e}, \quad (2)$$

bu yerda T_c – kondensatsiya harorati, K; T_e – bug‘lanish harorati, K.

Selsiy shkalasidagi haroratlarni mutlaq haroratga o‘tkazish:

$$T(K) = t(\circ C) + 273.15 \quad .(3)$$

Parametrik hisoblashlarda bug‘lanish harorati:

$$T_e = 0,\ 5,\ 10,\ 15 \circ C, \quad (4)$$

kondensatsiya harorati esa:

$$T_c = 35,\ 40,\ 45,\ 50 \circ C \quad (5)$$

qiymatlarda o‘zgartirildi. Natijada 16 ta harorat kombinatsiyasi uchun nazariy $COP_{h,C}$ qiymatlari hisoblandi.

Harorat ko‘tarilishi quyidagicha aniqlandi:

$$\Delta T = T_c - T_e. \quad (6)$$

Shunday qilib, parametrik model:

$$COP_{h,C} = f(T_e, T_c) \quad (7)$$

funksional bog‘lanish asosida shakllantirildi.

Hisoblash natijalari bug‘lanish va kondensatsiya haroratlarining issiqlik nasosi nazariy samaradorligiga qarama-qarshi yo‘nalishda ta’sir qilishini ko‘rsatdi. Kondensatsiya harorati o‘zgarmagan sharoitda T_e ning oshirilishi $T_c - T_e$, harorat ko‘tarilishini kamaytiradi va natijada $COP_{h,C}$ ortadi. Aksincha, bug‘lanish harorati o‘zgarmaganda kondensatsiya haroratining oshishi harorat ko‘tarilishini kattalashtirib, nazariy COP qiymatini kamaytiradi.

Bug‘lanish va kondensatsiya haroratlarining nazariy $COP_{h,C}$ qiymatiga ta’siri bo‘yicha parametrik hisoblash natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval.

Bug‘lanish va kondensatsiya haroratlarining nazariy $COP_{h,C}$ qiymatiga ta’siri

$T_e, \circ C$	$T_c = 35 \circ C$	$T_c = 40 \circ C$	$T_c = 45 \circ C$	$T_c = 50 \circ C$
0	8.80	7.83	7.07	6.46
5	10.27	8.95	7.95	7.18
10	12.33	10.44	9.09	8.08
15	15.41	12.53	10.61	9.23

1-jadval natijalariga ko‘ra, $T_e, \circ C$ bo‘lganda kondensatsiya haroratining 35 dan 50 °C gacha oshishi nazariy $COP_{h,C}$ qiymatini 8.80 dan 6.46 gacha kamaytiradi. Bu taxminan 26.6% pasayishga mos keladi. Mazkur natija kondensatsiya haroratini asossiz ravishda oshirish issiqlik nasosining termodinamik samaradorligi uchun noqulay ekanligini ko‘rsatadi.

Bug‘lanish haroratining ta’siri yanada yaqqol namoyon bo‘ladi. Masalan, $T_c = 45 \circ C$ o‘zgarmas sharoitda T_e ning 0 dan 15 °C gacha oshishi $COP_{h,C}$ qiymatini 7.07 dan 10.61 gacha oshiradi, ya’ni nazariy ko‘rsatkich taxminan 50.0% ortadi. Buning asosiy sababi harorat ko‘tarilishining:

$$\Delta T = 45 - 0 = 45\ K$$

dan

$$\Delta T = 45 - 15 = 30\ K$$

gacha kamayishidir.

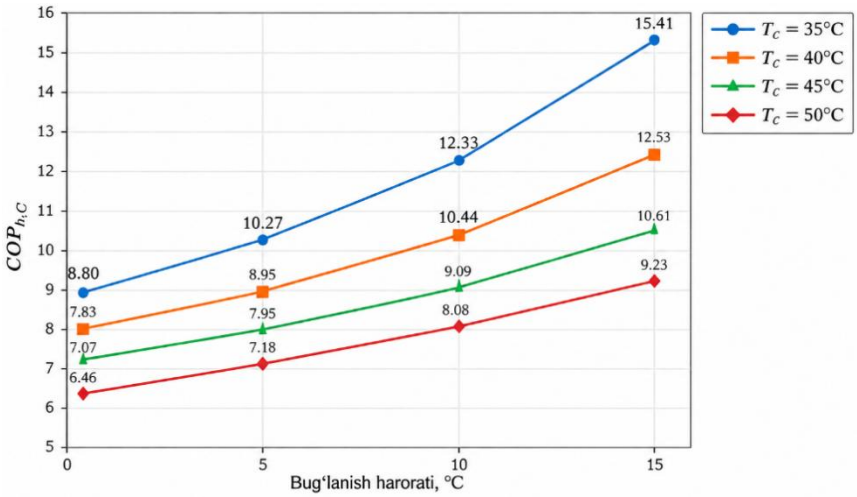
Olingan parametrik natijalar asosida harorat rejimining COPga ta’sirini quyidagi bog‘lanish orqali umumlashtirish mumkin:

$$T_e \uparrow \Rightarrow (T_c - T_e) \downarrow \Rightarrow COP_{h,C} \uparrow, \quad (8)$$

$$T_c \uparrow \Rightarrow (T_c - T_e) \uparrow \Rightarrow COP_{h,C} \downarrow. \quad (9)$$

Bug‘lanish haroratining turli kondensatsiya haroratlarida nazariy $COP_{h,C}$ qiymatiga ta’siri 1-rasmda grafik ko‘rinishda keltirilgan.

1-rasmdan ko‘rinadiki, $T_c = 45 \circ C$ da bug‘lanish harorati 0 dan 15 °C gacha oshirilganda nazariy $COP_{h,C}$ 7,07 dan 10,61 gacha ortadi. $T_e = 0 \circ C$ da esa kondensatsiya harorati 35 dan 50 °C gacha oshganda $COP_{h,C}$, 80 dan 6,46 gacha kamayadi.



1-rasm. Turli kondensatsiya haroratlarida bug‘lanish haroratining nazariy $COP_{h,C}$ qiymatiga ta’siri.

Parametrik tahlil shuni ko‘rsatadiki, quyosh energiyasidan faqat qo‘shimcha issiqlik ishlab chiqarish manbai sifatida emas, balki issiqlik nasosining past potensialli issiqlik manbai haroratini qo‘llab-quvvatlash uchun foydalanish ham termodinamik jihatdan muhimdir. Bug‘lanish haroratining oshishi kompressor tomonidan ta’minlanishi zarur bo‘lgan harorat ko‘tarilishini kamaytiradi. Shu sababli quyosh konturi va issiqlik nasosi ish rejimlarini o‘zaro muvofiqlashtirish tizim samaradorligini oshirishning nazariy asoslaridan biri hisoblanadi.

Biroq Karno modeli real kompressor, issiqlik almashgichlardagi harorat farqlari, bosim yo‘qotishlari, sovutgich agentining xususiyatlari va yordamchi qurilmalar elektr sarfini hisobga olmaydi. Shu sababli 1-jadvaldagi qiymatlar real qurilma samaradorligini emas, harorat rejimining COPga termodinamik ta’sir yo‘nalishi va nazariy chegarasini tavsiflaydi. Keyingi bosqichda ushbu parametrik natijalarni real issiqlik nasosi yoki eksperimental ma’lumotlar bilan validatsiya qilish maqsadga muvofiq.

Quyosh–issiqlik nasosli tizimda bug‘lanish va kondensatsiya haroratlarining issiqlik nasosi nazariy isitish samaradorlik koeffitsiyentiga ta’siri parametrik tahlil qilindi. $T_e = 0–15 \circ C$ va $T_c = 35–50 \circ C$ diapazonlaridagi 16 ta harorat kombinatsiyasi uchun Carnot modeli asosida COPh qiymatlari hisoblandi. Natijalar bug‘lanish haroratining oshishi va kondensatsiya haroratining kamayishi $T_c - . T_e$ harorat ko‘tarilishini qisqartirib, nazariy COP qiymatini oshirishini ko‘rsatdi. Xususan, $T_c = 45 \circ C$ sharoitida T_e ning 0 dan 15 °C gacha oshishi $COP_{h,C}$ ni 7.07 dan 10.61 gacha, ya’ni taxminan 50.0% oshirdi. Aksincha, $T_e = 0 \circ C$ da Tc ning 35 dan 50 °C gacha oshishi nazariy COPni 8.80 dan 6.46 gacha kamaytirdi. Olingan natijalar quyosh konturidan issiqlik nasosining past haroratli manbasini termik qo‘llab-quvvatlash va tizimning harorat rejimlarini o‘zaro muvofiqlashtirish energetik samaradorlikni oshirish uchun muhim ekanligini ko‘rsatadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Duffie J.A., Beckman W.A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. 4th ed. Hoboken: John Wiley & Sons; 2013.
2. Kalogirou S.A. *Solar Energy Engineering: Processes and Systems*. 2nd ed. Academic Press; 2014.

3. Hepbasli A., Kalinci Y. A review of heat pump water heating systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2009;13:1211–1229.
4. Zhai X.Q., Wang R.Z., Wu J.Y., Dai Y.J., Ma Q. Design and performance of a solar-powered air-conditioning system in a green building. *Applied Energy*. 2008;85:297–311.
5. Ozgener O., Hepbasli A. Performance analysis of a solar-assisted ground-source heat pump system for greenhouse heating: an experimental study. *Building and Environment*. 2005;40:1040–1050.

ISSIQXONA QOPLAMA KONSTRUKSIYASINING ISSIQLIK UZATISH KOEFFITSIYENTI ENERGIYA YO'QOTISHLARIGA TA'SIRINING PARAMETRIK TAHLILI

Turopova Durdona Shamsiddin qizi
Energiya tejamkorligi va energoaudit magistranti
Qarshi davlat texnika universiteti

Issiqxonalarda o'simliklarning rivojlanishi uchun zarur mikroiqlim sharoitlarini ta'minlash yilning sovuq davrida sezilarli miqdorda issiqlik energiyasi sarfini talab qiladi. Isitish uchun zarur energiya miqdori tashqi iqlim sharoiti, ichki harorat rejimi, issiqxona geometriyasi, qoplama konstruksiyasining issiqlik-texnik xususiyatlari va havo almashinuvi bilan belgilanadi [1–3]. Shu sababli qoplama orqali yuzaga keladigan transmissiya issiqlik yo'qotishlarini kamaytirish issiqxonalarning energiya samaradorligini oshirishning muhim yo'nalishlaridan hisoblanadi.

Issiqxona qoplamasi tashqi muhit bilan issiqlik almashinuvida asosiy chegaraviy konstruksiya vazifasini bajaradi. Uning issiqlik uzatish koeffitsiyenti U qoplamaning issiqlikni o'tkazish xususiyatini ifodalaydi. U qiymatining kamayishi konstruksiyaning issiqlik himoyasi yaxshilanganini, natijada bir xil ichki va tashqi harorat sharoitida issiqlik yo'qotilishi kamayishini anglatadi [2,4].

Avvalgi tadqiqotda issiqxonaning energiya balansi, isitish va elektr energiyasi yuklamalari hamda qoplama va ventilyatsiya bilan bog'liq issiqlik yo'qotishlari umumiy kompleks energiya ta'minoti nuqtayi nazaridan ko'rib chiqilgan. Mazkur tadqiqotda esa qoplamaning issiqlik uzatish koeffitsiyenti alohida o'zgaruvchan parametr sifatida qabul qilinib, uning transmissiya issiqlik yo'qotishlariga ta'siri miqdoriy baholanadi.

Tadqiqotning maqsadi issiqxona qoplama konstruksiyasining issiqlik uzatish koeffitsiyenti o'zgarishining transmissiya issiqlik yo'qotishlariga ta'sirini parametrik tahlil qilish va qoplamaning issiqlik himoyasini yaxshilash natijasida erishiladigan energiya tejamkorlik darajasini aniqlashdan iborat.

Issiqxona qoplamasi orqali transmissiya yo'li bilan yo'qotiladigan issiqlik quvvati quyidagi tenglama asosida aniqlanadi [1,3]:

$$Q^{\cdot}_{tr} = UA(T_i - T_o), \quad (1)$$

bu yerda $Q^{\cdot}_{tr}$ - qoplama orqali transmissiya issiqlik yo'qotilishi, W; U - qoplamaning issiqlik uzatish koeffitsiyenti, $W/(m^2 \cdot K)$; A - qoplama yuzasi, m²; T_i - issiqxona ichki havo harorati, $°C$; T_o - tashqi havo harorati, $°C$.

Ichki va tashqi haroratlar farqi:

$$\Delta T = T_i - T_o. \quad (2)$$

Parametrik tahlil uchun hisobiy qoplama yuzasi $A = 200\ m^2$, ichki havo harorati $T_i = 20 \circ C$, tashqi havo harorati $T_o = 0\ \circ C$ deb qabul qilindi. Demak,

$$\Delta T = 20\ K. \quad (3)$$

Bu qiymatlar muayyan issiqxonada o‘lchangan eksperimental ma’lumotlar emas, balki U koeffitsiyentining ta’sirini alohida baholash uchun qabul qilingan hisobiy shartlardir.

Qoplamaning issiqlik uzatish koeffitsiyenti parametrik ravishda:

$$U = 1{,}5;\ 2{,}0;\ 2{,}5;\ 3{,}0;\ 3{,}5\ W/(m^2 \cdot K) \tag{4}$$

qiymatlarda o‘zgartirildi.

Qabul qilingan shartlarda (1)-tenglama:

$$\dot{Q}_{tr} = U \cdot 200 \cdot 20 \tag{5}$$

ko‘rinishiga keladi.

Qoplamaning turli issiqlik uzatish koeffitsiyentlarida hisoblangan transmissiya issiqlik yo‘qotishlari 1-jadvalda keltirilgan.

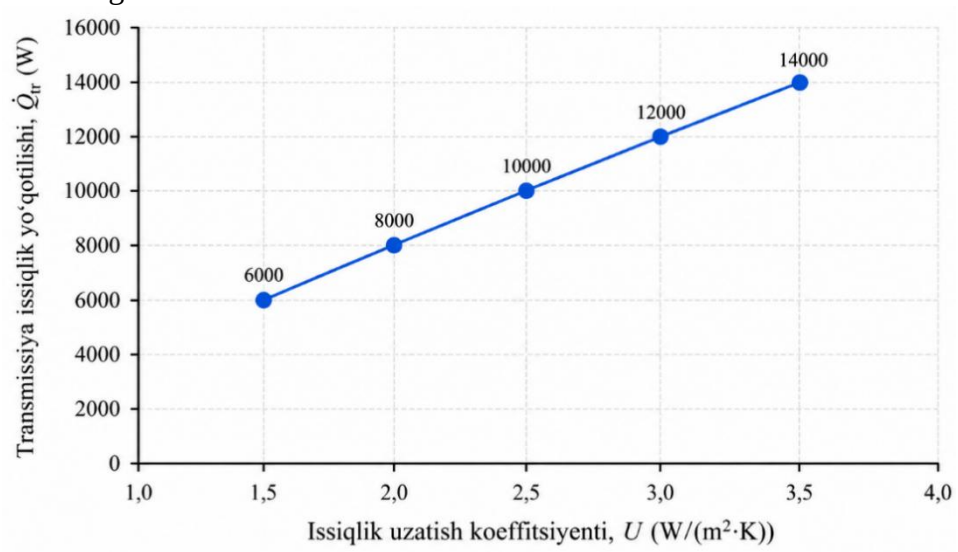
1-jadval.

Qoplamaning issiqlik uzatish koeffitsiyenti o‘zgarishining transmissiya issiqlik yo‘qotishlariga ta’siri

U, W/(m²·K)	A, m²	ΔT, K	$\dot{Q}_{tr}$, W
1,5	200	20	6000
2,0	200	20	8000
2,5	200	20	10000
3,0	200	20	12000
3,5	200	20	14000

1-jadval natijalariga ko‘ra, qoplamaning issiqlik uzatish koeffitsiyenti $U = 1{,}5\ W/(m^2 \cdot K)$ bo‘lganda hisobiy transmissiya issiqlik yo‘qotilishi 6000 W ni tashkil etadi. $U = 2{,}5\ W/(m^2 \cdot K)$ ga oshganda ushbu ko‘rsatkich $10000\ W$, $U = 3{,}5\ W/(m^2 \cdot K)$ bo‘lganda esa $14000\ W$ ga yetadi. Demak, qoplama yuzasi va harorat farqi o‘zgarmas sharoitda U koeffitsiyenti ortishi transmissiya issiqlik yo‘qotishlarini to‘g‘ridan-to‘g‘ri oshiradi.

Qoplama issiqlik uzatish koeffitsiyenti bilan transmissiya issiqlik yo‘qotishlari orasidagi hisobiy bog‘liqlik 1-rasmda keltirilgan.



1-rasm. Issiqxona qoplamasining issiqlik uzatish koeffitsiyentining transmissiya issiqlik yo‘qotishlariga ta’siri

1-rasmdan ko‘rinadiki, U koeffitsiyenti $1{,}5\ W/(m^2 \cdot K)$ dan $3{,}5\ W/(m^2 \cdot K)$ gacha oshirilganda transmissiya issiqlik yo‘qotilishi $6{,}0\ kW$ dan $14{,}0\ kW$ gacha, ya’ni 2,33 marta ortadi. Aksincha,

qoplamaning issiqlik himoyasi yaxshilanib, U qiymati $3{,}5\ W/(m^2 \cdot K)$ dan $1{,}5\ W/(m^2 \cdot K)$ gacha kamaytirilsa, issiqlik yo‘qotilishi:

$$\delta Q = 14 - 614 \times 100 = 57{,}1\%. \quad (6)$$

ga kamayadi.

Bu natija qoplama konstruksiyasining issiqlik-texnik xususiyatlarini yaxshilash issiqxonaning isitish tizimiga tushadigan issiqlik yuklamasini sezilarli kamaytirishi mumkinligini ko‘rsatadi. Biroq mazkur hisoblash faqat qoplama orqali transmissiya issiqlik almashinuvini tavsiflaydi. Real issiqxonaning umumiy issiqlik balansida infiltratsiya va ventilyatsiya, tuproq bilan issiqlik almashinuvi, quyosh radiatsiyasidan issiqlik kirimi hamda boshqa issiqlik manbalari ham hisobga olinishi kerak [3,4].

Shu sababli U koeffitsiyentini kamaytirish natijasida hisoblangan $57{,}1\ \%$ qiymatni issiqxonaning umumiy energiya sarfi $57{,}1\ \%$ kamayadi deb talqin qilish noto‘g‘ri bo‘ladi. Ushbu ko‘rsatkich aynan qoplama orqali transmissiya issiqlik yo‘qotishining kamayishini ifodalaydi. Shunga qaramay, isitish yuklamasining muhim qismini tashkil etuvchi qoplama yo‘qotishlarini kamaytirish issiqxonaning kompleks energiya ta’minoti tizimini takomillashtirish uchun muhim energiya tejamkorlik chorasi hisoblanadi.

Issiqxona qoplama konstruksiyasining issiqlik uzatish koeffitsiyenti transmissiya issiqlik yo‘qotishlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi parametrik hisoblash asosida aniqlandi. $A = 200\ m^2$ va $\Delta T = 20\ K$ hisobiy sharoitida U koeffitsiyenti $1{,}5\ W/(m^2 \cdot K)$ bo‘lganda qoplama orqali $6{,}0\ kW$, $U = 2{,}5\ W/(m^2 \cdot K)$ da $10{,}0\ kW$ va $U = 3{,}5\ W/(m^2 \cdot K)$ da $14{,}0\ kW$ issiqlik yo‘qotilishi aniqlandi. U koeffitsiyentini 3,5 dan 1,5 W/(m²·K) gacha kamaytirish transmissiya issiqlik yo‘qotishlarini $57{,}1\ \%$ ga kamaytiradi. Olingan natijalar issiqxonalarda issiqlik himoyasi yuqori bo‘lgan qoplama konstruksiyalarini tanlash isitish yuklamasini kamaytirish va kompleks energiya ta’minoti tizimining energiya samaradorligini oshirish uchun muhim ekanligini ko‘rsatadi.

ADABIYOTLAR

1. ASHRAE. *ASHRAE Handbook—HVAC Applications*. Atlanta: ASHRAE, 2019.
2. Kalogirou S.A. *Solar Energy Engineering: Processes and Systems*. 2nd ed. Academic Press, 2014.
3. FAO. *Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops: Principles for Mediterranean Climate Areas*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013.
4. Sethi V.P., Sharma S.K. Survey and evaluation of heating technologies for worldwide agricultural greenhouse applications. *Solar Energy*. 2008;82(9):832–859.

AVTOTRANSPORT SOHASIDA VAKUUM SO‘NDIRGICHLARDAN FOYDALANISHNING AFZALLIKLARI.

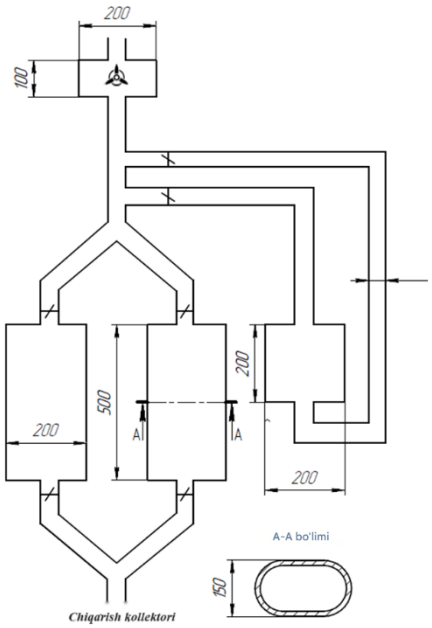
Ernazarov Aziz Alibayevich, Qozon Federal Universitetining Jizzax filiali “Aniq fanlar va axborot texnologiyalari” kafedrasi dotsenti
aziz-ernazarov@mail.com
Xaytbayev Ergash Baxtiyor o‘g‘li, Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universitetining Xizmat ko‘rsatish texnikasi kafedrasi tayanch doktoranti

Respublikamizda mashinasozlik detallarining sifatini oshirish, avtotransport vositalari, ehtiyot qismlar va butlovchi buyumlarini ishlab chiqarishda ichki nuqsonlarni kamaytirish imkonini beruvchi resurs tejamkor texnika va texnologiyalarni ishlab chiqish bo‘yicha tadqiqotlar o‘tkazish va ularni amalda qo‘llash bo‘yicha keng ko‘lamli chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. 2022-2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning Taraqqiyot strategiyasida, jumladan “Avtomobil sanoatida kooperatsiyani yanada rivojlantirish orqali ishlab chiqarish hajmini 1,4 barobarga, eksport hajmini 2 barobarga ko‘paytirish va

mahalliylashtirish darajasini oshirish” bo‘yicha vazifalari belgilangan. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda, xususan, yengil avtomobil ishlatilgan gazlarning chiqarish tizimi parametrlarini optimizatsiyalash, jumladan shovqin so‘ndirgichlarning samaradorlik koeffitsiyenti, shovqin manbaalari va ishlatilgan gazlarni chiqarish tezligi qiymatlarini aniqlash muhim hisoblanadi.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF60son “2022-2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning Taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida”gi Farmoni, 2016 yil 26 dekabrdagi PQ2698son “2017-2019 yillarda tayyor mahsulot turlari, butlovchi buyumlar va materiallar ishlab chiqarishni maxalliylashtirishning istiqbolli loyihalarini amalga oshirishni davom ettirish choratadbirlari to‘g‘risida”gi [1], 2018 yil 27 apreldagi PQ3682son “Innovatsion g‘oyalar, texnologiyalar va loyihalarni amaliy joriy qilish tizimini yanada takomillashtirish choratadbirlari to‘g‘risida”gi qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa meyoriy huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu maqola muayyan darajada xizmat qiladi [2].

Vakuumli ishlatilgan gazlarning chiqarish tizimi shovqin so‘ndirgichining konstruksiyasi ichki yonuv dvigatelining ishlatilgan gazlarning chiqarish tizimida akustik tebranishlarni shakllantirishga kompleks yondashuv zarurligiga asoslangan[1-rasm]. Asosan shovqinni aks qaytarish, aralashish yoki tovush to‘lqinlarini yutish orqali so‘ndiriladigan an’anaviy so‘ndirgichlardan farqli o‘laroq, taklif qilingan konstruksiya chiqindi gaz oqimining gaz-dinamik sharoitlarini o‘zgartirishga va dastlabki bosqichda bosim pulsatsiyalari amplitudasini kamaytirishga qaratilgan [3].



1-rasm. Vakuumli so‘ndirgichning strukturaviy ko‘rinishi.

Vakuumli so‘ndirgichning konstruksiyasi kiritish va chiqarish quvurlari, ikkita ishchi silindr, kompensatsiya silindri, ulanish quvurlari tizimi, klapan mexanizmi, nasos bloki va boshqaruv blokini o‘z ichiga olgan ko‘p komponentli tizimdir. Ushbu konstruksiya qurilmaning tsiklik ish rejimini bir vaqtning o‘zida amalga oshirish bilan birga chiqindi gazlarni uzluksiz chiqarib yuborishni ta’minlash uchun zarur[4].Silindrning muqobil ishlashi yo‘nalishli oqim taqsimotini ta’minlaydigan klapan mexanizmi orqali amalga oshiriladi. Har qanday vaqtda bitta silindr to‘ldirish rejimida, ikkinchisi esa chiqarish rejimida bo‘ladi. Ushbu tartib oqim uzilishlarining oldini oladi va chiqarish tizimining barqaror ish sharoitlarini saqlaydi. Rejimlarni almashtirish dvigatelning ishlash dinamikasiga mos keladigan yuqori chastotada sodir bo‘ladi, bu taxminan 0,01 soniya javob berish vaqtiga ega yuqori tezlikdagi klapanlardan foydalanishni talab qiladi[5].

Vakuumli shovqin so‘ndirgich uchun materiallar va komponentlarni tanlash shahar avtobuslaridagi ichki yonuv dvigatellarining chiqarish tizimlariga xos bo‘lgan operatsion omillarning kombinatsiyasi bilan belgilanadi. Bu omillarga yuqori chiqindi gaz harorati, ba’zi sharoitlarda 600–800°C ga yetishi, agressiv kimyoviy komponentlarning (azot, oltingugurt va uglerod oksidlari) mavjudligi, o‘zgaruvchan mexanik yuklar va tebranish va issiqlik aylanishiga ta’sir qilish kiradi. Bunday sharoitlarda shovqin so‘ndirgich konstruksiyasi nafaqat akustik samaradorlikni, balki chidamlilik, ishonchlilik va ishlab chiqarish samaradorligini ham ta’minlashi kerak.

Vakuum shovqin so‘ndirgichning asosiy komponentlari - ishchi silindrlar, kompensatsiya silindri, quvurlar va korpus - issiqlikka chidamli va korroziyaga chidamli materiallardan tayyorlangan. Eng amaliy

tanlov - bu 12Kh18N10T yoki ularning xorijiy ekvivalentlari (AISI 321, AISI 304) kabi ostenitik zanglamaydigan po‘latlar bo‘lib, ular tsiklik yuklar ostida yuqori issiqlikka chidamlilik, oksidlanishga chidamlilik va yetarli egiluvchanlikni ta’minlaydi. Ushbu materiallardan foydalanish yuqori haroratlarda va agressiv muhitda uzoq vaqt ishlash paytida strukturaviy buzilishlarning oldini oladi[6].

Ishlaydigan silindrlar navbatma-navbat ishlaydi: bitta silindr chiqindi gazlar bilan to‘ldiriladi, ikkinchisi esa pompalanadi.

Kompensatsiya silindri oqimlarni almashtirishda tizimning uzluksiz ishlashini ta’minlaydi.

Nasos bloki. Vakuumli avtomobil shovqin so‘ndirgich tizimida Busch Mini-Cell Vario shahar avtobusi dvigatelining chiqarish tizimida past bosimli zona yaratadi[7].

Nasos quyidagilarni ta’minlaydi:

Shovqin so‘ndirgichning ishchi silindrlari to‘ldirilgandan so‘ng ulardan chiqindi gazni chiqarib olish , vakuum hosil qilish, gaz chiqib ketishi paytida yuzaga keladigan, akustik tebranishlar amplitudasini kamaytiradigan bosim pulsatsiyalari, tizimning tsiklik ishlashini ta’minlash .

Nomustaqil va mustaqil : membrananing ishlash printsipi nasosni qo‘shimcha moylash yoki texnik xizmat ko‘rsatmasdan shovqin so‘ndirgich chiqish joyi yaqiniga o‘rnatish imkonini beradi.

Klapan mexanizmi. ASCO 212/232 - bu gaz oqimini aniq va tez boshqarish uchun ideal bo‘lgan elektr aktuatorli solenoid klapanlar. Klapan mexanizmi gaz oqimlarini sinxron boshqarishni ta’minlaydi va boshqaruv bloki dvigatelning ish rejimiga qarab barcha tizim komponentlarining ishlashini muvofiqlashtiradi[8].

Ishlaydigan silindrlarni sinxron ravishda almashtirish: har bir ishchi silindr ASCO 212/232 orqali ishlatilgan gazlarning chiqarish tizimiga ulangan, gazlarning silindrga kirishiga imkon berish uchun klapan ochiladi, keyin tez javob (10-20 ms) tufayli nasos tomonidan chiqarib yuborilishi uchun yopiladi, dvigatel aylanishi bilan aniq sinxronizatsiya ta’minlanadi[9].

1-Jadval.

Tizimdagi asosiy parametrlar.

Parametr	ASCO 212/232 uchun ahamiyati
Turi	NC/NO solenoid klapan
Bosim	10 bargacha (vakuumda ishlatilishi mumkin)
Harorat	200 °C gacha bo‘lgan issiqlikka chidamli muhrlar bilan 150-200)
Ishlash	10–20 ms
Kuzov materiali	Guruch, zanglamaydigan po‘lat
Muhrlar	NBR, Viton (gazlar va yuqori haroratlarga chidamli)
Ulanish	Yilni, to‘g'ridan-to‘g'ri silindrli quvurga o‘rnatilishi mumkin

Boshqaruv bloki. Avtobusga ixcham o‘rnatish uchun STM32 mikrokontrollerlaridan foydalanish mumkin.

Kirishlar:

DPKV (impuls signali)

Bosim/harorat sensorlari (analog yoki raqamli)

Chiqishlar:

ASCO klapanlarini boshqarish uchun 4-6 raqamli signal[10].

Xulosa qilib aytganda ish jarayonining dinamikasi shovqin so‘ndirgich ishlash jarayoni tsiklik bo‘lib, quyidagi bosqichlarni o‘z ichiga oladi:

1. Ishlaydigan silindrni to‘ldirish. Ishlatilgan gazlarning chiqarish tizimi gazlari oldindan bosim ostida bo‘lgan silindrga kiradi.
2. Akustik tebranishlarni kamaytirish. Vakuum muhiti bosim pulsatsiyalarining amplitudasini pasaytiradi.
3. Gazni evakuatsiya qilish. Nasos bloki silindrdan gazlarni chiqarib tashlaydi va vakuumni tiklaydi.
4. Silindrlarni almashtirish. Silindrlarning ish rejimlari klapan mexanizmi yordamida o‘zgartiriladi.
5. Vaqtinchalik kompensatsiY. Kompensatsiya silindri kommutatsiya paytida samaradorlikning yo‘qolishining oldini oladi.

Dvigatelning ish dinamikasiga mos kelishi kerak bo‘lgan valfning javob tezligi alohida ahamiyatga ega.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti. 2022–2026-yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning Taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida: 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-son Farmon. – Toshkent, 2022.
2. O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti. Innovatsion g‘oyalar, texnologiyalar va loyihalarni amaliy joriy qilish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida: 2018-yil 27-apreldagi PQ-3682-son qaror. – Toshkent, 2018.
3. Avtomobilning tuzilishi va ishlash prinsipi: avtomobilning kirish va chiqarish tizimlari. – Toshkent: o‘quv-uslubiy materiallar.
4. Ichki yonuv dvigatellari va avtomobillar. Avtomobil dvigatellarining ishlash jarayoni, chiqarish tizimi va shovqinni kamaytirish usullari bo‘yicha o‘quv qo‘llanma. – Toshkent.
5. Сидоров А.А., Зайцев А.Б. Системы ДВС. Акустический расчет глушителя системы выпуска отработавших газов ДВС: учебное пособие. – Санкт-Петербург: СПбГПУ, 2012.
6. Шатров М.Г., Яковенко А.Л., Кричевская Т.Ю. Шум автомобильных двигателей внутреннего сгорания: учебное пособие. – Москва: МАДИ, 2014. – 68 с.
7. Луканин В.Н. Шум автотракторных двигателей внутреннего сгорания: методы исследования, пути снижения. – Москва: Машиностроение, 1971. – 271 с.
8. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом. – Москва: Логос, 2008.
9. Thomas D.G. Muffler Selection and Design for Internal Combustion Engines. SAE Technical Paper 700537. – SAE International, 1970. DOI: 10.4271/700537.
10. Yimer A.M., Nallamothu R.B. Reduction of the noise from the engine, modification of reactive muffler and performance analysis. *Discover Applied Sciences*, 2025, Vol. 7, Article 849.

TECHNOLOGY FOR REDUCING UTILIZATION LOSSES AND IMPROVING EFFICIENCY OF PHOTOTHERMAL BATTERIES USING ARDUINO-CONTROLLED SOLAR TRACKING SYSTEMS

Kholov U.R.,[1*] Eshmatov M.M.[2], M.R. Eshmuratov[2]
[1*]*Qarshi State Technical University, Department of Natural Sciences, Associate Professor, PhD,*
uygunsham@mail.ru
[2]*Associate Professor, Department of Natural Sciences, Turan University*

The global transition toward renewable energy sources has intensified interest in photovoltaic (PV) systems as sustainable alternatives to fossil fuel-based electricity generation. Solar energy is characterized by its vast availability, environmental cleanliness, and suitability for deployment across diverse

geographical regions [1]. In Uzbekistan, which lies within a high-insolation zone receiving approximately 2,800–3,000 hours of sunshine annually, PV and photothermal (PVT) technologies hold exceptional promise for meeting both residential and industrial energy demands [2]. Despite the favorable climatic conditions, several limiting factors constrain the operational efficiency of standard photovoltaic batteries (PVB) in the region.

The integration of thermal collectors with photovoltaic modules to form PVT systems has been extensively studied over the past two decades. Kern and Russell [3] first proposed the PVT concept in the 1970s, demonstrating that cooling the PV surface with a heat transfer fluid simultaneously extracts useful thermal energy. Subsequent studies have confirmed that liquid-cooled PVT systems achieve total efficiencies of 50–70%, far exceeding the 15–20% electrical efficiency of standalone PVBs. Solar tracking control using microcontrollers has been investigated by numerous researchers. Mohan et al. [4] developed an ARDUINO-based solar-powered battery charging system with Maximum Power Point Tracking (MPPT) control, demonstrating that automated orientation improved daily energy harvest by 18% in tropical conditions. Awale et al. [5] further demonstrated that ARDUINO-based MPPT charge controllers achieved 97% power point tracking efficiency with low hardware cost, making them suitable for rural electrification projects.

The PTB prototype used in this study was constructed by modifying a commercial 50 W monocrystalline silicon photovoltaic module (Standard Test condition STC: G = 1000 W/m², T = 25°C, AM 1.5). A cellular polycarbonate heat collector with parallel channel dimensions of 10 × 8 mm was bonded to the rear surface of the PVB using thermally conductive adhesive. Cold water was circulated through the collector channels during operation to extract thermal energy from the rear surface and maintain cell temperature below the threshold where efficiency degradation becomes significant. A single-axis ARDUINO UNO-controlled solar tracking system was designed and implemented to orient the PTB frontal surface toward the sun throughout the day. The tracking mechanism employed four Light Dependent Resistor (LDR) sensors positioned at the four corners of the module frame to detect differential light intensity, which was processed by the ARDUINO controller to drive a DC stepper motor adjusting the module tilt angle. Control software was developed using the C++ programming environment compatible with the ARDUINO IDE and Windows operating systems. The code implemented a proportional control algorithm that compared differential LDR voltage readings and actuated the tracking motor until the solar flux was equalized across all sensors (i.e., the panel was perpendicular to incident radiation). The system also incorporated time-based reset functions for daily east-to-west return cycles, and temperature sensor (thermistor) readouts for monitoring outlet water temperature from the heat collector. For autonomous and portable operation, the complete system incorporated a gel accumulator battery bank for DC energy storage and a DC-AC inverter for household appliance compatibility. Gel batteries were selected for their deep-cycle capability, maintenance-free operation, and cost-effectiveness compared to lithium-ion alternatives in this price-sensitive application context [6]. The MPPT charge controller was integrated between the PTB output and the battery bank to maximize power transfer efficiency under varying irradiance conditions.

The fixed configuration, tilted at the annual average optimal angle (38.84611°), intercepts maximum irradiance only near solar noon, with significant cosine losses in the morning and afternoon hours. In contrast, the tracking configuration maintains near-perpendicular incidence from sunrise to sunset, resulting in substantially higher daily irradiance integration. Figure 1 presents the diurnal variation of V_{oc} and I_{sc} for both the PTB and conventional PVB, as well as the STC and experimentally measured V-I and V-P characteristics under tracking operation. The PVT cooling mechanism effectively reduced module operating temperature by $15 - 20°C$ relative to the uncooled PV module during peak irradiance hours, resulting in a statistically significant improvement in V_{oc} (approximately +3–5%) while maintaining comparable I_{sc} values.

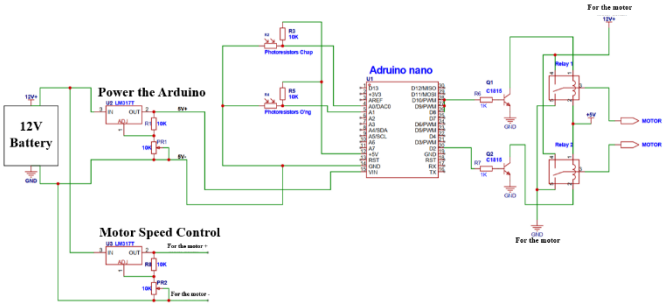


Fig. 1. (a) Diurnal variation of V_{oc} and I_{sc} for PTB compared to. conventional PV; (b) V-I and V-P characteristics under standard test conditions (STC) and experimental tracking conditions

The V-P characteristic curves demonstrate that the maximum power point (MPP) under tracking and thermal management conditions shifted to higher power levels compared to STC-equivalent fixed-tilt operation. In the autumn experimental configuration, the heat collector produced hot water at 40°C with a flow rate of 5 L/h from an inlet temperature of 14°C. The corresponding thermal power output $Q_{thermal}$ can be calculated from Equation 4: $Q_{thermal}$ = (5/3600) kg/s × 4186 J/(kg·K) × 26 K ≈ 150 W. Based on the national average CO_2 emission factor for electricity generation in Uzbekistan (approximately 0.55 kg CO_2/kWh) and the estimated annual electrical energy yield of the 50 W PTB system with tracking (approximately 110–130 kWh/year based on Karshi’s annual solar irradiation of 1800–2000 kWh/m²), the annual CO_2 savings attributable to displacement of grid electricity amount to approximately 60–72 kg CO_2 per unit. When the thermal energy contribution (displacing natural gas-based water heating, with an emission factor of approximately 0.20 kg CO_2/kWh thermal) is included, total annual CO_2 savings per PTB unit reach 90–110 kg.

This study presented the design, fabrication, and comprehensive experimental evaluation of an ARDUINO-controlled photothermal battery (PTB) system for improved energy efficiency and reduced CO_2 emissions in southern Uzbekistan. The results derived from studies carried out under real-world (natural) conditions led to the following principal conclusions. The autonomous portable PTB system configuration is directly applicable to off-grid electrification of remote settlements, temporary installations, and agricultural operations in Uzbekistan and comparable Central Asian contexts. Future work will focus on dual-axis tracking implementation, long-term field durability assessment, life-cycle cost analysis, and scale-up feasibility studies for community-scale PTB installations. The integration of IoT-based remote monitoring capabilities with the ARDUINO platform is also planned to enable real-time performance optimization and fault detection.

References

1. Iskanderani A.I.M., Mehedi I.M., Ramli M.A.M., Islam Md.R. Analyzing the Off-Grid Performance of the Hybrid Photovoltaic/Diesel Energy System for a Peripheral Village. International Journal of Photoenergy, 2020, pp. 1–15. https://doi.org/10.1155/2020/7673937

2. Tursunov M.N., Sabirov Kh., Kholov U., Eshmatov M., Alikulov R.B. Study of the efficiency of photothermal devices of different capacities with a new type of cooling system designed for dry climates without water. Eurasian Physical Technical Journal, 2025, 22(1), pp. 44–51. https://doi.org/10.31489/2025N1/44-51.

3. Tursunov M.N., Sabirov X., Kholov U.R., Eshmatov M.M. Effect of environmental parameters on the efficiency of photoelectric batteries and photothermal batteries. Technical Science and Innovation, 2023, 3, pp. 74–81.

4. Skoplaki E., Palyvos J.A. On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations. Solar Energy, 2009, 83(5), pp. 614–624. https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.10.008

5. Dubey S., Sarvaiya J.N., Seshadri B. Temperature Dependent Photovoltaic (PV) Efficiency and Its Effect on PV Production in the World. Energy Procedia, 2013, 33, pp. 311–321.

6. Battery Ventures. Gel battery technology overview and comparative analysis. Technical Report, 2016. Available: http://battery.com.

ISSIQLIKKA BARQAROR POLIMER KOMPOZIT QOPLAMALARNI SHAKLLANTIRISHDA MODIFIKATSIYALASHNING SAMARADOR TEXNOLOGIYALARI

Rahmanqulov Aliqul Amirkulovich - Qarshi davlat texnika universiteti Tabiiy fanlar kafedrasi professori. raxmankulovalikul@gmail.com

Maxmanov Ergash Binoqulovich-Qarshi davlat texnika universiteti Tabiiy fanlar kafedrasi dotsenti makhmanovergash@gmail.com

Hozirgi vaqtda jahon miqyosida sanoat taraqqiyoti va polimerlar fanining ilmiy-texnik darajasini belgilovchi asosiy ko‘rsatkichlardan biri an’anaviy metall mahsulotlarini yengil va arzon tannarxli polimer hamda kompozit materiallar bilan almashtirish tendensiyasidir. Mazkur tendensiya bevosita energiya tejamkorlik muammosi bilan bog‘liq: uglerod tolali plastiklarning zichligi 1,5–1,6 g/sm³ ni tashkil etib, po‘lat zichligidan (7,8 g/sm³) taxminan besh baravar kichik, solishtirma mustahkamligi esa undan sezilarli darajada yuqori. Transport vositalari, aviatsiya va energetika uskunalarida konstruksiya massasining kamayishi yoqilg‘i va energiya sarfining bevosita qisqarishiga olib keladi. Bundan tashqari, termoreaktiv matritsalarni qotirish odatda 120–250 °C haroratda amalga oshiriladi, bu esa metallarni eritish va qayta ishlash uchun zarur bo‘lgan energiya xarajatlaridan bir necha baravar kam.

Issiqlikka chidamli kompozit qoplamalarda matritsa sifatida ko‘pincha epoksid, bismaleimid va sianat efir smolalari qo‘llaniladi. Ular orasida sianat efir smolalari alohida o‘rin tutadi: siklotrimerlanish reaksiyasi natijasida hosil bo‘ladigan triazin halqali to‘r strukturasi ularga 200 °C dan yuqori (ko‘pincha 250–290 °C) shishalanish haroratini, past namlik yutuvchanlikni, kichik issiqlik kengayish koeffitsiyentini, yuqori dielektrik ko‘rsatkichlarni va termooksidlanishga yaxshi chidamlilikni ta’minlaydi [1, 2]. Shu sababli ular aviakosmik texnika, radioelektronika va yuqori haroratli ishchi muhitlarda keng qo‘llanilmoqda.

Polimer matritsalarning mexanik mustahkamligini oshirish va yuqori yuklanishlarga chidamliligini barqarorlashtirish uchun quyidagi asosiy modifikatsiyalash usullari qo‘llaniladi: moslashuvchan zanjirli polimerlar (termoplastiklar va elastomerlar) kiritish [3, 4]; o‘zaro kirib boruvchi polimer to‘rlari (O‘KPT) va yarim O‘KPT strukturalarini shakllantirish [5, 6]; nanomodifikatorlar (funksionallashtirilgan uglerod nanotrubkalari, fullerenlar va astralenlar) dan foydalanish [7, 8]; turli tabiatli dispers to‘ldiruvchilar kiritish [9] (1-rasm).

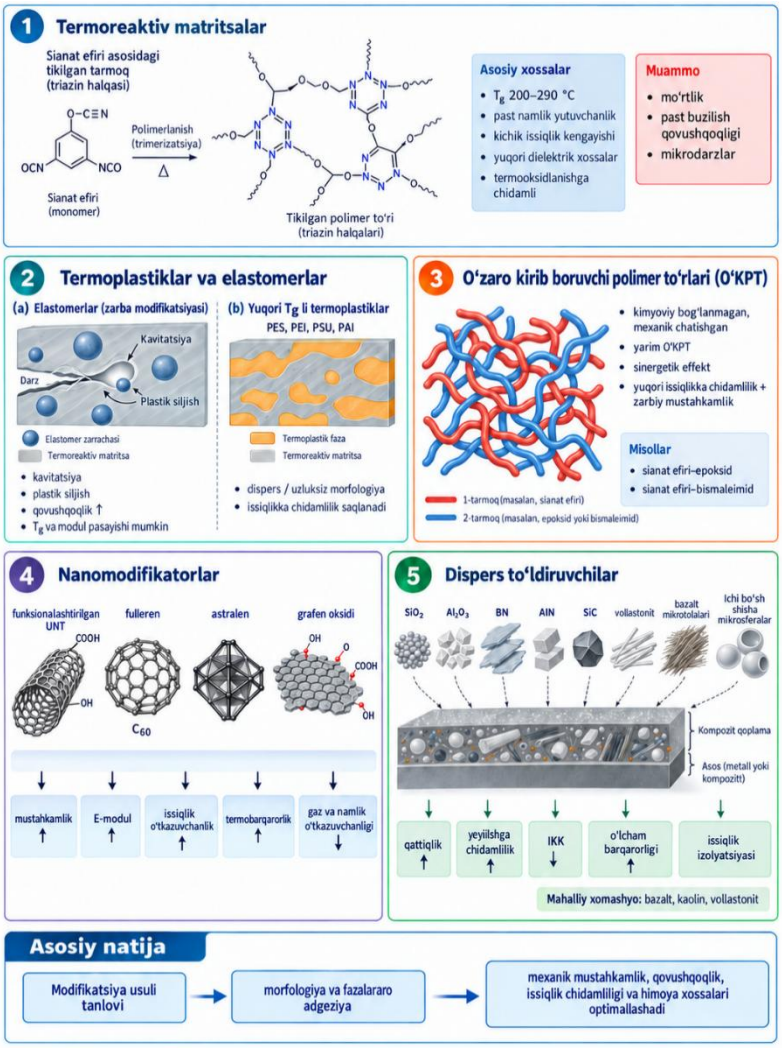
Qotish jarayonida kauchuk alohida dispers faza sifatida ajralib chiqadi va uning zarrachalari darz uchidagi kuchlanishni tarqatib, kavitatsiya va plastik siljish polosalarining hosil bo‘lishi orqali deformatsiya energiyasini yutadi [10]. Natijada buzilish qovushqoqligi bir necha baravar ortadi. Ammo bu usulning jiddiy kamchiligi – shishalanish harorati va elastiklik modulining pasayishi bo‘lib, u issiqlikka chidamli qoplamalar uchun qo‘llanilishini cheklaydi.

Shu sababli issiqlikka chidamli tizimlar uchun yuqori shishalanish haroratiga ega bo‘lgan termoplastiklar – poliefirsulfon, poliefirimid, polisulfon, poliamidimid kabilar istiqbolli modifikatorlar hisoblanadi [1, 2]. Reaksiya ta’sirida fazalarning ajralishi natijasida ular matritsada dispers, o‘zaro uzluksiz yoki faza inversiyali morfologiya hosil qiladi. Bunday ikki fazali morfologiya sianat efirlarining tabiiy mo‘rtligini bartaraf etib, ularning issiqlikka chidamliligini asosan saqlab qoladi. Olinadigan xossalar majmui morfologiyani boshqarishga, ya’ni termoplastik konsentratsiyasi, uning molekulyar massasi va qotish sharoitlariga bog‘liq [2].

O‘KPT – bu ikki yoki undan ortiq polimer to‘rlarining bir-biriga kimyoviy bog‘lanmagan holda mexanik jihatdan chatishib ketgan tizimlaridir. Agar komponentlardan biri chiziqli (tikilmagan) polimer bo‘lsa, yarim O‘KPT hosil bo‘ladi [3]. Bunday tuzilmalar termodinamik jihatdan mos kelmaydigan polimerlarni «majburiy moslashtirish» imkonini beradi va fazalarning ajralish o‘lchamini cheklaydi. Sianat efiri – epoksid, sianat efiri – bismaleimid kabi tizimlar hamda termoplastik asosidagi yarim O‘KPTlar ushbu yondashuvning amaliy misoli bo‘lib, ularda sinergetik effekt natijasida yuqori issiqlikka chidamlilik va yaxshilangan zarbiy mustahkamlik majmui erishiladi [12]. Bundan tashqari, epoksid komponenti sianat efirining qotish haroratini pasaytiradi, bu esa texnologik jarayonning energiya sarfini kamaytirishga xizmat qiladi.

Uglerod nanotrubkalarini polimer kompozitlarda samarali armirlovchi sifatida qo‘llash uchun ularning matritsada bir tekis taqsimlanishi va matritsa bilan yetarli fazalararo adgeziya ta’minlanishi zarur [4]. Shu maqsadda nanotrubkalar sirtiga karboksil, gidroksil yoki amin guruhlari kiritiladi (funksionallashtirish), bu ularning aglomeratlanishini kamaytiradi va matritsa bilan kimyoviy bog‘lanishini ta’minlaydi. Natijada kichik konsentratsiyalarda ham mustahkamlik, elastiklik moduli va issiqlik o‘tkazuvchanlik ortadi.

Fullerenlar (C_{60}, C_{70}) elektron akseptor xossalariga ega bo‘lib, erkin radikallarni faol biriktiradi: bitta C_{60} molekulasi o‘nlab alkil radikallarini bog‘lashi mumkinligi aniqlangan [5]. Shu xususiyati tufayli fullerenlar termooksidlanish destruksiyasining zanjirli radikal reaksiyalarini to‘xtatuvchi ingibitor sifatida materialning issiqlik barqarorligini oshiradi. Astralenlar – ko‘p qatlamli poliedrik uglerod nanozarrachalari bo‘lib, ular o‘ta kam miqdorda kiritilganda epoksid matritsaning nadmolekulyar tuzilishini o‘zgartiradi, zarracha atrofida yuqori darajada oriyentirlangan chegaraviy polimer qatlamini hosil qilib, mexanik xossalarni yaxshilaydi [7, 8]. So‘nggi yillarda grafen va grafen oksidi asosidagi modifikatorlar ham keng o‘rganilmoqda: ularning plastinkasimon tuzilishi gaz va namlik o‘tkazuvchanligini kamaytirib, qoplamalarning himoya xossalarini kuchaytiradi [6].



1-rasm. *Termoreaktiv matritsalarni modifikatsiyalash usullari: 1 – matritsa tuzilishi va xossalari; 2 – termoplastiklar va elastomerlar; 3 – O‘KPT; 4 – nanomodifikatorlar; 5 – dispers to‘ldiruvchilar.*

Turli tabiatli dispers to‘ldiruvchilar (SiO_2, Al_2O_3, bor nitridi, alyuminiy nitridi, kremniy karbidi, vollastonit, bazalt mikrotolalari) qoplamalarning issiqlikka chidamliligi, qattiqligi, yeyilishga chidamliligi va o‘lcham barqarorligini oshiradi, issiqlik kengayish koeffitsiyentini esa kamaytiradi [2, 9].

Resurs tejamkorlik nuqtai nazaridan mahalliy xomashyodan to‘ldiruvchi sifatida foydalanish alohida ahamiyatga ega. Masalan, Jizzax viloyati Forish tumanidagi «Basalt Uzbekistan» klasterida Olmossoy konidan qazib olingan bazalt asosida tola va armatura ishlab chiqarish yo‘lga qo‘yilgan [7]. Bunday mahalliy bazalt, kaolin va vollastonit xomashyosidan polimer kompozitlar uchun to‘ldiruvchi sifatida foydalanish import xomashyoga qaramlikni kamaytiradi va materiallar tannarxini pasaytiradi.

Modifikatsiyalash texnologiyalarining samaradorligi nafaqat olingan material xossalari, balki ishlab chiqarish jarayonining energiya sarfi bilan ham belgilanadi. Shu nuqtai nazardan qotish haroratini pasaytiruvchi katalizatorlar (metall atsetilatsetonatlari, fenol birikmalari), mikroto‘lqinli, ultrabinafsha va elektron nurli qotirish usullari, shuningdek, avtoklavsiz qoliplash texnologiyalari istiqbolli hisoblanadi. Mikroto‘lqinli ishlov berishda issiqlik materialning butun hajmida hosil bo‘lishi tufayli jarayon davomiyligi va energiya sarfi an’anaviy termik qotirishga nisbatan sezilarli darajada qisqaradi [8].

O‘tkazilgan tahlil shuni ko‘rsatadiki, issiqlikka barqaror polimer kompozit qoplamalarning xossalari majmuini boshqarishning eng samarali yo‘li – modifikatsiyalashning bir nechta usulini kompleks qo‘llashdir. Yuqori shishalanish haroratli termoplastiklar matritsaning issiqlikka chidamliligini saqlagan holda mo‘rtligini kamaytiradi; O‘KPT strukturalari turli polimerlarning afzalliklarini sinergetik tarzda birlashtiradi; uglerodli nanomodifikatorlar kichik konsentratsiyalarda mexanik mustahkamlik va termooksidlanish barqarorligini oshiradi; mahalliy mineral xomashyo asosidagi dispers to‘ldiruvchilar esa issiqlikka chidamlilikni yaxshilash bilan birga resurs tejamkorlikni ta’minlaydi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Rufat Ruziev, Fayzulla Nurkulov, Alikul Rakhmankulov, Abdulahat Djalilov Investigation of physico-chemical properties of heat-protective polymer materials //international scientific journal science and innovation, Series A Volume 2 Issue 9 September 2023. 176-179 б.
2. Goyal S., Cochran E.W. Cyanate ester composites to improve thermal performance: a review // Polymer International. – 2022. – Vol. 71. – P. 583–589. DOI: 10.1002/pi.6373
3. Рахмонкулов А. А., Рўзиев Р. Т., Хайдаров Т. З. Влияние электропроводящих наполнителей на структурные параметры и теплопроводность поливинилиденфторида //Universum: технические науки. – 2022. – №. 12-6 (105). – С. 5-10.
4. Khaydarov T.Z., Rahmankulov A.A., Karimov M.U., Djalilov A.T. Research of thermal analysis of polyethylene composites based on carbon nanotubes // American Journal of Engineering, Mechanics and Architecture Volume 01, Issue 08, 2023. P 69-72 https://grnjournal.us/index.php/AJEMA/article/view/1094
5. Муртазаев, К & Мухиддинов, Д & Нуркулов, Ф. (2022). Наполненные эпоксидные композиты с повышенной огнестойкостью вспученные покрытия. 2022-yil, 3-son (133/1) Aniq fanlar seriyasi. 1. 1-8. 10.59251/2181-1296.v1.1312.116
6. Рўзиев Р.Т., Рахмонқулов А.А., Нуркулов Ф. Н., Джалилов А., Т. Исследование термических свойств высоконаполненных акриловых композиций // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2023. 1(103). 17-19 с.
7. Рузиев Р.Т., Рахмонкулов А.А., Нурқулов Ф.Н., Джалилов А.Т. Акрил сополимерлари асосидаги ВАМЖ-1 маркали иссиқликдан ҳимояловчи полимер композитли қопламанинг дериватаграмма ва СЭМ анализ натижаларини таҳлил қилиш // ҚарДУ хабарлари-2023й. №. 5/1(60). 7-11 бет.

8. Inamdar A., Cherukattu J., Anand A., Kandasubramanian B. Thermoplastic-toughened high-temperature cyanate esters and their application in advanced composites // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2018. – Vol. 57, № 13. – P. 4479–4504. DOI: 10.1021/acs.iecr.7b05202

ҚУЁШ МЕВА ҚУРИТИШ ҚУРИЛМАСИНИНГ ИССИҚЛИК КОЛЛЕКТОРДАГИ ЭКСЕРГЕЯСИНИ ОШИРИШ УСУЛЛРИ

ҚарДТУ “Табиий фанлар” кафедраси ассистенти
Тўхлиев Мансур Махмудович

Глобал энергетик инқироз ва экологик муаммолар шароитида қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиб сифатли қуритиш устувор йўналишлардан бири ҳисобланади. Анъанавий усулларда маҳсулотнинг таркибидаги 80-90% намлигини буғлатиш учун сарфланадиган энергия асосан қазиб олинадиган ёқилғилар ҳисобига бўлади. Қуёш энергиясидан фойдаланиш нафақат иқтисодий фойда, балки экология жиҳатидан ҳам зарурдир. Мева қуритиш жараёни юқори энергия талаб қилувчи термодинамик жараён бўлиб, қуёш нурланишининг вақт бўйича беқарорлиги (кунлик цикллар, булутлилик) жараённинг самарадорлигига салбий таъсир кўрсатади. Ушбу муаммоларни ҳал қилишнинг энг самарали усули — қуёш коллекторларига иссиқликни аккумуляцияловчи элементларни интеграция қилишдир. Аксарят ҳаво қизитиш коллекторлари қуёш радиацияси $\approx 300\ W/m^2$ дан юқори бўлганда фойдаланиш мумкин. Қуритиш жараёнида ҳароратнинг кескин ўзгариши маҳсулот сифатига салбий таъсир кўрсатади:

Булутли вақтда ҳароратнинг тўсатдан пасайиши маҳсулот тўқималарида диффузия жараёнини секинлаштиради

Фақат кундузги юқори ҳароратда қуритиш маҳсулот юзасининг ҳаддан ташқари тез қуриб, қаттиқ қобиқ ҳосил қилишига олиб келади, бу эса ички намликнинг чиқишини қийинлаштиради.

Ушбу муаммоларнинг ечими сифатида қуёш коллекторларининг конструкциясига иссиқлик аккумуляторларини (ИА) интеграция қилиш таклиф этилади. ИА нинг асосий вазифаси — қуёш радиацияси максимал бўлган вақтда ортиқча иссиқлик энергиясини йиғиш ва уни қуёш радиацияси етарли бўлмаган даврда (кечқурун, тунда ёки булутли ҳавода) фойдаланиш имкониятини беради.

Иссиқлик ҳаво коллекторини ишлаш жараёнини қуйидаги иссиқлик баланси тенгламаси орқали таҳлил қилиш мумкин:

$$Q_{yu.r.} \cdot \eta_{FIK.} = Q_{m.q.f.i} + Q_{a.z.e} + Q_{k.r.y.i.} \qquad (1)$$

$Q_{yu.r.}$ - коллектор юзасига тушаётган умумий қуёш радиацияси;

$\eta_{FIK.}$- коллекторнинг фойдали иш коэффитсиэнти;

$Q_{m.q.f.i}$- маҳсулотни қуритиш учун сарфланаётган фойдали иссиқлик;

$Q_{a.z.e}$- аккумулятор элементларида захираланаётган энергия;

$Q_{k.r.y.i.}$- конвекция ва радиация орқали атроф-муҳитга йўқотилган иссиқлик.

Аккумуляторли тизимлар коллекторнинг кундузги иссиқлик йўқотишларини камайтиради, чунки ортиқча иссиқлик ҳавони ҳаддан ташқари иситиб юбормасдан, захирага йўналтирилади.

Илмий тадқиқотлар қуёш коллекторнинг фойдали иш коэффитсиэнті—$\eta_{FIK.}$ қуритгичларини фақат энергетик ФИК орқали аниқлайди. Бу коэффитсиэнт қанча юқори бўлса, тушаётган қуёш энергиясининг шунча кўп қисми иссиқлик энергиясига айланади. У ютувчи юзанинг ютилиш коэффитсиэнти α ва шишанинг ўтказувчанлик коэффитсиэнти τ каби кўрсаткичларга боғлиқ.

$$\eta = \frac{Q_{i.q.q.f.i.}}{Q_{k.yu.t.q.r}} \quad (2)$$

$Q_{i.q.q.f.i.}$ — иссиқлик ташувчи (масалан, ҳаво) томонидан қабул қилинган фойдали иссиқлик;

$Q_{k.yu.t.q.r}$- коллектор юзасига тушаётган умумий қуёш радиацияси.

Бироқ, энергетик таҳлил энергиянинг сифати ва унинг иш бажариш қобилиятини (эксергия) ҳисобга олмайди. Коллектор сиртидаги юқори ҳарорат ва ҳаво оқими ўртасидаги иссиқлик алмашинувида содир бўладиган қайтмас жараёнлар тизимнинг умумий самарадорлигини пасайтиради. (2) ифодадаги $Q_{i.q.q.f.i.}$ — иссиқлик ташувчи (масалан, ҳаво) томонидан қабул қилинган фойдали иссиқлик яни коллектор ичига қуйиладиган иссиқликни аккумуляцияловчи моддалар ёки жисмларнинг солиштирма иссиқлик сиғими катта бўлиши керак. Шу сабабли, иссиқлик аккумуляцияловчи коллекторларни эксергетик усулда баҳолаш, тизимдаги энергия исрофлари қаерда ва қандай миқдорда юз бераётганини аниқлаш имконини беради.

Коллекторнинг конструктив хусусиятларини (изоляция, шиша сифати, ютувчи панель материали) ҳисобга олувчи энг аниқ илмий усуллардан бири: (Хоттел-Виллиэр-Блисс тенгламаси)

$$\eta = F_R\left[(\tau\alpha) - U_L\frac{T_{k.k.h.o.} - T_\alpha}{I}\right] \quad (3)$$

Оптик самарадорлик F_R va $\tau\alpha$ шишанинг шаффофлиги (τ) ва ютувчи панелнинг ютилиш қобилияти (α). Иссиқлик йўқотишлари ($F_R \ldots U_L \ldots$) Атроф-муҳит ҳарорати (T_α) ва коллекторнинг иссиқлик узатиш коэффитсиэнти (U_L) орқали аниқланадиган йўқотишлар. Агар (3) ифодадага биноан оптик самарадорликни ошириб, иссиқлик ёқотишларни камайтириш орқали коллекторнинг ФИК ошириш мумкин. Тавсия этадиган қуёш қуритиш қурилмамизни ҳам иссиқлик ҳаво коллекторини (3) ифодани инобатга олиб сарф қилинган иссиқликдан самарали фойдаланиш мақсадида коллекторни таг қисми ва орқа деворларини изоляция қилинган. Қуритиш кинетикасига биноан шкаф ичидаги ҳаво оқимини ва намликни ростлаш мақсадида коллектор ичидаги иссиқликни аккумлация қилиш мақсадида қуйилган қорага буялган тошлар орасига диаметри 100 мм ли темир қувурлар жойлаштирганмиз (1-расм).

1-расм. Ҳаво оқими учун қувурлар

2-расм. Таг қисми ва ён деворларини изоляциялаш

Иссиқлик йўқотишларни камайтириш мақсадида (3) ифода ($F_R \ldots U_L \ldots$) коллекторни таг қисми ва ён деворлари изоляция қилинган. Агар коллектор ичидаги ҳаво оқими жуда тез ўтса, у исишга улгурмайди, лекин йўқотишлар камаяди. Агар ҳаво жуда секин ўтса, коллектор ҳаддан ташқари қизиб кетади ва иссиқликни ташқарига нурлантириб юборади. Шунинг учун ҳар бир қуритиладиган маҳсулот учун оптимал тезликни топиш орқали сифатли ҳамда маҳсулотларни тез қуритиш мумкин.

Иссиқлик аккумулятор сифатида ишлатиладиган қорага буялган тошлар билан сув иссиқликнинг бир қисмини ўзига олади. Бу вақтинчалик фойдали иссиқлик миқдорини

камайтиргандек кўринса-да, аслида у тизимнинг умумий (суткалик) ФИКини оширади, чунки у коллекторнинг ҳаддан ташқари қизиб кетишидан ва катта йўқотишлардан сақлайди (2-расм). Коллекторда 40°C ва 90°C иссиқлик бир хил миқдор бўлиши мумкин, лекин уларнинг фойдалилиги фарқ қилади. Одатда коллектор ичидаги ҳарорат қанчалик юқори бўлса эксергия ҳам шунча катта бўлиши керак. Агар иссиқлик атроф-муҳит ҳароратига яқин бўлса, у деярли фойдали иш бажара олмайди. Демак, коллектор ичида асосий вазифа — иссиқликни имкон қадар юқори ҳарорат даражасида ушлаб туришдир. Лекин бу оддий кўринадиган талаб аслида мураккаб ички жараёнлар билан чекланади. Коллекторда эксергия камайишининг асосий сабаби — қайтмасликлар (ирреверсибиликлар). Термодинамик жиҳатдан улар энтропия ҳосил бўлиши орқали ифодаланади. Демак, ҳар қандай реал жараёнда энтропия ортади ва бу ортиш тўғридан-тўғри эксергия йўқотилишига олиб келади. Коллекторда энтропия бир неча физик сабаблар туфайли ҳосил бўлади. Энг муҳимларидан бири — иссиқлик узатиш жараёнидаги ҳарорат фарқи. Агар абсорбер юзаси билан иссиқлик ташувчи орасидаги ҳарорат фарқи катта бўлса, иссиқлик оқими ортади, лекин шу билан бирга энтропия ҳам кўпроқ ҳосил бўлади. Бу эса эксергиянинг камайишига олиб келади. Шунинг учун идеал ҳолатда иссиқлик узатиш чексиз кичик ҳарорат фарқи билан амалга ошиши керак бўлади, лекин бу амалда имконсиз. Шу сабабли реал тизимларда оптимал мувозанат топилади. Иссиқликнинг атроф-муҳитга йўқотилиши. Бу йўқотишлар энергия нуқтаи назаридан ҳам зарарли, лекин эксергия нуқтаи назаридан янада муҳимроқ. Чунки иссиқлик ташқи муҳитга чиқаётганда у деярли бутунлай фойдали иш бажариш қобилиятини йўқотади. Иссиқлик изоляциясини яхшилаш ёки вакуум қатламлардан фойдаланиш орқали нафақат энергия сақланади, балки эксергия йўқотилиши ҳам кескин камаяди.

Коллектор ичидаги оқим жараёни ҳам эксергияга таъсир қилади. Агар иссиқлик ташувчи жуда тез ҳаракатланса, у кўпроқ иссиқлик олиб чиқади, лекин унинг ҳарорати паст бўлади. Натижада энергия самарадорлиги юқори бўлиши мумкин, лекин эксергия самарадорлиги пасаяди. Аксинча, секин оқимда ҳарорат юқорироқ бўлади, лекин умумий иссиқлик миқдори камаяди. Бу ерда ҳам муҳим нарса — оптимал режимни топиш, чунки эксергия максимал қийматга айнан шу мувозанат нуқтасида эришади. Коллекторда эксергияни ошириш назарий жиҳатдан шуни англатадики, тизимни идеал, яъни қайтувчан жараёнга яқинлаштириш керак. Идеал ҳолатда энтропия ҳосил бўлмайди ва эксергия йўқолмайди. Реал тизимда эса бу мумкин эмас, лекин қуйидагилар орқали унга яқинлашиш мумкин: иссиқлик узатишда ҳарорат фарқини камайтириш, иссиқлик йўқотишларни минималлаштириш, юқори ҳарорат режимида ишлаш ва оптик самарадорликни ошириш.

Қуёш коллекторларида олиб борилган энергия ва эксергия таҳлили шуни кўрсатадики, тизим самарадорлигини тўлиқ баҳолаш учун фақат энергия баланси етарли эмас. Энергия таҳлили коллектор орқали ўтган иссиқлик миқдорини аниқлаш имконини беради ва у термодинамиканинг биринчи қонунига асосланади. Бироқ бу ёндашув иссиқликнинг сифатини, яъни унинг фойдали ишга айланиш даражасини ҳисобга олмайди. Коллекторда қуёш нурланиши юқори ҳарорат манбаи сифатида киради ва юқори эксергияга эга бўлади. Лекин бу энергия паст ҳароратли иссиқликка айланиш жараёнида катта миқдорда эксергия йўқотилади. Ушбу йўқотишлар асосан энтропия ҳосил бўлиши билан боғлиқ бўлиб, иссиқлик узатишдаги ҳарорат фарқи, иссиқликнинг атроф-муҳитга чиқиб кетиши, оптик йўқотишлар ва гидравлик қаршиликлар орқали юзага келади.

Адабиётлар

1. Турсунов М. Т., Рақҳимов С. Қ. (2021). "Паст потенциалли қуёш қуритгичларнинг математик моделини яратиш ва ҳисоблаш усуллари." Ўзбекистон муҳандислик ва технология журнали, 12(3), 45-54.

2. Умиджон Ибрагимов, Ғулом Рўзиқулов, Шаҳриёр Эргашев Билвосита қуёш қуритгичининг қуёш ҳаво коллектордаги ҳаво ҳароратининг ўзгаришини математик моделлаштириш.ojs.qmii.uz

3. Н. М. Назарова, М. Р. Назаров, Т. Д. Жураэв *Experimental Validation of the Mathematical Model for a Recirculating Solar Dryer. 2022.* Applied Solar Energy, Vol. 58, No. 2, pp. 264–272 Uniwork

4. Тўхлиев М.М. Ўрик маҳсулотини қуритишда паст потенциалли қуёш қуритгич қурилмасининг иссиқлик аккумуляторида ҳарорат режимини тадқиқот қилиш // Инновацион технологиялар 2025. 3/59-сон. 45-47-бетлар.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА ИЗ НАНОКРИСТАЛЛИТОВ КРЕМНИЯ И ХАЛЬКОГЕНИДА СВИНЦА

Э.З. Имамов[1], Р.А. Муминов[2], М.А. Аскаров[3], Х.Н. Каримов[1], А.Э. Имамов[4]

[1]*Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада аль-Хорезми*
[2]*Физико-технический институт Академии наук Республики Узбекистан*
[3]*Ташкентский химико-технологический институт*
[4]*Академия Министерства внутренних дел Республики Узбекистан*

Солнечная энергия играет ключевую роль в развитии «зеленой» энергетики как возобновляемого и экологически чистого источника энергии.

Однако ее широкомасштабное использование сопряжено с рядом проблем: пока высокая стоимость, пока низкая эффективность, сильнейшая зависимость от погодных, климатических условий и времени суток, наличие серьезных проблем с хранением вырабатываемой энергии, многочисленные экологические и ресурсные проблемы.

Но главная проблема в несоответствии мирового темпа роста населения с мировым темпом роста потребления ими энергии. Для сравнения представим рост население мира с 1900 по 2024 год (в ах):

год	1900	1957	1982	1995	2001	2008	2016	2024
млрд	1,8	3,3	4,0	5,5	6,0	7,0	8,0	8,6

Ежегодный прирост населения в мире с 1900 по 2024 год порядка 28 миллионов человек! То есть за 125 лет население Земли увеличилось почти в 5 раз!

А как растет потребление энергии в мире?

С 1900 по 2000 год потребление энергии (всех видов, но особенно электроэнергии) увеличилось почти 50 раз, то есть многократно (9-10 раз) опережает рост населения. А к 2025 году по сравнению с 1900 годом - почти 80-ти кратное увеличение! То есть в 16 раз превышает рост численности населения!

Углеводородов (угля, газа, нефти) раньше было много и свободно потребляли, а теперь их запасы тают (запасы/через ск. лет): нефть/20-30, газ/70-90, уголь/150-300

А еще - от массового потребления углеводородов портится сильно экология Земли, что тоже представляет значительную опасность, внося дискомфорт в жизнь человечества.

Поиск альтернатив к углеводородам. В мире не прекращается поиск других эффективных видов энергии, ведутся интенсивные научные исследования новых, альтернативных к углеводородам, источников энергии. В инновационном отношении это ВИЭ – возобновляемые источники энергии. Для Узбекистана – это солнечная энергия!

Солнечная энергия в техническом плане обладает очень непростым свойством трансформироваться в электричество с помощью кремниевых солнечных панелей. Кроме того получать электричество из неё в особо больших масштабах (массовое электричество) дорого и

трудно. Реализация добычи массового электричества требует комплексного подхода, включающего в себя:

- технологическое развитие,
- создание эффективной системы хранения энергии,
- совершенствование нормативно-правовой базы.

Таким образом, альтернативная энергетика для Узбекистана – это солнечная энергетика. Основные преимущества солнечной энергетики:

– прямое преобразование солнечной энергии в электрическую (чрезвычайно важное преимущество);

– неограниченность запаса солнечной энергии (в 100000 раз) по сравнению с текущими потребностями всего человечества (чрезвычайно важное преимущество);

– возможность децентрализованного производства энергии (сокращение протяженности линий электропередач и возможность интеграции в строения – в стены, крыши);

– экологическая безопасность и надежность;

– практически не имеют движущихся частей (упрощается обслуживание и увеличивается срок службы) и не требуют высокой квалификации обслуживающего персонала;

– пригодны для создания установок практически любой мощности.

Преобразование солнечной энергии в электричество осуществляться фотоэлектрическим методом с помощью солнечного элемента – СЭ. Установленная мощность всех электростанций мира порядка $3 \cdot 10^{12}$ Вт. По прогнозам, к 2050 году при таком же уровне потреблении она достигнет десятка ТВт.

Раньше потребляли углеводород (уголь, газ, нефть), а теперь ориентир на них хоть и сохранился, но потребление - ограничивается их запасами на Земле. В связи с этим в мире не прекращается интенсивные научные исследования и поиск других эффективных видов энергии [1-9, 13-16]. Ориентир в перспективе на солнечную энергию охватывают широкий спектр проблем солнечной энергетики, таких как [10-12]:

– подготовка кадров для неё;

– производство постоянного тока и строительство и эксплуатация СЭС-солнечных электростанций;

– разработки новейших устройств и объектов постоянного тока (переориентация продукций многих предприятий на потребности солнечной энергетики).

Исследования по совершенствованию солнечного элемента. Нано-технология является перспективным методом повышения эффективности кремниевых СЭ. Именно нано-технологический подход позволяет надеяться на успешные результаты и в значительном повышении эффективности кремниевых солнечных панелей [9-12].

Свойства контакта и контактного поля определяются:

- работой выхода контактирующих материалов,
- электроёмкостью инородного нано-включения халькогенида свинца, его формой, размером,
- однородностью полупроводниковой подложки, которая достигается предварительной гомогенизацией кремниевой подложки, то есть дополнительной технологической обработкой, обеспечивающей равномерное распределение всех дефектов: как мелких остаточных доноров, уплотняющих его состав, уменьшающих пористость, так и уменьшающих степень, как случайности, так и неоднородности в распределении дефектов по всему объёму Si [4].

Аппарат научных исследований по проблемам солнечной энергетики коренным образом начал повсеместно применять новейшие нано-технологические подходы и методики.

Свойства нано-гетероструктурных компонент СЭ. Нано-гетероструктурные компоненты солнечного элемента позволяют:

- ускорить процессы генерации и рекомбинации заряда в многочисленных нано-размерных приповерхностных контактных полях солнечного элемента;
- существенно замедлить процессы деградации в техническом Si ;
- оптимизировать поглощение солнечного света в широком спектральном диапазоне;
- повышать добротность;
- увеличивать срок службы солнечного элемента, так как гарантированный срок его службы определяется скоростью деградационных явлений на поверхности технического Si, которая существенно ниже, чем у кристаллического Si.

Это и обуславливает их длительный срок службы. Использование технического кремния, что позволяет снизить стоимость и повысить до 30÷35% эффективность солнечных панелей.

Нано-технологиии применение технического Si в качестве подложки солнечных элементов является перспективным методом повышения эффективности кремниевых СЭ. Именно нанотехнологический подход позволяет надеяться на успешные результаты в значительном повышении эффективности кремниевых солнечных панелей.

Свойства контакта и контактного поля определяются:

- работой выхода контактирующих материалов,
- электроёмкостью инородного нано-включения PbX, его формой, размером,
- однородностью полупроводниковой подложки.

Варьируя геометрическими параметрами и отдельными структурными свойствами используемых материалов СЭ, можно управлять и улучшать их электрофизические свойства реагирования на внешние воздействия.

Подобные положительные преобразующие электрофизические свойства характерны для многих полупроводников в нано-размерном состоянии, если энергетический спектр их электронов окажется подобным спектру его собственного нано-кристалла. Таким образом, в работах [1-16] рассмотрена актуальная проблема применимости нано-структурированных кристаллических полупроводников при создании устройств солнечной энергетики.

Литература

1. G. Springholz, G. Bauer (2007) *Phys. stat. sol. (b)*, 244 No 8: 2752–2767.
2. Saddam J. and Jaduaa M. (2025) *J. Sol. Energy Res.*, 10 No 1: 2161-2175.
3. J. Hassan H., A. Jaber, A. and Thamer A. (2025) *J. Nanostruct.*, 15 No 3: 820-830.
4. Hoang M.T., Bui H., Hoang T.H.C., Pham V.H., Loan N.T., Le L.V., Pham T.B., Duc C.V., Do T.C., Kim T.J., Pham V.H., Nguyen T.V. (2025) *Nanomaterials*, 15: 1007.
5. S.A. Abdullah, M.H. Jaduaa and A.N. Abd (2021) *J. Phys.: Conf. Ser.*, 1853: 012045.
6. Bulutay C. and Ossicini S. (2010) *Silicon Nanocrystals* ed L Pavesi and R Turan (Weinheim: Wiley) ch 2: 5-42.
7. Kailun Chen, Wenkui Dong, Yuhan Huang, Fazhou Wang, John L. Zhou, Wengui Li (2025) *J. Environ. Chem. Eng.*, 13, No 5: 117529.
8. Stancu V., Pentia E., Goldenblum A. et al. (2007) *Rom. J. Inf. Sci. Technol.*, 10 No 1: 53–66.
9. R.D. Schaller, V.I. Klimov (2004) *Phys. Rev. Lett.* 92: 186601.
10. E.Z. Imamov, T.A. Dzhalalov and R.A. Muminov (2015) *Tech. Phys.*, 60 No 5: 740-745.
11. M.A. Askarov, E.Z. Imamov, Kh.N. Karimov (2024) *J. Nano-Electron. Phys.* 16 No 1: 01030.
12. M.A. Askarov, E.Z. Imamov, Kh.N. Karimov (2025) *J. Nano- Electron. Phys*. 17 No 1: 01007.

13. R.A. Muminov, E.Z. Imamov, R.Kh. Rakhimov, M.A. Askarov (2023) *J. Comput. Nanotechnol.* 10 No 1: 119–127.
14. M.A. Askarov, E.Z. Imamov, R.A. Muminov (2023) *J. Comput. Nanotechnol.* 10 No. 4: 110–121.
15. E.Z. Imamov, R.A. Muminov, Rakhimov R.Kh., Karimov Kh.N., Askarov M.A. (2022) *J. Comput. Nanotechnol.* 9 No. 4: 70–77.
16. E.Z. Imamov, R.A. Muminov, M.A. Askarov, Kh.N. Ka-rimov (2025) *J. Nano- Electron. Phys.* 17 No 5: 05017.

YER OSTI ISSIQLIK AKKUMULYATORDAN ISSIQXONA -PARANDACHILIK-KOMPLEKSIDA FOYDALANISHGA DOIR EKSPERIMENTAL TADQIQOTLAR.

Z.S.Mirzoyev
Qarshi davlat texnika universiteti e-mail: zoyirmirzoyev117@gmail.com

Ananaviy bo‘lmagan qayta tiklanadigan energiya manbalari va energiya tejaydigan texnologiyalarga qiziqishning ortishi energiya istemolining ortishi, ananaviy qazilma resurslarning cheklangan zaxiralari, atmosferaga zararli chiqindilarning ko‘payishi va issiqxona effekti bilan bog‘liq.

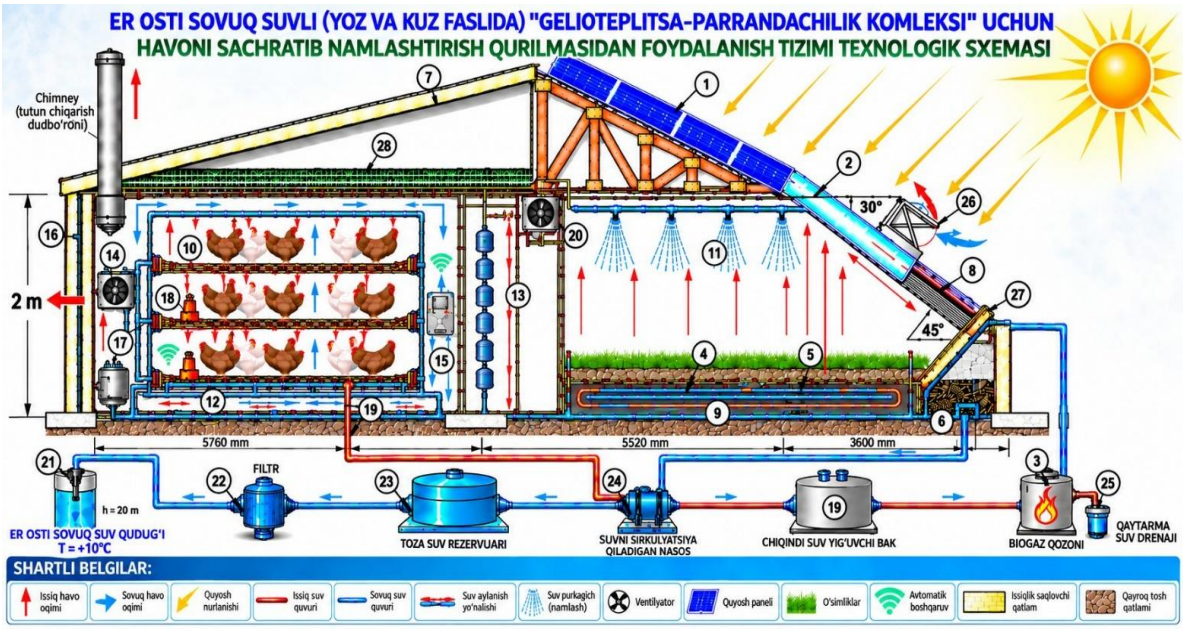
Qayta tiklanadigan energiya manbalaridan foydalanadigan texnologiyalarning rivojlanishi ko‘pgina mamlakatlarda bir qator sabablarga ko‘ra sodir bo‘lmoqda, ulardan asosiylari: organik qazilma yoqilg‘ilarga qaramlikning kamayishi, atrof-muhitga salbiy tasirning kamayishi va qayta tiklanadigan energiya manbalarining tugab qolmasligi va mavjudligi. [1]

Bugungi kunda eng yaxshi o‘rganilgan va keng qo‘llaniladigan qayta tiklanadigan energiya manbalari quyosh, shamol va bioyoqilg‘i energiyasidir .[2]

Ushbu energiya manbalarining har birining o‘ziga xos afzalliklari va kamchiliklari bor, ular energiya manbasini tanlashda etiborga olinishi kerak. Biroq, ularning barchasi vaqt o‘tishi bilan energiya taminotining notekisligi bilan tavsiflanadi. Quyosh energiyasi energiya taminotining notekisligiga ayniqsa moyil, chunki energiya taminoti nafaqat yil vaqti va kun vaqtiga, balki atmosfera shaffofligi va ob-havo sharoitlariga ham bog‘liq. Bu istemolchiga yetkazib beriladigan quyosh nurlanishining intensivligini tenglashtirish vositalarini, shuningdek, bu energiyani to‘plash va saqlash usullarini ishlab chiqishni taqozo etadi [3,4].

Eng ko‘p ishlatiladigan issiqlik akkumulyatorlari qattiq va suyuq issiqlik saqlovchi materialga ega bo‘lganlar bo‘lib, ular orasida tuproq yoki suv qatlamlarining issiqlik sig‘imidan foydalanadigan er osti issiqlik akkumulyatorlari alohida o‘rin tutadi.

Tuproq va substrat qatlam bilan joylashgan to‘ldirish akkumulyatori (1-rasm) tuproqning issiqlik sig‘imidan foydalanadi va metall yoki metall-plastmassa quvurlardan yasalgan, yerga yotqizilgan gorizontal yoki vertikal kanallar tizimidan iborat. Zaryadlash davrida qizdirilgan suv kanallar orqali aylanib, atrofdagi substrat qatlamga issiqlikni uzatadi. Issiqlik davrida tuproqning issig‘i xuddi shu kanallar orqali teskari yonalishda aylanib yuradigan sovutishga o‘tkaziladi.



1-rasm. Fermer va tadbirkorlik xo‘jaliklarida kollektor akkumulyator devorli kombinatsiyalashtirilgan quyosh teplitsa parandachilik binosining ko‘ndalang kesim sxemasi.

1. Quyosh fotoelektr panellari; 2. Quyosh havo isitgich kollektori; 3. Biogaz qozoni; 4.Teplitsadagi o‘simliklar zonasi; 5. Tuproq/o‘simliklar qatlami; 6. Yer osti suvi quvuri; 7. Tom konstruktsiyasi; 8.Havo yo‘naltirish kanali; 9. Pol osti issiqlik almashinuv quvurlari; 10. Parrandalar saqlanadigan stelajlar; 11. Suv purkagich forsunkalar; 12. Havo aylanish kanali; 13. Suv saqlash idishlari; 14.Ventilyator — parrandachilik qismida havoni majburiy harakatga keltirib, havo almashinuvi va ichki mikroklimatni yaxshilaydi; 15. Avtomatik boshqaruv qurilmasi; 16. Tashqi devor va issiqlikdan himoya qatlami; 17. Ventilyator; 18. Oziqlantirish va suv berish tizimi; 19. Chiqindilarni yig‘uvchi bak; 20.Ventilyator — gelioteplitsa va parrandachilik qismi o‘rtasida havoning majburiy aylanishini ta’minlaydi, issiq havoni bir tekis taqsimlashga xizmat qiladi; 21. Yer osti sovuq suv qudug‘i — tizimning tabiiy sovuq suv manbai. Sxemada quduq chuqurligi h = 20 m, suv harorati T = +10°C deb qabul qilingan. 22. Filtr; 23. Toza suv rezervuari; 24. Suvni tsirkulyatsiya qiladigan nasos; 25.Qaytarma suv drenaji; 26. Fortochka — ventilyatsion; 27. Havo chiqish/kirish qismi ; 28. Issiqlik saqlovchi qatlam;

Yer osti issiqlik saqlash tankini loyihalashda uning ish xususiyatlari va ichida sodir bo‘ladigan jarayonlar haqida to‘liq malumotga ega bo‘lish kerak. Yer osti issiqlik va sovuq suv akkumulyatorlari uchun, massasi m bo‘lgan tuproq hajmini qizdirganda saqlanadigan issiqlik miqdori [5]

$$Q = m\int_{T_0}^{T_1} C_p dt \qquad (1)$$

bu yerda m-issiqlik saqlovchi materialning (TAM) massasi, C_p (TAM) ning issiqlik sig‘imi, T_0 , T_1 TAM ning boshlang‘ich va oxirgi haroratlari. Tuproqlarning issiqlik sig‘imi ularning qattiq, suyuq va gazsimon tarkibiy qismlarining issiqlik sig‘imi va ularning tuproqdagi hajm va massa miqdoriga nisbati bilan belgilanadi.

Tuproqning qattiq komponentining issiqlik sig‘imi (1-jadval) uning mineralogik tarkibi va organik moddalar miqdori bilan belgilanadi.

1-jadval - Tuproqning qattiq komponentalarining issiqlik sig‘imi.

Tuproq komponentining turi	Tuproq komponentining issiqlik sig‘imi, kJ/kg ·°C	Tuproq komponentining turi	Tuproq komponentining issiqlik sig‘imi, kJ/kg ·°C

Bazalt	0.84	Gil	0.88
Granit	0,75	SHag‘al	0.90
Humus	2.01	Ohaktosh	0,58
Kaolin	0.98	Kvarts	0,74
Marmar	0.80	Qum (kvarts)	0.82
Qum (daryo)	0.86	Qumtosh (loy-ohaktosh)	0.96
Qumtosh (qizil)	0.71	Qayroq tosh	2.09

20°C haroratda 4,2 kJ/kg °C ni tashkil qiladi. Muzlatilgan erdagi muzning issiqlik sig‘imi 2,1 kJ/kg °C ni tashkil qiladi.

Og‘irligi bo‘yicha namlik miqdori 15–20% dan oshmaydigan g‘ovakli va nam jinslarning solishtirma issiqlik sig‘imining qiymatini qo‘yidagi formula yordamida hisoblangan.

$$C_{ВЛ} = C_{Т} \cdot (1 - W) + W \cdot C_{В}, \qquad (2)$$

bu yerda C_w- suvning solishtirma issiqlik sig‘imi, C_t -tuproqning qattiq komponentining solishtirma issiqlik sig‘imi, W namlik miqdori.

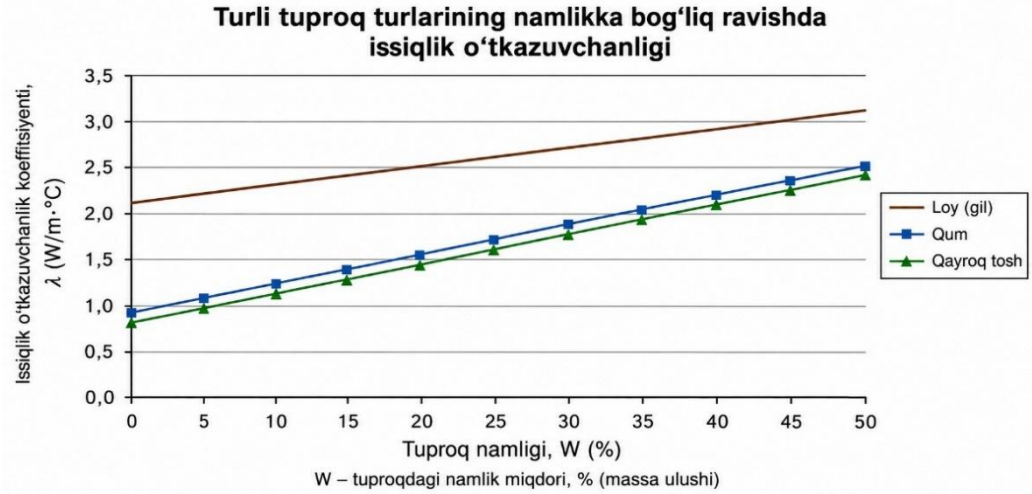
P. I. Andrianov [6,7] tuproqning issiqlik sig‘imini aniqlash uchun quyidagi formulani taklif qildi, bu formula tuproqlarning issiqlik sig‘imining ularning namlik miqdoriga qarab oshishini aks ettiradi, ulardagi bog‘langan suv miqdorini hisobga oladi, tarqalgan tuproqlar va nam holatdagi tuproqlarning solishtirma issiqlik sig‘imini aniqlash uchun [8] muallif formulasidan foydalaniladi

$$C_{ВЛ} = 0{,}2x + 0{,}7y + (W - y), \qquad (3)$$

bu yerda x - mineral zarrachalarning og‘irlik miqdori, y - mahkam bog‘langan suv miqdori.

20 ^{0}C haroratdagi havoning issiqlik sig‘imi 1,04 kJ/kg ^{0} C ni tashkil qiladi. 1g tuproqdagi havoning og‘irlik miqdori 0,1% dan kam, shuning uchun tuproqning issiqlik sig‘imini uch komponentli tizim sifatida aniqlashda havoning issiqlik sig‘imi hisobga olinmaydi.

2-rasmda tuproqning issiqlik sig‘imi uning tarkibiga bog‘liqligi grafigi ko‘rsatilgan bo‘lib, unda tuproqning issiqlik sig‘imi massa namligining ortishi bilan chiziqli ravishda oshishini va o‘sish tezligi tuproqning qattiq komponentining issiqlik sig‘imiga bevosita bog‘liqligini ko‘rsatadi.



Issiqlik akkumulyator saqlaydigan issiqlik miqdori uning hajmiga bevosita tasir qiladi, bu esa o‘z navbatida uni ishlab chiqarishga, o‘rnatish va ishlatish uchun mehnat va material talablariga tasir qiladi. Issiqlik akkumulyatorida saqlanadigan issiqlik miqdori issiqlik saqlovchi material qizdiriladigan haroratga

bevosita bog‘liq bo‘lgani uchun, issiqlik saqlovchi materialning sarfini minimallashtirish zaryadlash haroratini maksimal darajada oshirishni talab qiladi. Biroq, haroratning bunday oshishi issiqlik yo‘qotilishining ko‘payishiga ham olib keladi.

Issiqlik akkumulyatorini hisoblashda yana bir muhim parametr manba o‘rtasidagi issiqlik almashinuvining intensivligidir, issiqlik to‘playdigan material va issiqlik akkumulyatorini zaryadlash va razryadlash paytida uzatiladigan issiqlik istemolchisi. Issiqlik to‘playdigan materialda va issiqlik almashinuvi apparati tayyorlangan material ichida sodir bo‘ladigan issiqlik almashinuvi berilgan materialning issiqlik o‘tkazuvchanligi bilan tavsiflanadi va Fure qonuni bilan tavsiflanadi [8].

$$dQ = -\lambda \frac{dT}{dl} dF d\tau, \quad (4)$$

bu yerda λ-issiqlik o‘tkazuvchanlik koyeffitsiyenti, $\frac{dT}{dl}$-harorat gradiyenti, F- issiqlik uzatish yuzasining maydoni, τ-vaqt.

Xulosa: Tuproqning issiqlik o‘tkazuvchanligi qattiq, suyuq va gazsimon komponentlarning nisbatiga, ularning kimyoviy va mineralogik tarkibiga, tog jinslarining strukturaviy va teksturaviy xususiyatlariga, ularning namligiga, suvning agregat holatiga va haroratga bog‘liq.

Issiqlik o‘tkazuvchanligi tuproq namligining ortishi bilan keskin oshadi, chunki tog‘ jinslari g‘ovaklaridan suv bilan siqib chiqarilgan havoning issiqlik o‘tkazuvchanligi suvnikidan taxminan 30 baravar past. Barcha g‘ovaklar to‘liq suv bilan to‘ldirilganda, tuproqning issiqlik o‘tkazuvchanligi maksimal qiymatiga yetadi.

ADABIYOTLAR

1. Григораш О.В. и др. Возобновляемые источники электроэнергии. Краснодар: КубГАУ, 2012. 272 с.
2. Безруких П.П. Возобновляемые источники энергии и надежность электроснабжения. Энергетическая политика. 2008. №3. С. 3–10.
3. Амерханов Р.А., Кириченко А.С. Способы аккумулирования энергии // Труды Кубанского госагроуниверситета. №4 (37). 2012.
4. Амерханов Р.А. и др. Вопросы теории и инновационных решений при использовании гелиоэнергетических систем. М.: Энергоатомиздат, 2009. 504 с.
5. Амерханов Р.А., Гарькавый К.А. Теплоаккумуляционная система // Альтернативная энергетика и экология. 2011. №3(95). С. 41-43.
6. Недвига П.Н. Возможности использования тепловых аккумуляторов // Инженерно-строительный журнал. № 3. 2010. С. 11-14.
7. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. М.: КНОРУС, 2010. 232 с.
8. Sorensen B. Renewable energy conversion, transmission and storage. Academic Press, 2007. 344 p.

SARIMSOQPIYOZ EKISH SEYALKASI MIQDORLAGICHINING KONSTRUKTIV PARAMETRLARINI ANIQLASHGA DOIR O‘TKAZILGAN TAJRIBAVIY TADQIQOT NATIJALARI

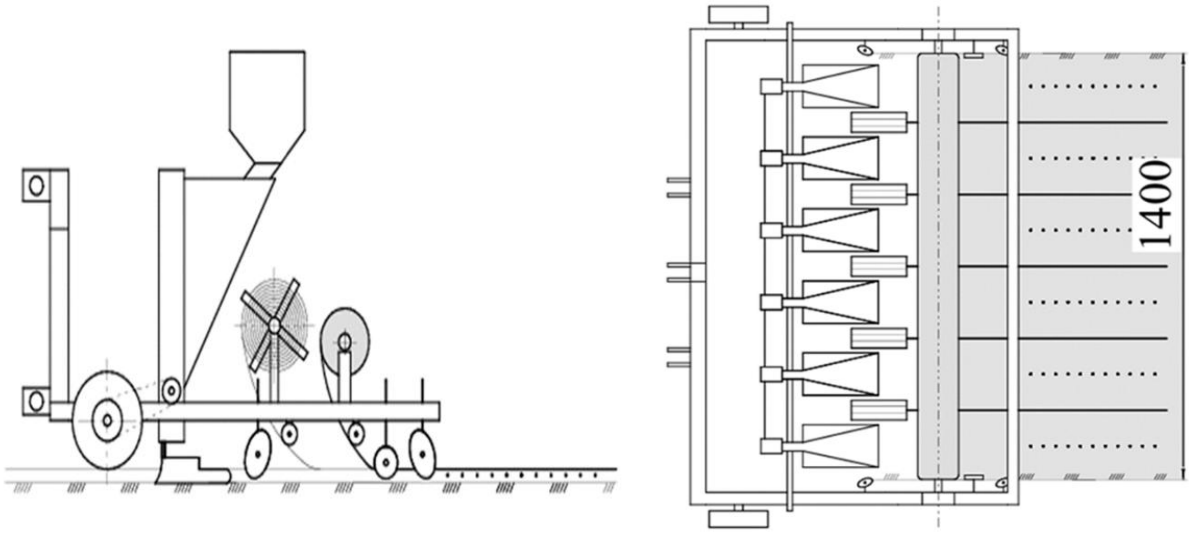
N.R.Rustamova. Qarshi davlat texnika universiteti PhD
F.Sh.Toyirova. Qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash ilmiy tadqiqot instituti, tayanch doktoranti
e-mail: nastarinabdullayeva1@gmail.com

Respublikamizda oziq-ovqat xavfsizligini ta’minlash, qishloq xo‘jaligi mahsulotlari yetishtirish hajmini oshirish va eksport salohiyatini kengaytirish agrar sohadagi islohotlarning bosh mezoni hisoblanadi. Ayniqsa, serdaromad va eksportbop ekinlardan biri bo‘lgan sarimsoqpiyozni to‘qsonbosti va bahorgi mavsumlarda keng ko‘lamda yetishtirishda zamonaviy resursjamlovchi texnologiyalarni qo‘llash muhim

ahamiyat kasb etadi. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024 yil 12 dekabrdagi PQ-431-son “2025–2026 yillarda qishloq xo‘jaligi korxonalariga zamonaviy qishloq xo‘jaligi texnikalari va uskunalarini yetkazib berish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi qarorida hamda O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2025 yil 12 avgustdagi PF-130-son “Qishloq xo‘jaligi sohasiga zamonaviy texnologiyalarni joriy etishni yanada jadallashtirish orqali samaradorlikni oshirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi Farmonida sohani mexanizatsiyalashtirish darajasini oshirish va innovatsion texnikalarni ishlab chiqarishga izchil tatbiq etish ustuvor vazifa etib belgilangan. Bundan tashqari, Vazirlar Mahkamasining sarimsoqpiyoz va to‘qsonbosti usulida sabzavot mahsulotlari yetishtirishni ko‘paytirish hamda sohaga klaster va kooperatsiya tizimlarini jalb etishga doir tegishli normativ-huquqiy hujjatlari ijrosi ham mazkur yo‘nalishdagi texnik vositalarni mahalliylashtirishni taqozo etadi [1; 2; 3].

Biroq, hozirgi kunda sarimsoqpiyoz ekish jarayonlarida qo‘l mehnatining yuqoriligi yoki mavjud xorijiy seyalkalarning mahalliy tuproq-iqlim sharoitlariga to‘liq moslashmagani urug‘larning shikastlanishiga, ekish chuqurligi va qator oralaridagi masofa bir xilligining buzilishiga olib kelmoqda. Bu esa o‘z navbatida mahsulot tannarxining oshishi va hosildorlikning kamayishiga sabab bo‘luvchi asosiy omillardandir.

Yuqoridagilardan kelib chiqib, Qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash ilmiy-tadqiqot instituti olimlari tomonidan urug‘lik sarimsoqpiyoz tishlarini shikastlamasdan, belgilangan agrotexnik talablar asosida ekish bilan birga sug‘orish shlangi va ustidan plyonka to‘shashni ta’minlaydigan seyalkani ishlab chiqish, ishchi organlari konstruksiyasini maqbul konstruktiv-texnologik parametrlarini ilmiy asoslash ushbu tadqiqot ishining maqsadi va asosiy vazifasi etib belgilangan.



1-rasm. Sarimsoqni plyonka ostiga ekishning agrotexnik ko‘rsatkichlari.

Seyalkaning texnologik ish jarayoni quyidagicha kechadi (1-rasm.). Seyalka traktorga uch nuqtali osish qurilmasi orqali osiladi. Ekiladigan sarimsoqpiyoz tishlari bunkerga solinadi. Ish organlari va ekish chuqurligi rostlanadi. Sarimsoqpiyoz tishlari bunkerdan qoshiqchali miqdorlagich orqali soshniklar ochgan ariqchalarga tushadi va ko‘muvchi g‘ildirak bilan biroz ko‘miladi. Ekish chuqurligi tuproq turiga qarab tanlanadi odatda sarimsoqpiyoz tishlari orasi 6-8 cm, ekish chuqurli 5-8 cm etib belgilanadi [3]. Seyalka ekish bilan birga tomchilatib sug‘orish shlanglari hamda plyonka ham to‘shab ketadi. Diskli ish organlar yordamida plyonka yon tomonlari ko‘miladi. Seyalka harakatni tayanch g‘ildiragidan oladi. Tayanch g‘ildiragi orqali miqdorlagichga zanjirli uzatma orqali harakat uzatiladi.

Zamonaviy qishloq xo‘jaligi texnologiyalarining rivojlanishi bilan aniq ekish qishloq xo‘jaligi ekinlarining hosildorligi va sifatini oshirishning eng muhim usuliga aylandi. Bu borada sarimsoq seyalkasini ekish aniqligi va samaradorligini oshirish imkonini beruvchi ekish seksiyasida qoshiqchali

miqdorlagich ishlab chiqildi. Ekish seksiyasida qoshiqchalarning diametrini aniqlashda sarimsoq piyoz urug‘lik tishlarini balandligi, eni, va kengliklarini aniqlab hajmi aniqlandi. Bundan maqsad eng ko‘p uchragan hajmli urug‘lik sarimsoqpiyoz tishlari o‘lchamiga qarab seyalka qoshiqchasining o‘lchami ya’ni qoshiqchaning ishchi qismini egrilik radiusini asoslash imkonini beradi.

2-rasm. Urug‘lik sarimsoq

Sarimsoqpiyoz ekish seyalkasining miqdorlagichining qoshiqchalarining konstuktiv o‘lchamlarini aniqlash bo‘yicha o‘tkazilgan tadqiqotlarda urug‘lik tishlarini geometrik o‘lchamlarini aniqlash va ushbu ko‘rsatkichlar orqali sarimsoqpiyoz tishlarini qoshiqchadan tushib ketmasligi hamda bir qoshiqchaga ikkita sarimsoqpiyoz tishi turib qolmasligini shart qilib olindi. Bunda hozigi kunda iste’moliga talab yuqori bo‘lgan 1 kg navli urug‘lik sarimsoqpiyoz tanlab olindi.

O‘lchash ishlarini amalga oshirishdan oldin uni sarimsoqpiyoz tishlarini ajratildi. So‘ngra shtargensirkul yordamida oldin balandligi (H) bo‘yicha keyin esa eni (E) va kengligi (K) ni o‘lchamlari aniqlandi. Aniqlangan o‘lchamlar natijalarini 1–ifodaga qo‘yib bir dona sarimsoqpiyoz tishining taxminiy hajmi hisoblandi. O‘lchov natijalari 2–jadvalda keltirilgan.

$$V = H \times E \times K, \qquad (1)$$

bu yerda: H-balandlik, mm; E-eni, mm; K-kenglik, mm.

1-jadval.

Sarimsoq urug‘lik pallalarining o‘lchamlari

T/r	Palla	Balandligi H, mm	Eni E, mm	Kengligi K, mm	Hajmi V, mm^3
1	1	29	15	16	6960
2	2	29	15	15	6525
3	3	29	13	15	5655
4	4	28	12	13	4368
5	5	25	11	14	3850
6	6	28	19	9	4788
7	7	27	16	13	5616
8	8	18	13	9	2106
9	9	10	10	9	900
10	10	17	13	10	2210
11	11	32	16	14	7168
12	12	23	15	11	3795
13	13	32	12	12	4608
14	14	28	15	11	4620
15	15	29	11	12	3828
16	16	28	15	8	3360

17	17	25	12	10	3000
18	18	27	10	13	3510
19	19	25	10	12	300
20	20	22	13	11	3146
21	21	11	9	9	891

Olib borilgan tadqiqot natijalaridan ko'rinib turibdiki, urug'lik sarimsoqpiyoz tishlarining balandligi 10-32 mm, eni 9-19 mm, kengligi 8-16 mm oralig'ida bo'lgan. Olingan o'lchamlar asosida har bir dona tish hajmi 300-7168 mm^3 atrofida bo'lishi aniqlangan.

2-jadval.

O'lchamlarning o'rtacha va ekstremal qiymatlari

Ko'rsatkich	Minimum	O'rtacha	Maksimum
Balandlik (H), mm	10	24,85	32
Eni (E), mm	9	13	19
Kenglik (K), mm	8	11,7	16
Hajm (V), mm^3	300	3866,85	7168

Xulosa qilib aytganda, tadqiqot natijalari sarimsoq urug'lik pallalarining o'lchamlari sezilarli darajada farq qilishini ko'rsatadi. Bu ko'rsatkichlarni hisobga olish orqali sarimsoq ekish seyalkasining ishchi organlarini takomillashtirish, ekish sifatini oshirish va hosildorlikni yaxshilash mumkin.

Adabiyotlar
1. https://lex.uz/uz/docs/-7261011?ONDATE=14.12.2024
https://lex.uz/uz/docs/-7694880
3. https://lex.uz/docs/5049414

QUYOSH ENERGIYASIDAN FOYDALANIB ISSIQLIK AKKUMULYATORLI MEVA VA SABZAVOTLARNI QURITISH QURILMASINI SAMARADORLIGINI TAKOMILLASHTIRISH

B.E.Xayriddinov[1], I.L.Ne'matov[1], D.N.Ro'ziyeva[1]
[1]Qarshi Davlat Universiteti
[2]Qarshi Davlat Texnika Universiteti
e-mail: ruziyevadurdona148@gmail.com

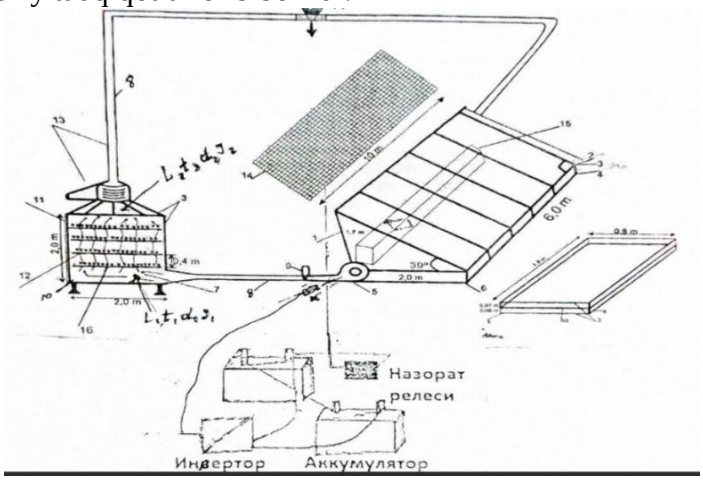
Atrof-muhitning temperaturasini tebranish kattaliklarini o'zgarishi sababli qishloq xo'jalik mahsulotlarini quritishda qurilmaning ichki havosini bir xilda saqlanishiga erishish uchun suvli bak-akkumulyator joylashtirish va uni geometrik o'lchamlarini optimallashtirishni yechish dolzarb masala hisoblanadi.

Quyosh quritgich ichidagi havo suvli bak issiqlik akkumulyatordan qizdirilishi tizimdagi jarayonda quritgichning o'lchamlariga va shakliga bog'liq bo'ladi. Shuningdek, suvli bakning joylashishiga, unda issiqlik tashuvchining tizimiga, ob-havo sharoiti va boshqalarga bog'liq bo'ladi [1].

Mavjud quyosh energiyasidan foydalanadigan quritgichlar uchun o'lchamlari va shakli aniqlangan, issiqlikni to'plash jihatida turli xil issiqlik akkumulyatorlaridan foydalanish metodlari keltirilgan [2].

Ma'lumki, quyosh energiyasidan qishloq xo'jalik mahsulotlarini quritishda foydalanib, mikroklim

rejimini yaratishda suvli issiqlik akkumulyatorlarining samarali ishlashini ta’minlanishi muhim rol o‘ynaydi. Havo bilan suvli bak issiqlik akkumulyatori orasida issiqlik almashinuvini intensivligini takomillashtirish uchun suvli bak issiqlik akkumulyatori tomonlarini quyosh tomonga qaratilganligini tanlash muhimdir (1-rasm).Suvli bak issiqlik akkumulyatorining o‘lchamlarini optimallashtirish maqsadida tizimli eksperimental va nazariy tadqiqotlar olib borildi.



1-rasm. Suvli issiqlik akkumulyatorli quyosh hajmiy qizdirish kollektor-kamerali quritgichning tuzilishi va unda meva quritish texnologiyasi.

1 — mevalarni radiatsion-konvektiv usulda quritishga mo‘ljallangan quyosh havo qizdirish hajmiy kollektori; 2 — quyosh hajmiy havo qizdirish kollektoriga tashqi havo oqimi kirish darchasi; 3 — shisha qoplamali tiniq yuza; 4 — havo qizdirish kollektorining qoraga bo‘yalgan tagligi; 5 — quyosh nur energiyasi ta’sirida qizigan havo oqimini hajmiy kollektordan mahsulot quritish kamerasiga haydovchi ventilator; 6 — hajmiy havo isitish kollektor moduli;7 — issiq havo oqimi to‘lqinlarining taqsimlanishi; 8 — havo quvurlari; 9 — havo oqimi temperaturasi va sarfini avtomatik nazorat qiluvchi datchik; 10 — qoraga bo‘yalgan taglik; 11 — issiqlik saqlovchi qatlam; 12 — mevalar yoyilgan stelaj-vatnos; 13 — rekuperativ jarayonni boshqarish qurilmasi; 14 — quyosh paneli; 15 — quyosh hajmiy havo qizdirgich kollektorida joylashtirilgan suvli bak issiqlik akkumulyatori; 16 — mevalarni konvektiv usulda quritish kamerasi; 17 — quyosh quritgichida soyagi (urug‘siz) uzumlarni quritish jarayonida kameradan chiqadigan havo tarkibidagi namlikni yutish xossasiga ega bo‘lgan absorber.

Suvli bak issiqlik akkumulyatorini issiqlikni akkumulyatsiyalash jarayonidagi turli xil temperaturalar uchun issiqlik berish koeffitsiyenti hisoblandi va akkumulyator konstruksiyasi ishlab chiqildi (2-rasm). Issiqlik akkumulyatorining samaradorligi analitik va eksperimental tadqiqot natijalariga muvofiq aniqlanib, shu asosda issiqlik akkumulyatorining issiqlikni akkumulyatsiyalash jarayoni o‘rganildi. Issiqlik akkumulyatorining samarador ish rejimini xarakterlovchi optimal o‘lchamini tanlash uning yuqori samaradorlik jarayonini ifodalovchi tenglamalardan [3–5] foydalanishni talab etadi. Atrof-muhit bilan geliokuritkich ichidagi hajmiy havoning o‘zaro ta’sirlashishi, shuningdek, suvli bak issiqlik akkumulyatori bilan o‘zaro ta’sirlashishi natijasida issiqlik tashuvchi issiqlik akkumulyatorlarning o‘lchamlarini o‘zgartirish asosida erishish mumkin. Suvli bak issiqlik akkumulyatori o‘lchamlarini tanlashda geliokuritkich ichidagi hajmning havo temperatura rejimi mo‘tadilligini ta’minlanishi sutka davomida asos qilib olinadi [4–6].

Issiqlik akkumulyatorining samarador ish rejimini xarakterlovchi optimal o‘lchamini tanlash uning yuqori samaradorlik jarayonini ifodalovchi tenglamalardan foydalanishni talab etadi. Suvli bak issiqlik akkumulyatorida issiqlikning hajmiy taqsimlanishini hisoblashda, suvli baklarning yassi devor bo‘ylab issiq havo oqimi geliokuritkichdan mahsulotni konvektiv quritish kamerasiga uzatilishi jarayonida issiqlikning akkumulyatsiyalanishining samaradorlik darajasi aniqlandi. Suvli bak issiqlik akkumulyatorlar

parallelepiped shaklida bo‘lib, geliohavo qizdirish kamerasining shimol tomonida har birining orasi 10 sm bo‘lib, suvli baklarning eni a_{bak} 25 sm, balandligi 40 sm va uzunligi 60 sm. Yon tomoni bilan joylashtirilganda 6 ta suvli bak issiqlik akkumulyatori joylashadi. Suvli bak issiqlik akkumulyatorining bo‘yi (b_{bak}) va balandligi (h_{bak}) bo‘yicha ekvivalent diametri $(b_{bak.ekv})$quyidagi ifoda orqali aniqlanadi [7, 8]:

$$d_{bak} = \frac{4b_{bak}h_{bak}}{2(b_{bak}+h_{bak})} = \frac{2b_{bak}h_{bak}}{(b_{bak}+h_{bak})} \qquad (1)$$

Suvli baklar to‘plamining ekvivalent diametri d_{ekv} quyidagi tenglikdan aniqlanadi:

$$d_{bak} = \frac{4f}{u} = \frac{4\left(s_1 s_2 - \frac{\pi d_{bak.ek}}{4}\right)}{\pi d_{bak.ek}} = 4\frac{s_1 s_2}{\pi d_{bak.ek}} - d_{bak.ek} \qquad (2)$$

Quyosh meva quritgichning shimoliy devor tomonida joylashtirilgan suvli bak issiqlik akkumulyatori to‘plamlarining ko‘ndalang kesimi [9] da keltirilgan. Suvli bak issiqlik akkumulyatorlarini quyosh nur energiyasi, mahsulot quritiladigan qurilmaning ichki havo temperaturasi bilan o‘zaro ta’sirlashishida issiqlik almashinishini tadqiq etishda: hajmiy havo qizdirishning geliokuritkich ichidagi havo temperaturasining o‘zgarishi, suvli bak akkumulyator orqali issiqlik tashuvchilarning issiqlik energiyasini xarakterlovchi tizim issiqlik balans tenglamasi orqali quyidagicha ifodalanadi [10, 11]:

$$c_c\rho_c V_c \frac{dT_c(\tau)}{d\tau} = \Sigma_i(q_c)i \qquad (3)$$

$$c_h\rho_h V_h \frac{dT_h(\tau)}{d\tau} = \Sigma_i(q_h)i \qquad (4)$$

$$c_П\rho_П V_П \frac{dT_П(\tau)}{d\tau} = \Sigma_i(q_П)i \qquad (5)$$

Quyidagicha ruxsat etilgan shartlarni belgilab olamiz: o‘zaro har bir kontaktda bo‘lgan sohalarda temperatura tarqalishi bir jinsli. Havoning issiqlik fizik xossasi va issiqlik tashuvchining temperaturasiga bog‘liq bo‘lib qolmasdan, mahsulot quritiladigan qurilmaning ichki havosini tiniq yuzasi orqali atrof-muhit bilan o‘zaro ta’sirlashishiga hamda hajmiy havo tashuvchisi va bak akkumulyatorning yon tomonlari ta’sirlashishiga ham bog‘liq bo‘ladi. Shu tizimga muvofiq holda (3–5) tenglamalarning o‘ng tomonini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\Sigma_i(q_c)i = \alpha_1 F_{yon}\big(T_h(\tau)\big) - T_c(\tau) + F_{yon}S_i \qquad (6)$$

$$\Sigma_i(q_h)i = KF_0[T_h(\tau) - T_T(\tau)] - \alpha_1 F_{yon}\big(T_h(\tau) - T_T(\tau)\big) + (F_c - F_{yon}\cdot\varepsilon)S_i \qquad (7)$$

$$\Sigma_i(q_П)i = \alpha_2 F_П\big(T_h(\tau)\big) - T_П(\tau) + F_П S_i \qquad (8)$$

Bu yerda α_1 va α_2 issiqlik berish koeffitsiyentlari va K — issiqlik uzatish koeffitsiyenti [1] adabiyotlardan mos ravishda olindi:

$$\alpha_1 = 40{,}8\frac{Vt}{sm^2\cdot K}; \quad \alpha_2 = 17{,}5\frac{Vt}{sm^2\cdot K}; \quad K = 6{,}53\frac{Vt}{sm^2\cdot K};$$

ε — quyosh nur energiyasini quritgichni suv bak-akkumulyatorga va tuproq qatlamiga to‘planadigan energiyaning qancha qismi ekanligini xarakterlaydigan *L*-parametr (3) formulani chap tomonini ifodalaydi. *L=0,025 m*

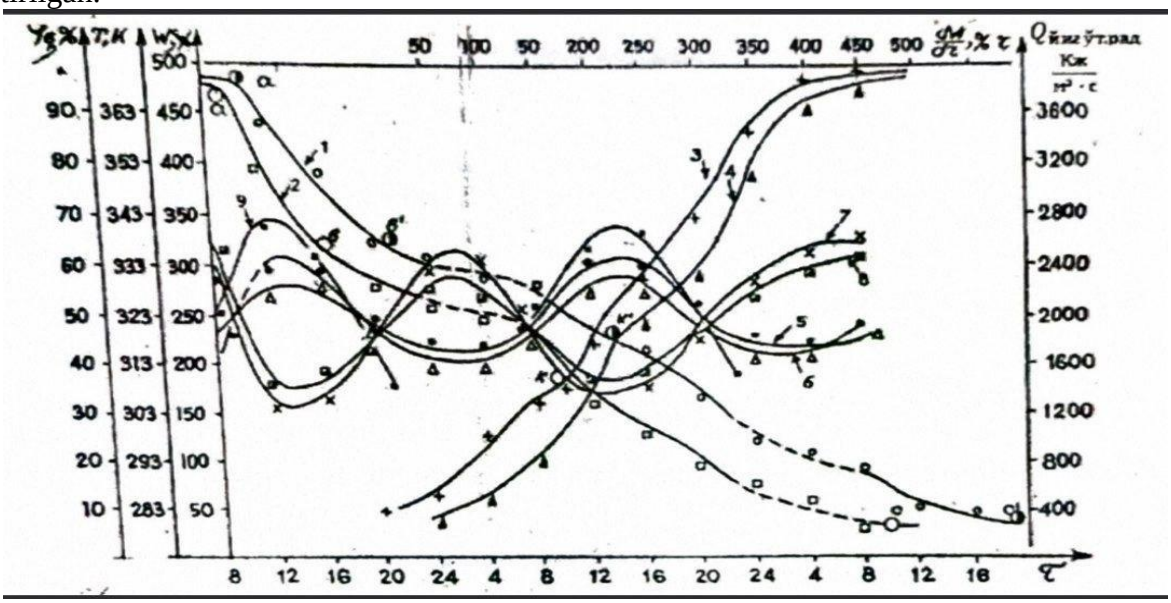
$$V_c = LF_{yon}$$

(1) – (3) differensial tenglamalar sistemasini $0 \div \tau$ vaqt oralig‘ida, bir sutka davomida ertalab soat 7 dan keyingi kun ertalab soat 7 gacha bo‘lgan oraliq olingan.Vaqtning dastlabki momentida bak-akkumulyatordagi suvning temperaturasi va meva quritgich ichidagi havo temperaturalari berilgan. Shuningdek, vaqt intervalida atrof-muhit havo temperaturasi va quyosh nurining intensivligi ham tajribada aniqlandi.

Hisoblashlar MATLAB/Simulink dasturiga muvofiq quyidagi ma’lumotlarga asosan olib borildi: $T_h = 29{,}4^0C$; $T_c = 39{,}6^0C$; $T_П = 41^0C$; $\rho_h = 1{,}205$ $\rho_c = 1000$; $\rho_П = 1700$ kg/m^3; $V_h = 260m^3$; $C_h = 1009$; C_c =4180; $C_П$ =2010 *J/kg*K* ; $F_c = 12m^2$; ; $F_b = 25m^2$; ; $F_П = 60m^2$.

Suvli bakda issiqlik akkumulyatsiyalash ikkita siklik jarayonda, ikkita etapda — akkumulyatorni zaryadlash va zaryadsizlantirish tizimi asosida bajariladi. Qaralayotgan jarayonda birinchi etap uchun 10 soat, ikkinchisida 14 soat davom etadi. Kunduzgi paytlarda issiqlik akkumulyatordagi suvning temperaturasi T_c , meva quritgich hajmiy qizdirgich kollektoridagi havo temperaturasi T_h dan kichik (T_c<T_h) bo‘ladi. Bu jarayondagi quritgichdagi hajmiy havo harorati va bak-akkumulyatordagi suvning temperaturasi quyosh nur energiyasi ta’sirida maksimal darajagacha ko‘tariladi. So‘rib-haydovchi nasos ishlab turganda 55–60 °C gacha yetishi mumkin. Quyosh meva quritgichida o‘rik quritish jarayonidagi tajribalardan aniqlanadigan sifatli va quruq mahsulot tayyorlash rejimi hajmiy havo temperaturasini sutka davomida suvli bak Akkumulyatori devorlarining qalinligi L va baklardagi suv sig‘imiga bog‘liq holda farqli o‘zgarishiga bog‘liq bo‘ladi.

2-rasmda issiqlik akkumulyatorli quyosh quritgichida o‘rikni quritish kinetikasi va tezligini havo temperaturasi, namligi, quritgichning tiniq yuzasidan o‘tadigan quyosh energiyasi miqdoriga bog‘liqlik grafigi keltirilgan.



2-rasm. Suvli issiqlik akkumulyatorli quyosh havo quritgichida o‘rikni quritish kinetikasi va tezligini havo temperaturasi, namligi, quritgichning tiniq yuzasidan o‘tadigan quyosh energiyasi miqdoriga bog‘liqlik grafigi.

1 va 2 — o‘rikni radiatsion-konvektiv usulda quritish kinetikasi; 3 va 4 — radiatsion-konvektiv va konvektiv usulda quritish tezligining o‘zgarishi; 5 va 6 — issiqlik akkumulyatorli quyosh quritgichida havo temperaturasining konvektiv va radiatsion-konvektiv usulda quritish jarayonida o‘zgarishi; 7 va 8 — issiqlik akkumulyatorli quyosh quritgichida havo namligining konvektiv va radiatsion-konvektiv usulda quritish jarayonida o‘zgarishi; 9 — quyosh quritgichining tiniq yuzasidan o‘tadigan energiya miqdorining o‘zgarishi.

Vaqt birligida tashqi havo temperaturasi, quyosh radiatsiyasining intensivligini xarakterlanishi keltirilgan. 2022-yil 21–29-iyun.

Radiatsion-konvektiv meva quritgich kamerasida o‘rikni quritish jarayonida bak-akkumulyatordagi suv sig‘imi 360 l bo‘lganda, hajmiy havo qizdirish kollektorida va konvektiv usulda mahsulot quritish

kamerasida issiqlik almashinuvining rekuperativ sirkulyatsiyalanishi jarayonida temperatura o‘zgarishi quritish intensivligi uchun sutka davomida qoniqarli rejimda saqlanadi.

Qishloq xo‘jalik mahsulotlarini radiatsion va konvektiv usulda intensiv quritishda bak-akkumulyatorlardagi suvning foydali hajmlarda akkumulyatsiyalangan issiqlik miqdori va quyosh nuriga nisbatan tik holatda joylashgan suvli baklariga qora bo‘yoq bilan qoplangan yuzaga tushgan quyosh radiatsiyasi ta’sirida akkumulyatsiyalangan Q_{ak} issiqlik miqdori quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$Q_{ak} = \rho_c \cdot C_c \cdot \Delta T_c \cdot L \cdot \eta$$

Olib borilgan tadqiqotlarda suvli baklar soni 6 ta bo‘lib, radiatsion kollektor va konvektiv usulda mahsulot quritish kamerasida quritish rejimi sutka davomida foydali rejimni ta’minlashga yetarli bo‘ladi. Natijada stelajlarga 1 m^2 yuzaga 8 kg o‘rik yoyiladi va jami 800 kg bo‘lib, shundan 250–300 kg quritildi. Mevalarni 3–5 sutkada intensiv va sifatli quritishga erishildi. 2-rasmda suvli bak issiqlik akkumulyatorli quyosh quritgichida o‘rikni radiatsion-konvektiv usulda quritish kinetikasi va tezligining havo temperaturasi, namligi, quritgichning tiniq yuzasidan o‘tadigan quyosh nur energiyasiga bog‘liqligi nazariy va eksperimental tadqiqotlarning natijalari muvofiqligi bilan xarakterlanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati:

1. Умаров Г.Г., Мирзияев Ш.М., Юсупбеков О.Н. "Гелиосушилка сельхозпродуктов". Т: "Фан". 1995. 143 с.
2. Ким В.Д., Хайриддинов Б.Э., Холлиев Б.Ч. Естественно-конвективная сушка плодов в солнечных сушильных установках: практика и теория. Т.: «Фан», 1999, 266 с.
3. Эльсебай А.А., Шалабы С.М. Солнечная сушка сельскохозяйственных продуктов. //Обзоры возобновляемой и устойчивой энергетики. Обзор, 2012 с.37-43.
4. Хайриддинов Б.Э., Садыков Т.А. Комбинированные гелиотеплицы сушилки. Т.: «Фан», 1992. 166 с.
5. Mojol O.O. Solar drying of a crop in the conditions of low humidity. //International journal of energy research. 1987, 11(3), p.333-342
6. Ampratvum D.B., Dorvlo A.S. Evalution of the solar cabine dryer as an air heating system. //Applied Energy. 1987. 11 (3).p.63-71.
7. Фролов В.Ф. Моделирование сушки дисперсных материалов. Л.: «Химия», 1987. 204 с.
8. Захидов Р.А., Киргизбаев Д.А., Орлова Н.И., Нуриддинов Х.И. Комбинированная сушильная установка. //Гелиотехника, 1988. №4. -0.60-64
9. Эргашев Ш.Х. Мукобил энергия манбалари асосида комбинациялашган "чорвачилик-гелноиссикхона комплекси"нинг энергия самарадорлигини ошириш. Т.ф.ф.д. автореферати. Қарши 2022 й. 22 бет.
10. Волков М.А. Теплои массообменные процессы при хранение пищевых продуктов. М.: «Легкая и пищевая промышленность», 1982. 262 с.
11. Хайриддинов Б.Э., Холмирзаев Н.С., Халимов Ғ.Ғ., Рисбаев А.С. Эргашев Ш.Х. Мукобил энергия манбаларидан фойдаланиш. Монография. Т.: Adad Plus. 2017. 417 6.

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ПРИ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИОННОЙ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКЕ ПЛОДОВ И ЯГОД

Б.Э. Хайриддинов[1], С. Умарова[1] Д.Н. Рўзиева[1]
[1]Каршинский государственный университет
e-mail: ruziyevadurdona148@gmail.com

Проведен расчет теплового режима и определены тепловые параметры солнечной сушильной установки на основе балансовой системы уравнений тепло-и массообмена в сушилке

Известно, что сушильная камера при солнечной радиационно-конвективной сушке имеет светопрозрачное ограждение, через которое на продукт непосредственно попадает солнечное излучение, т.е. имеет место комбинированный нагрев продукта горячим воздухом, идущим от гелиовоздухонагревателя, и солнечным излучением.

Цель данной работы расчет теплового режима и определение некоторых тепловых параметров солнечной сушильной установки на основе балансовой системы уравнений тепло- и массообмена в сушилке.

Тепловой баланс в солнечной установке можно представить в виде

$$Q_{общ} = Q_{нп} + Q_{к} + Q_{от} + Q_{исп}\,, \qquad (1)$$

где $Q_{общ}$ – общий поток солнечной энергии, падающий на установку; $Q_{нп}, Q_{исп}$- тепло, идущее на нагрев продукта и испарение соответственно;$Q_{к}$- потери тепла стенками камеры в окружающую среду; $Q_{от}$ – потери тепла с воздухом, выходящим из камеры.

Тепло, затраченное на нагрев продукта, определяем по формуле

$$Q_{нп} = mc(t - t_n), \qquad (2)$$

где c - удельная теплоемкость продукта.

Величина $Q_{нп}$ зависит от периода сушки. В первом периоде сушки все подводимое к продукту тепло идет на испарение воды.

Тепло $Q_{исп}$, расходуемое на испарение воды из продукта, определяется уравнением

$$Q_{исп} = N \cdot S \cdot r \cdot \Delta\tau, \qquad (3)$$

где r- удельная теплота испарения; N – скорость сушки.

Тепловые потери $Q_{к}$ стенками сушильной камеры записываются в виде

$$Q_{к} = K \cdot S_K(t_K - t_0), \qquad (4)$$

где K – коэффициент теплопередачи от стенок в окружающую среду, имеющую температуру t_0, t_K- температура и S_K суммарная площадь теплоотдающих поверхностей камеры.

Потери тепла $Q_{от}$ воздухом, выходящим из камеры,определяются в виде

$$Q_{от} = [Gc_{вых}(t_{вых} - t_0) + Gr]\Delta\tau \qquad (5)$$

где G - расход теплоносителя.

Задачей расчета сушилки является выбор таких значений параметров, которые обеспечивали бы приемлемую производительность и экономичность процесса сушки.

При расчете тепловых параметров сушилки используется уравнение баланса (материальный и тепловой), при котором задаются производительность и параметры теплоносителя на входе и выходе из сушилки. В результате расчета определяются тепло, необходимое для сушки и расход теплоносителя. Для определения размеров сушилки должны быть известны вид продукта, его начальное влагосодержание и время сушки.

В работе [1] приведены методика расчета темпера-турно-влажностного режима, скорость сушки продуктов и ее изменение по длине сушильной камеры. Сушильная камера длиной l разбивается на

участки длиной *a,* в пределах которых тепловые параметры воздуха и продукта постоянны. Однако в данной работе не учитывается влияние поглощен-ного солнечного излучения на изменение скорости сушки и теплового режима сушилки, хотя в радиационно-конвективных фактором, влияющим на сушку, является солнечное излучение.

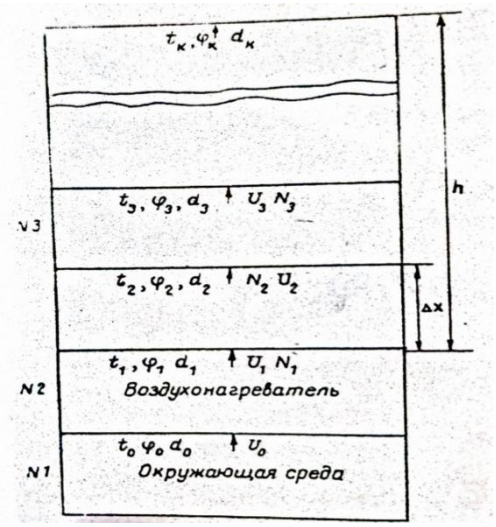


Рис. 1. Схема расчета температурно-влажностного режима и скорость сушки по высоте сушильной камеры.

Схема определения теплового режима сушилки на отдельных участках представлена на рис. 1. На участке 1 даны температура t_0 и влажность φ_0 окружающего воздуха. На участке 2 гелиовоздухонагревателя температура t_1, влажность φ_1 и скорость теплоносителя v_1. Давление пара на участке 1 равно давлению пара окружающего воздуха $-P_{n1} = P_{n2}$. Влажность φ_1 нагретого воздуха на участке 2

$$\varphi_1 = \frac{P_{n1}}{P_{n2}}. \qquad (6)$$

Влагосодержание паров воды в воздухе d_1

$$d_1 = 0{,}622\frac{P_{n1}}{B - P_{n1}} \qquad (7)$$

Где B - барометрическое давление (B = 10332$\frac{кг}{м^2}$).

Находим количество тепла Q_1 переносимого теплоносителем из воздухонагревателя в камеру (участок Δx):

$$Q_1 = G_1 c_p (t_1 - t_0)\Delta\tau, \qquad (8)$$

Где G_1 - массовый расход теплоносителя; c_p — теплоемкость воздуха.

Время $\Delta\tau$ определяется из скорости v_1 и, и высоты участка Δx:

$$\Delta\tau = \frac{\Delta x}{v_1}.$$

Массовый расход воздуха

$$G_1 = \rho_1 v_1 ab,$$

где ρ_1 — плотность теплоносителя; *a* и *b* - соответственно длина и ширина камеры.

Допустим, что на участке Δx скорость сушки N известна, тогда количество испарившейся влаги m_n за время $\Delta\tau$

$$m_n = N \cdot S_n \cdot \Delta\tau \quad (9)$$

Количество тепла, расходуемого на испарение

$$Q_{\text{исп}} = m_n \cdot r \qquad (10)$$

Количество тепла, переданное воздухом высушиваемому продукту

$$Q_{\text{к}} = \alpha_n \cdot S_n (t - t_n)\Delta\tau, \quad (11)$$

где S_n - площадь поверхности продукта.

$$S_n = 2ab \qquad (12)$$

Температура продукта на первом и частично втором этапах сушки равна температуре мокрого термометра [1, 2]. На участке Δx сушки определяются следующим образом. В первом параметры приближении температура воздуха в равна температуре воздуха на входе t_1 и определяется длиной участка Δx. С уменьшением Δx это условие, очевидно, выполняется точнее. Влажность воздуха на участке Δx определяется по значениям $P_П$, оцениваемым формулой Шпрунга [1]

$$P_П = P_{\text{нп}} - 6{,}78(t - t_{\text{п}})\frac{P}{10270}, \qquad (13)$$

где $t_{\text{п}}$ - температура продукта.

Из (1) и (11), если дана начальная скорость сушки N на участке Δx можно при заданном $\alpha_{\text{к}}$ определить количество тепла Q_2 выносимое воздухом, выходящим из участка Δx и его температуру t_2:

$$Q_2 = Q_1 + Q_P - Q_{\text{исп}} - Q_{\text{к}}\,, \qquad (14)$$

где$Q_{\text{к}}$ - потери тепла камерой в окружающую среду на участке,

$$Q_{\text{к}} = KS_K(t_1 - t_0)\Delta\tau = 2\alpha_n S_n(t_1 - t_0)\Delta\tau \quad (15)$$

Подставляя в (14) значения Q_1 , $Q_{\text{исп}}$, $Q_{\text{к}}$ и Q_P получаем

$$Q_2 = [\rho_1 v_1 abc_P(t_1 - t_0) + AIS - 2Nrab - 2\alpha_K(a + b)\Delta x(t_1 - t_0)]\Delta\tau \qquad (16)$$

Учитывая, что массовый расход воздуха постоянен ($G_1 = G_2$) получим

$$t_2 = t_0 + \frac{Q_2}{G_1 c_P \Delta\tau} \qquad (17)$$

Следовательно,

$$t_2 = t_0 + \frac{[\rho_1 v_1 abc_P(t_1 - t_0) + AIS - 2Nrab - 2\alpha_K(a+b)\Delta x(t_1 - t_0)]\Delta\tau}{G_1 c_P \Delta\tau}.$$

Итак, мы получили температуру воздуха t_2 на выходе из участка Δx. Далее проведем расчет для второго участка № 3 (2), где влажность воздуха, температура и скорость сушки имеют другое значение. Зависимость скорости сушки от влажности и температуры воздуха можно определить по формуле Дальтона, справедливой для скорости испарения воды со свободной поверхности

$$N = C(P_{\text{Н}} - P_П) \quad (18)$$

где С коэффициент испарения, зависящий от скорости воздуха. Формулу (18) можно переписать в виде [1]

$$N = 6{,}78C(t - t_{\text{п}})\frac{P}{10270}, (19)$$

где С = (127,2 + 130,8 v)-10^3 г/ч-кг.

Для определения параметров сушилки на втором участке № 3(2) необходимо знать скорость теплоносителя v_2 и парциальное давление пара в воздухе. Скорость теплоносителя v_2 определяется при условии $G_1 = G_2$ и составляет $v_1 = v_2 \frac{\rho_1}{\rho_2}$.

Теперь определим $P_{П2}$. При входе на участок 2 нам известны и d_2;

$$d_2 = d_1 + \Delta d.$$

Здесь $\Delta d = \frac{m_П}{\rho V_B}$, V_B – объем воздуха на отдельном участке, где испарилась влага из продукта;

$$V_B = S_П \Delta x, \qquad (20)$$

Из (12) определим P_{n2} и проведем расчет параметров на втором и третьем участках сушильной камеры, а далее процесс повторяется до выхода из камеры.

Результаты, расчета температурно-влажностного режима в радиационно-конвективной установке (вертикальная камера) с габаритными размерами $a = 0.5$ $b = 0,5$ $h = 2$ $\Delta x = 0,2$ *м*, при температуре окружающего воздуха $t_0 = 30^0C$ и влажности воздуха $\varphi =$ 25%: параметры теплоносителя выходящего из воздухонагревателя - $\vartheta = 1$м/с, $t_1 = 30^0C$; скорость сушки N = 0.15 кг/м-ч (рис. 2). Из рис. 2 видно, что изменения скорости сушки и влажности продукта по высоте камеры незначительны. Изменения температуры и влажности воздуха камеры также минималь-ны. Максимальный перепад температуры воздуха составляет всего 3÷4 °С. Следует отметить, что практически постоянными остаются влагосодержание воздуха и скорость теплоносителя в камере.

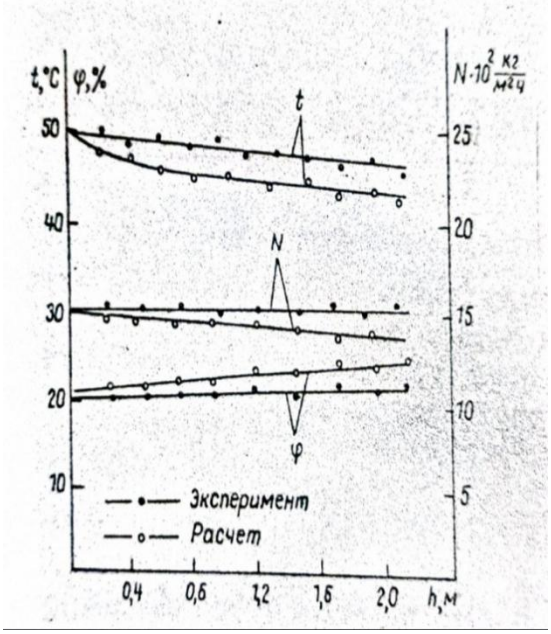


Рис. 2. Температурно-Н влажностный режим скорость сушки по высоте сушильной камеры.

Анализ процесса сушки показывает, что если при конвективной сушке скорость сушки по высоте камеры уменьшается, то при радиационно-конвективной сушке она может оставаться постоянной. Это обусловлено тем, что увеличение парциального давления пара воздуха P_n компенсируется увеличением температуры продукта, т.е. имеет место процесс в какой-то степени саморегуляции скорости сушки [1, 2]. Таким образом, конвективной сушке влажность воздуха почти не влияет на скорость сушки. Устройство и принцип работы радиационно-конвективной сушильной установки описаны в [3]. В качестве объектов сушки были выбраны плоды абрикоса и тутовника.

Результаты экспериментальных и расчетных исследований показывают, что радиационно-

конвективная сушильная установка при оптимальном тепловом режиме обеспечивает равномерную сушку продукта с сохранением внешнего вида и высоких качеств. Из полученных данных следует, что солнечная радиационно-конвективная сушка достаточно эффективна, и этот способ подвода тепла к продукту необходимо учитывать при разработке комбинированной сушилки. Полученные расчетные и экспериментальные данные процесса сушки могут быть использованы при проектировании сушильных установок производственного назначения.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Нуриддинов Х. Разработка и исследование комбинированной гелиосушилки плодово-овощной продукции. Дисс. канд. техн. наук. Ташкент. 1994. [2]. Кришер О. Научные основы техники сушки. / Пер. с нем. М., 1961. 539 с. [3]. Назаров М. Р., Комилов О. С., Ачилов Б.М.,Шадиев С. Ф. // Гелиотехника. 1990. №1. С.76.

MATHEMATICAL MODELING OF HEAT AND MOISTURE TRANSFER PROCESSES IN A GREENHOUSE HEATED BY EVACUATED TUBE SOLAR COLLECTORS

Aliyarova Lola Abdijabborovna- PhD
Niyozova Dildora Kholmirzayevna - assistant
Sokhibov Medkhun Islam oglu -laboratory assistant
Karshi State Technical University
lola.aliyarova@mail.ru

This scientific article covers the issues of mathematical modeling of heat and humidity processes occurring in greenhouses, increasing their energy efficiency and project implementation of solar heating system (vacuum tube collectors). The study was carried out in the climatic conditions of the city of Karshi, modeling was carried out taking into account differential equations of heat and humidity exchange, Hottel-Whillier-Bliss model, Penman-Monteith transpiration model and soil inertia. The results of the calculation and experiment showed that it is possible to keep the temperature in the greenhouse stable in the range of 21–27 °C and the relative humidity in the range of 60–75%.

In the southern regions of Uzbekistan, in particular, in the Kashkadarya region, greenhouse farms need a large amount of thermal energy due to the low outside temperature and sharp fluctuations of the day during winter and transition seasons. The use of traditional fuels (natural gas, coal) is economically expensive and environmentally detrimental. Therefore, the use of solar energy-based solar systems is becoming the most promising direction for greenhouses.

Niyozova D.Kh. (2025) noted that in Uzbekistan there are about 270 days of sunshine per year, the annual solar radiation is from 2000 to 2500 hours, and the total amount of radiation reaches from 1800 to 2200 kWh/m². According to the results of a case study conducted in Karshi, the average thermal efficiency of a solar water heating collector with a vacuum tube with a volume of 200 liters was 74.6% and 7.21 kWh of useful thermal energy was obtained (Sohibov M., Toshboev A., Sultanov S., 2025). The study of Uzakov G.N., Aliyarova L.A. and Toshmamatov B.M. (2021) proved the high efficiency of using a combined system based on solar energy to manage the heat and humidity state of the air.

The research object was chosen as the research object a greenhouse with an area of 100 m², a height of 4 m (volume V = 400 m³) in Karshi and a solar collector system with a vacuum tube connected to it. The walls of the greenhouse are made of transparent polycarbonate material, and the roof is covered with glass/polycarbonate panels with a two-storey thermal conductivity coefficient U = 5.5 W/(m²· K).

Basic conditions for calculations.

Solar radiation intensity: I_{sol} = 850 W/m². Outside temperature: Ta = 10 °C (283.15 K) and -5 °C for extreme cold scenarios.Ventilation rate/air exchange: v = 0.25 m/s (or ACH = 1.5–2.0 1/h). Air density: $\rho_a = 1.2\ \mathrm{kg/m^3}$. Specific heat capacity of air: c_p = 1005 J/(kg· K).

Dynamic heat balance of the greenhouse. The time variation in the temperature of the greenhouse is expressed by the following differential equation.

$$\rho_a \cdot c_p\, V(dT_v/dt) = Q_{sol} + Q_{coll} - Q_{wall} - Q_{vent} - Q_{soil}$$

V: Greenhouse size (400 m³). Tv: Greenhouse internal air temperature (°C). Q_{sol}: The incoming solar heat flux (W) through transparent surfaces.

$$Q_{sol} = \cdot\ A\tau_g{}_g \cdot I_{Left}$$

(τ_g - transmittance coefficient of transparent coating ~0.75-0.80, Ag - mirror area).

Q_{coll}: Useful heat (W) transferred from a vacuum tube collector to the greenhouse. Q_{wall}: Heat loss (W) through enclosing structures (walls and roofs). Q_{vent}: Heat loss through ventilation and air exchange (W). Q_{soil}: Heat flux (W) that absorbs/dissociates into the soil layer.

Vacuum tube collector capacity (Hottel-Whillier-Bliss model).

The useful heat input generated from the vacuum tube collector is calculated as follows.

$$Q_{coll} = A_c \cdot FR\ \cdot [I_{sol} \cdot (\tau \cdot \alpha) - U_L \cdot (T_{in} - T_a)].$$

A_c: Collector surface area (m²). FR: Collector's heat withdrawal coefficient. $(\tau \cdot \alpha)$Multiplication of win and transfer coefficients (~0.82). U_LCollector's total heat loss coefficient (W/m²· K) (Too low for vacuum tubes: ~1.2–1.8 W/m²· K). T_{in}Heat transfer (water) temperature entering the collector (°C).

T_A – Ambient (air) temperature (°C).

Surrounded structures and ventilation losses.

Through the wall and roof.

$$Q_{wall} = \sum_i (U_i \cdot A_i \cdot (T_v - T_a)).$$

Through ventilation.

$$Q_{vent} = m_v \cdot c_p \cdot (T_v - T_a).$$

$$m_v = \frac{ACH \cdot V \cdot \rho_a}{3600}.$$

(e.g. ACH = 1.5 h^{-1}).m_v= 0.2 kg/s

Dynamic moisture balance and the Penman-Monteith model of transpiration.

Time change of the mass of water vapor inside the greenhouse.

$$\rho_a \cdot V \cdot \frac{dx_v}{dt} = m_{trans} + m_{evap_soil} - m_{vent} - m_{cond}.$$

x_v: Absolute humidity of indoor air (kg water / kg dry air). m_{trans}: Vapor mass (kg/s) generated by plant transpiration. m_{evap_soil}: Evaporation from soil surface (kg/s)m_{vent}: Moisture that escapes through ventilation: $m_{vent} = m_v \cdot (x_v - x_a)$

m_{cond}: Condensable moisture on wall surfaces (kg/s)

Transpiration current (m trans) by Penman-Monteith equation:

$$E_{trans} = \frac{\Delta \cdot (R_n - G) + \frac{\rho_a \cdot c_p \cdot (e_s - e_a)}{r_a}}{L_v \cdot \left[\Delta + \gamma \cdot \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)\right]}.$$

E_{trans}-transpiration energy flux [W/m2]. Δ: -Slope of saturated vapor pressure curve [kPa/∘C].

ρ_a –Density of air [kg/m3]. c_p-Jump to search. $e_s - e_a$: Vapor Pressure Deficit (VPD) [kPa]. r_a: Aerodynamic resistance (impediment to air movement) [s/m]. r_s: Leaf hole resistance (stomatata) [s/m]. γ: Psychometric constant [kPa/∘C].

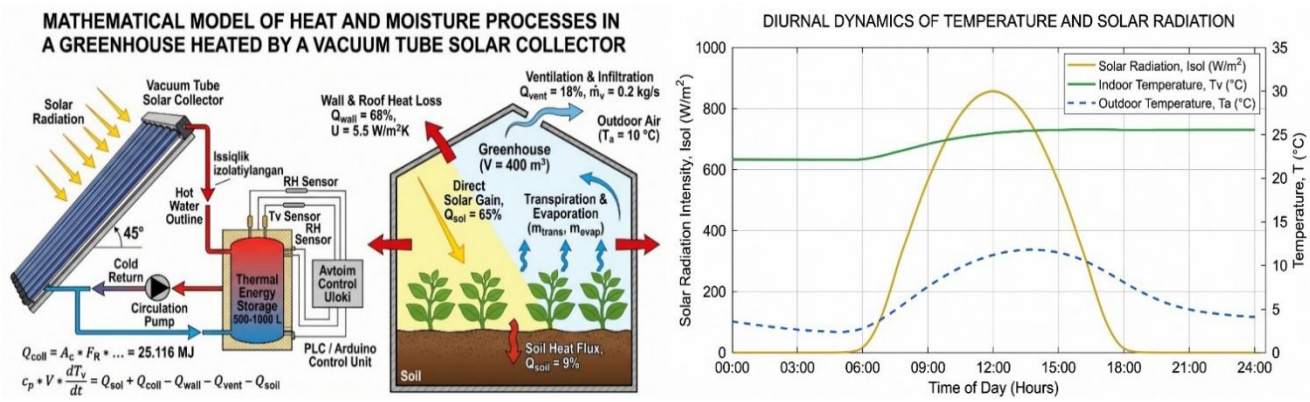


Figure 1 and 2

Calculation of the heat balance over the two different modes (when Ta = 10 °C)

Mode 1: T_v = 21 °C (294.15 K), $\Delta T = 11$ K

Wall/roof loss (A = 220 m², A = 5.5 W/m²K): Q_{wall} = 5.5· 220 ·11 = 13,310 W (13.31 kW)··

Ventilation loss: $Q\dot{m}_v = 0.2$ kg/s$_{vent}$ = 0.2 ·1005 ·11 = 2,211 W (2.21 kW)··

Total required heat capacity: Q_{total} = 15.52 kW

Required energy for 6-hour ringless mode: E = 15.52· 6 = 93.12 kWh.

Mode 2: T_v = 27 °C (300.15 K), = 17 KΔT.

Wall/roof loss: Q_{wall} = 5.5 220 ·17 = 20,570 W (20.57 kW).

Ventilation loss: Q_{vent} = 0.2 ·1005· 17 = 3,417 W (3.42 kW).

Total required thermal capacity: Q_{total} = 23.99 kW.

6 hours power requirement: E = 23.99 ·6 = 143.94 kWh.

Experimental Efficiency of Heliosystem and Vacuum Collector tests (T_a = 8-12 °C) conducted at the laboratory stand of Injection DTU: Collector capacity: 200 liters of water. Heating time: 6 hours (from 09:00 to 15:00). Temperature variations: from 22°C to 52°C (= 30K)ΔT. Useful heat obtained:

Q_{useful} = m c = 200· 4186 ·30 = 25.116 MJ = 6.98 kWh

Average thermal efficiency of the system .

$$\eta = \frac{Q_{foydali}}{A_c \cdot \int I_{sol}\, dt} \cdot 100\% = 72.4\ \%$$

Principle Diagram of Heat and Humidity Control Heliosystem [Schematic Elements and Their Connection]: Solar collector with vacuum tube (Outside, angle of penetration 45°). Solar contour circulation pump. heat accumulator (heat insulated water tank 500-1000 L).

Greenhouse Internal Heat Transfer Circuit (Hydraulic Comb and Floor Underfloor / Wall Convectors). Microclimatic probe blocks (Temperature T_v, Relative humidity RH, Solar probe I sol).

Automatic control controller (PLC/Arduino).Ventilation and humidity reduction valves / flaps. Daily temperature and solar radiation dynamics (description). X-axis: Daytime (from 00:00 to 24:00).

Left Y-axis: temperature (°C). Right Y-axis: Solar radiation (W/m²). Here are the 3 main curves to include in the graph.Outside air temperature Ta (2–4 °C at night, max 12 °C in the daytime). Greenhouse internal temperature T_v (with heliosystem: stable in the range of 21–27 °C). Solar radiation I_{sol} (Peak value

at 12:30 p.m. ~850 W/m²). Sankey Chart of Greenhouse Energy Losses (Share Shares). Produced/Incoming energy (100%): Solar irradiation (65%) + Vacuum collector (35%).Losses & Expenses: Polycarbonate/Through Glass Walls & Roof: ~68%. By ventilation and infiltration: ~18%. Transition to the soil layer: ~9%.Other technical losses: ~5%.

Reduction of U-coefficient: Heat loss can be reduced by 40–45% by applying double layer polycarbonate (u-val = 2.8–3.2 W/m²K) to the transparent coating of the greenhouse.

Phase Transfer Materials (PCM) or Thermal Accumulator: It is proposed to collect excess heat generated by the vacuum collector in an aqueous battery tank during the daytime and transfer it inside the greenhouse so that the temperature does not drop below 18°C in the evening.

Optimal humidity management: According to Penman-Monteith model calculations, it is necessary to use a ventilation system with a heat recuperator so that the RH > does not exceed 75% during intensive transpiration of plants.

REFERENCES

1. Uzoqov G.N., Davlonov H.A. Energy-efficient heating systems of heliogreenhouses. Monograph, - T.: "Voris", 2019 - 144 p.
2. Узаков Г.Н., Давлонов Х.А., Узакова Ю.Г. Устройство для отопления и топливо снабжения теплиц. Патент Р. Уз., 2019 г.
3. Aliyarova L.A. Development of a Solar Heating System for Heat and Humidity Air Treatment in Greenhouses. PhD dissertation, Karshi, 2021.
4. Sohibov M., Toshboev A., Sultanov S. Results of Practical Experience of Heating a Greenhouse via Solar Water Heating Collectors with Vacuum Tubes (in Karshi City Conditions). Education Science and Innovative Ideas in the World, Issue 71, Part 7, 2025, pp. 29–34.
5. Aliyarova L.A., Uzakov G.N., Toshmamatov B.M. The efficiency of using a combined solar plant for the heat and humidity treatment of air. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 723(5), 052002, 2021.
6. Niyozova D.Kh. Prospects for the use of renewable energy sources in Uzbekistan. Agrarian Economic Scientific-Practical Journal, 2025.

QUYOSH ENERGIYASI ASOSIDAGI TOSHLI ISSIQLIK AKKUMULYATORLARIDAN FOYDALANISH IMKONIYATLARINI BAHOLASH

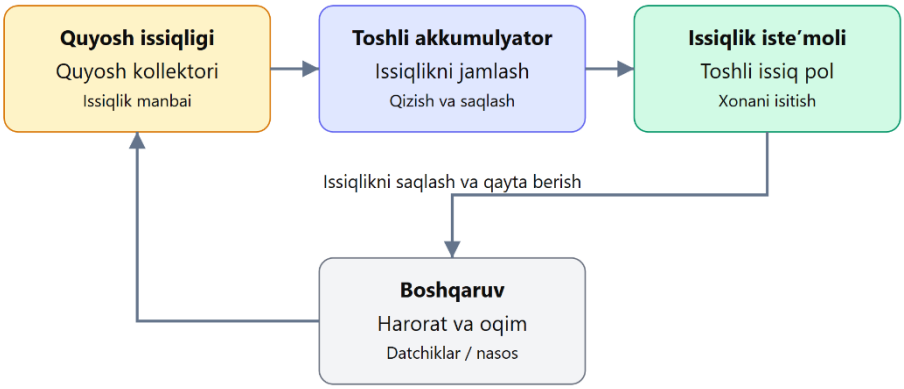
[1]Xujakulov S.M., [1]G'aniyev S.Y., [2]Muqimov F.
[1]Qarshi davlat texnika universiteti, [2]Qarshi davlat universiteti

Qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan, xususan quyosh energiyasidan foydalanishda issiqlik energiyasini ishlab chiqarish va iste'mol qilish vaqtining mos kelmasligi muhim muammolardan biridir. Quyosh radiatsiyasi kunduzgi vaqtda yuqori bo'lishi mumkin, biroq binolarning issiqlik yuklamasi ko'pincha ertalabki, kechki yoki tungi vaqtlarda ortadi. Shu sababli quyosh energiyasidan samarali foydalanish uchun issiqlikni ma'lum vaqt davomida saqlash va zarur paytda iste'molchiga uzatish imkonini beruvchi akkumulyatsiya tizimlari zarur.

Issiqlik energiyasini saqlash tizimlari issiqlikni sezilarli issiqlik, yashirin issiqlik yoki termokimyoviy energiya ko'rinishida jamlashga asoslanadi. Toshli issiqlik akkumulyatorlari asosan sezgir issiqlikni saqlash turiga kiradi. Bunda issiqlik energiyasi material haroratini o'zgartirish orqali saqlanadi va chiqarish jarayonida material harorati pasayadi. Amiri va boshq. [1] toshli issiqlik akkumulyatorlarini nisbatan sodda ishlash prinsipi va saqlash materiali narxining pastligi bilan tavsiflaydi.

Toshli issiqlik akkumulyatori — tabiiy yoki sun’iy tosh materiallaridan tashkil topgan, issiqlik energiyasini materialning harorati va issiqlik sig‘imi hisobiga jamlash, saqlash hamda keyinchalik issiqlik tashuvchiga yoki isitilayotgan muhitga uzatish uchun mo‘ljallangan konstruktiv tizimdir.

Tadqiqotlar doirasida toshli issiqlik akkumulyatori binoning issiqlik ta’minotida quyosh energiyasidan foydalanishning bir qismi sifatida qaraladi. Uning asosiy vazifasi quyosh kollektoridan yoki boshqa issiqlik manbaidan olingan issiqlikni toshli pol konstruksiyasida saqlash va bino ichki muhitiga issiqlik berish vaqtini boshqarishdan iborat.



1-rasm. Toshli issiqlik akkumulyatorining ishlash prinsipi

Toshli issiqlik akkumulyatorlarining asosiy afzalligi ularning oddiy konstruktiv tuzilishi, faza o‘zgarishisiz ishlashi, ko‘plab tabiiy materiallarning mavjudligi va yuqori haroratlarda ishlash imkoniyatidir. Biroq issiqlik saqlash sig‘imi, issiqlik uzatish tezligi, issiqlik yo‘qotishlari va akkumulyator hajmi o‘rtasidagi muvozanat tizim samaradorligini belgilaydi [1, 2].

Tosh materiallarining issiqlik sig‘imi va zichligi qancha katta bo‘lsa, ma’lum harorat oralig‘ida birlik hajmda saqlanishi mumkin bo‘lgan issiqlik miqdori shuncha yuqori bo‘ladi. Issiqlik o‘tkazuvchanlik esa issiqlikning akkumulyator ichida tarqalish tezligini belgilaydi. Amiri va boshqalar toshli IES tizimlarini loyihalashda yuqori zichlik, issiqlik sig‘imi va issiqlik o‘tkazuvchanlikka ega materiallarni tanlash muhimligini ta’kidlaydi [1].

Toshlarning zichligi quyidagicha aniqlanadi:

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad (1.35)$$

bu yerda: ρ— material zichligi, kg/m³; m— material massasi, kg; V— material hajmi, m³.

Toshli akkumulyatorning umumiy massasi:

$$m_s = \rho_s V_s \qquad (1.36)$$

Zichlikning oshishi materialning birlik hajmiga to‘g‘ri keladigan issiqlik saqlash sig‘imini oshiradi. Shu bilan birga, zichligi yuqori materialning umumiy konstruksiya massasi ham ortadi. Bu bino poydevori, polning yuk ko‘tarish qobiliyati va konstruktiv xavfsizlik masalalarini hisobga olishni talab etadi.

Toshlarning solishtirma issiqlik sig‘imi material massasining haroratini 1 K ga o‘zgartirish uchun zarur bo‘lgan issiqlik miqdorini ifodalaydi:

$$c_p = \frac{Q}{m\Delta T} \qquad (1.37)$$

bu yerda Q— berilgan issiqlik miqdori, J.

Tosh materialining issiqlik sig‘imi uning mineral tarkibiga, g‘ovakligiga, namligiga va haroratiga bog‘liq. Quruq granit, bazalt, ohaktosh va boshqa toshlarning issiqlik sig‘imi turlicha bo‘lishi mumkin.

1.12-jadval.

Ayrim tosh materiallarining issiqlik-fizik xossalari

Tosh turi	Zichlik, kg/m³	Solishtirma issiqlik sig‘imi, J/(kg·K)	Hajmiy issiqlik sig‘imi, kJ/(m³·K)	Issiqlik o‘tkazuvchanlik, W/(m·K)
Bazalt	2768	852,1	2358,5	2,1
Granit	2642,8	859,7	2272,0	3,0
Riolit	2677,7	865,3	2316,9	2,0
Gneys	2777,5	876,0	2433,1	3,0
Qumtosh	2481,5	774,5	1921,8	2,7
Ohaktosh	2600	810,0	2106,0	2,2
Kvarsit	2576	818,3	2107,8	5,2
Galit	2170	882,4	1914,8	6,1

Qiymatlar Energies jurnalida berilgan umumlashtirilgan materiallar jadvalidan olingan [59,60].

Jadvaldan ko‘rinadiki, gneys va bazalt kabi materiallarda zichlik va solishtirma issiqlik sig‘imi kombinatsiyasi issiqlik saqlash uchun muhim. Kvarsit va galitning issiqlik o‘tkazuvchanligi yuqoriroq, bu esa issiqlikning material bo‘ylab tarqalishiga yordam beradi. Biroq material tanlash faqat bitta parametrga emas, balki umumiy issiqlik sig‘imi, ishchi harorat, namlik, mexanik mustahkamlik va iqtisodiy omillarga asoslanishi kerak. [3].

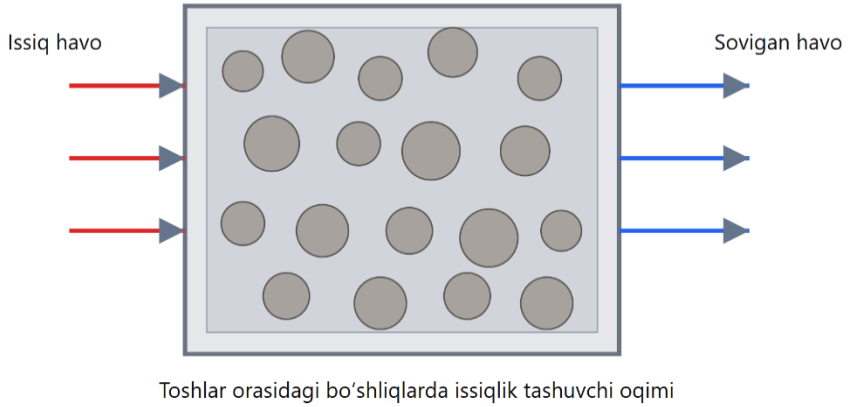
Toshli akkumulyator uchun material tanlashda quyidagi mezonlar qo‘llaniladi:

$$Q_s = f\left(\rho, c_p, \lambda, \Delta T, V, k_{loss}, C\right) \qquad (1.26)$$

bu yerda k_{loss}— issiqlik yo‘qotishlarini tavsiflovchi parametr, C— material va konstruksiya narxi.

Toshli issiqlik akkumulyatorlari uchun eng maqbul material yuqori hajmiy issiqlik sig‘imi, yetarli issiqlik o‘tkazuvchanligi, termik barqarorligi, mavjudligi va iqtisodiy samaradorligi bilan ajralib turadi. Biroq “eng yaxshi tosh” tushunchasi konkret ishchi harorat, akkumulyator konstruksiyasi va issiqlik uzatish usuliga bog‘liq.

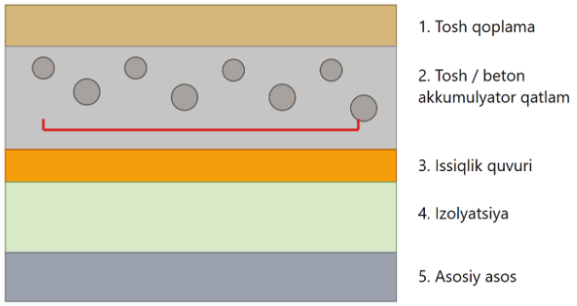
Sochilma toshli akkumulyatorlarda tosh materiallari maxsus issiqlik izolyatsiyalangan hajmga joylashtiriladi. Issiqlik tashuvchi havo yoki boshqa gaz toshlar orasidagi bo‘shliqlardan o‘tib, materialni qizdiradi yoki undan issiqlik oladi (1.12-rasm).



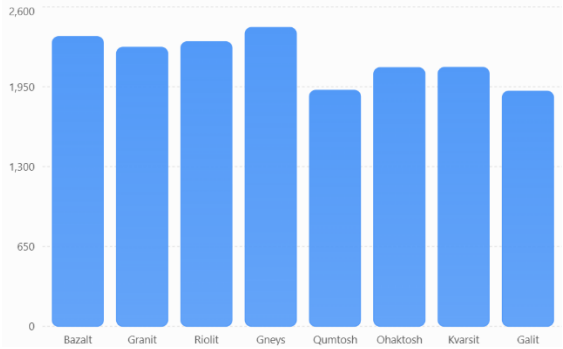
2-rasm. Sochilma toshli akkumulyator sxemasi

Toshli issiq pol tizimida akkumulyator va issiqlik uzatuvchi qurilma bir konstruksiyada birlashtiriladi. Bunday tizimda tosh yoki beton qatlam issiqlikni saqlash, pol yuzasi esa issiqlikni xona ichki muhitiga uzatish vazifasini bajaradi.

Tahliliy tadqiqotlar natijasida toshli issiq polning qatlamli konstruksiyasi ishlab chiqildi (3-rasm) va tosh materiallarining hajmiy issiqlik sig‘imi aniqlandi (4-rasm).



3-rasm. Toshli issiq polning qatlamli konstruksiyasi



4-rasm. Ayrim tosh materiallarining hajmiy issiqlik sig‘imi [3].

Toshli issiqlik akkumulyatorida energiya material haroratining oshishi hisobiga to‘planadi. Bu jarayon sezgir issiqlikni saqlash deb ataladi.

Grafikdan ko‘rinadiki, gneys va bazalt kabi tosh materiallari birlik hajmga to‘g‘ri keladigan issiqlik sig‘imi bo‘yicha muhim ko‘rsatkichlarga ega. Biroq material tanlashda faqat issiqlik sig‘imi emas, balki issiqlik o‘tkazuvchanligi, narxi, termik barqarorligi va konstruktiv xususiyatlari ham hisobga olinishi lozim.

Binolarni quyosh energiyasi asosida isitishda toshli issiq pol tizimining samaradorligi issiqlik akkumulyatorining konstruktiv parametrlari, tosh materiallarining issiqlik-fizik xossalari, quyosh radiatsiyasining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi va binoning issiqlik yuklamasi bilan belgilanadi.

Shu sababli tadqiqotning asosiy ilmiy muammosi quyidagicha ifodalanishi mumkin:

Quyosh energiyasidan foydalanishga asoslangan toshli issiq pol tizimida issiqlikni jamlash, saqlash va xonaga uzatish jarayonlarini konstruktiv hamda issiqlik-fizik parametrlar asosida optimallashtirish, issiqlik qulayligini ta’minlagan holda energiya sarfini kamaytirish.

Adabiyotlar.

1. Amiri, A., et al. Progress on rock thermal energy storage (RTES): A state of the art review. Energy Science & Engineering, 2024, 12(2), 410–437. DOI: 10.1002/ese3.1478.

2. Alami K. et al. Identification of natural rocks as storage materials in thermal energy storage (TES) system of concentrated solar power (CSP) plants – A review. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2020, 217, 110599. DOI: 10.1016/j.solmat.2020.110599.

3. Jurczyk M. et al. Review of Thermal Energy Storage Materials for Application in Large-Scale Integrated Energy Systems—Methodology for Matching Heat Storage Solutions for Given Applications. Energies, 2024, 17, 3544. https://doi.org/10.3390/en17143544.

ENERGIYA TEJAMKOR TOSHLI ISSIQ POL TIZIMINING ISSIQLIK UZATISH JARAYONINI DINAMIK MODELLASHTIRISH

Xayriddinov B.E., Xujakulov S.M., G’aniyev S.
Qarshi davlat texnika universiteti

Quyosh energiyasiga asoslangan toshli issiq pol tizimida issiqlik akkumulyatorida yig‘ilgan energiyaning bino xonasiga uzatilishi issiq pol konstruksiyasining issiqlik-fizik xususiyatlari bilan belgilanadi. Mazkur jarayonda issiqlik tashuvchi quvur ichida harakatlanadi, undan issiqlik quvur devori orqali polning issiqlik o‘tkazuvchi qatlamlariga uzatiladi va keyinchalik pol yuzasidan xona ichki muhitiga konvektiv hamda nurlanish orqali beriladi.

Toshli issiq polning asosiy farqlovchi xususiyatlari. Toshli issiq polning boshqa akkumulyatsiyalovchi materiallardan asosiy farqi quyidagi jihatlarda namoyon bo‘ladi [1,2,3]:

1. Konstruksion integrallashuv. Toshli pol issiqlik saqlash va xona ichki muhitiga issiqlik berish vazifalarini birlashtiradi.
2. Issiqlik inertligi. Tosh qatlamining qalinligi va massasi issiqlikning kechikib uzatilishiga olib keladi.
3. Issiqlik o‘tkazuvchanlik. Tosh materiallari issiqlikni pol yuzasiga uzatish uchun yetarli issiqlik o‘tkazuvchanlikka ega.
4. Mexanik mustahkamlik. Tosh qoplama bino polining ekspluatatsion yuklamalariga mos konstruktiv yechim sifatida ishlatilishi mumkin.
5. Quyosh energiyasi bilan integratsiya. Toshli pol quyosh kollektori, issiqlik akkumulyatori yoki issiqlik nasosi bilan birgalikda ishlashi mumkin.
6. Energiya manbai va iste’moli o‘rtasidagi vaqt farqini kamaytirish. Kunduzgi quyosh energiyasini to‘plash va kechki vaqtda xona isitish uchun foydalanish imkoniyati mavjud.

Shu sababli issiq polning matematik modeli uchta o‘zaro bog‘langan issiqlik almashinuvi bosqichini qamrab oladi:

1. issiqlik tashuvchidan quvur devoriga issiqlik uzatilishi;
2. quvurdan polning ko‘p qatlamli konstruksiyasiga issiqlik o‘tkazilishi;
3. pol yuzasidan xona ichiga issiqlik berilishi.

Issiqlik oqimining yo‘nalishini quyidagicha ifodalash mumkin:

$T_f > T_p > T_c > T_s > T_i$

Issiq pol konstruksiyasi odatda issiqlik tashuvchi quvur joylashgan asosiy qatlam, issiqlik tarqatuvchi beton yoki sement qatlami, pol qoplamasi hamda pastki issiqlik izolyatsiyasi qatlamidan tashkil topadi.

Matematik modelda har bir qatlam uchun issiqlik o‘tkazilishining umumiy tenglamasi Furye qonuniga asoslanadi:

$$\vec{q}_j = -\lambda_j \nabla T_j \qquad (1)$$

Bir o‘lchamli holatda:

$$q_j = -\lambda_j \frac{\partial T_j}{\partial z}. \qquad (2)$$

Issiq pol konstruksiyasining har bir qatlamida vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchi issiqlik jarayoni uchun issiqlik o‘tkazuvchanlik tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$\rho_j c_j \frac{\partial T_j}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda_j \frac{\partial T_j}{\partial z}\right) \qquad (3)$$

Agar qatlam materiali bir jinsli va λ_j =const bo‘lsa:

$$\frac{\partial T_j}{\partial t} = \alpha_j \frac{\partial^2 T_j}{\partial z^2}, \qquad (4)$$

bu yerda $$\alpha_j = \frac{\lambda_j}{\rho_j c_j} \quad (5)$$

— materialning harorat o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti, m²/s.

Issiq polning ko‘p qatlamli konstruksiyasi uchun umumiy matematik modelni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\rho(z)c(z)\frac{\partial T(z,t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left[\lambda(z)\frac{\partial T(z,t)}{\partial z}\right] \quad (6)$$

Bu tenglama konstruksiyaning turli qatlamlari uchun $\rho(z)$, $c(z)$va $\lambda(z)$ qiymatlarini hisobga olish imkonini beradi.

Ikki turli material chegarasida harorat va issiqlik oqimining uzluksizligi ta'minlanadi:

$$T_j = T_{j+1} \quad (7) \qquad -\lambda_j\frac{\partial T_j}{\partial z} = -\lambda_{j+1}\frac{\partial T_{j+1}}{\partial z}. \quad (8)$$

Agar qatlamlar orasida kontakt issiqlik qarshiligi mavjud bo‘lsa, u holda:

$$q_c = \frac{T_j - T_{j+1}}{R_c}, \quad (9)$$

Amaliy hisoblarda kontakt qarshiligi kichik bo‘lsa, $R_c \approx 0$deb qabul qilinishi mumkin.

Toshli issiq pol tizimining dinamik issiqlik balansi quyidagi differensial tenglama orqali ifodalanishi mumkin:

$$\rho_s c_{p,s} V_s \frac{dT_s}{dt} = \dot{Q}_{in} - \dot{Q}_{out} - \dot{Q}_{loss} \quad (10)$$

Soddalashtirilgan bir o‘lchamli issiqlik o‘tkazuvchanlik tenglamasi:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (11)$$

Bu tenglama tosh qatlamidagi haroratning vaqt va koordinata bo‘yicha o‘zgarishini ifodalaydi.

Quyosh issiqligiga asoslangan toshli issiq pol tizimida ushbu model yordamida quyidagi masalalar tadqiq qilinishi mumkin: pol qatlamining qizishi va sovish vaqti; issiqlikni saqlash muddati; pol yuzasi haroratining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi; quyosh radiatsiyasi va xona issiqlik yuklamasi o‘rtasidagi nomuvofiqlik; tosh qatlami qalinligining issiqlik berish jarayoniga ta’siri.

Toshli issiq pol tizimining boshqa akkumulyatsiyalovchi materiallardan farqlash uchun materialning issiqlik sig‘imi, issiqlik o‘tkazuvchanligi, zichligi, ishlash harorati va konstruktiv integratsiya imkoniyatlari hisobga olinadi [4].

ishlab chiqilgan toshli issiqlik akkumulyatori modelidan issiq pol modeliga kiruvchi asosiy parametr issiqlik tashuvchining chiqish haroratidir:

$$T_{f,in}^{floor}(t) = T_{f,out}^{acc}(t). \quad (12)$$

Shuningdek:

$$\dot{m}_f^{floor} = \dot{m}_f^{acc} \quad (13)$$

qabul qilinadi.

Toshli akkumulyatordan issiq polga uzatiladigan issiqlik quvvati:

$$\dot{Q}_{acc\to floor} = \dot{m}_f c_f\left[T_{f,out}^{acc} - T_{f,in}^{floor}\right]. \quad (14)$$

Issiq polning foydali issiqlik quvvati esa:

$$\dot{Q}_{floor} = \dot{m}_f c_f\left[T_{f,in}^{floor} - T_{f,out}^{floor}\right]. \quad (15)$$

Shunday qilib, butun tizimning energetik zanjiri:

$$G_t \rightarrow Q_k \rightarrow E_{acc} \rightarrow T_{f,out}^{acc} \rightarrow Q_{floor} \rightarrow T_{s,m} \rightarrow Q_{room}$$

ko‘rinishida shakllanadi.

Quyida farazan 20 m^2 issiqlik almashinish yuzasiga ega toshli polning issiqlik saqlash sig‘imini hisoblash misolini ko’rib chiqamiz.

Faraz qilamiz:

- Tosh qatlami maydoni: $A = 20\ \mathrm{m}^2$.
- Tosh qatlami qalinligi: $\delta = 0{,}10\ \mathrm{m}$.
- Zichlik: $\rho = 2600\ \mathrm{kg/m}^3$.
- Solishtirma issiqlik sig‘imi: $c_p = 850\ \mathrm{J/(kg{\cdot}K)}$.
- Ishchi harorat oralig‘i: $\Delta T = 10\ \mathrm{K}$.

Tosh hajmi:

$V = A\delta = 20 \cdot 0{,}10 = 2\ \mathrm{m}^3$

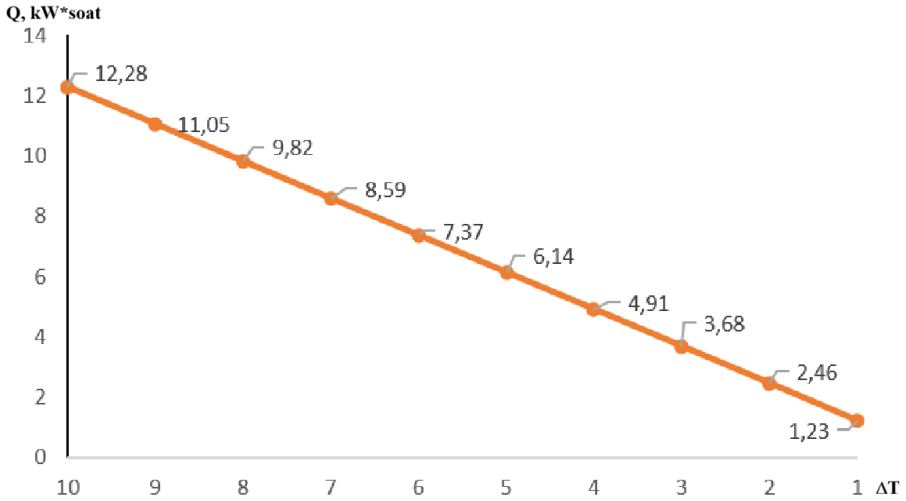
Tosh massasi:

$m = \rho V = 2600 \cdot 2 = 5200\ \mathrm{kg}$

Saqlanadigan issiqlik:

$Q = mc_p\Delta T = 5200 \cdot 850 \cdot 10 = 44\,200\,000\ \mathrm{J} \approx 12{,}28\ \mathrm{kW{\cdot}s}$

Natija: tanlangan namunaviy parametrlar bo‘yicha 20 m² maydonli va 10 sm qalinlikdagi tosh qatlamining 10 K harorat oralig‘ida saqlashi mumkin bo‘lgan sezgir issiqlik miqdori taxminan 12,28 kW·s ni tashkil etadi. Haroratlar farqi kamayib borishi bilan xona atmosferasiga issiqlik berish ko’rsatkichi ham kamayib boradi. Bu holat issiqlik saqlamining ham pasayib borishi, ya’ni razryadlanish bilan bevosita bog’liq jarayon hisoblanadi.



1-rasm. Tosh qatlamida harorat o’zgarishiga bog’liq ravishda issiqlik saqlash qiymatining o’zgarishi diagrammasi

Tizimda foydali issiqlik miqdori issiqlik yo‘qotishlari, haqiqiy harorat taqsimoti, issiqlik uzatish samaradorligi va issiqlik qulayligi talablariga bog‘liq bo‘ladi.

Adabiyotlar

4. Amiri, A., et al. Progress on rock thermal energy storage (RTES): A state of the art review. Energy Science & Engineering, 2024, 12(2), 410–437. DOI: 10.1002/ese3.1478.

5. Alami K. et al. Identification of natural rocks as storage materials in thermal energy storage (TES) system of concentrated solar power (CSP) plants – A review. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2020, 217, 110599. DOI: 10.1016/j.solmat.2020.110599.

6. Zade F.A. et al. Solar-ground synergies for sustainable energy: A critical review of ground material performance and applications in solar energy. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2026, 296, 114021. DOI: 10.1016/j.solmat.2025.114021.

7. Zhao C. et al. Progress in thermal energy storage technologies for achieving carbon neutrality. Carbon Neutrality, 2023. DOI: 10.1007/s43979-023-00050-y.

QUYOSH ENERGIYASIGA ASOSLANGAN ISSIQLIK TA’MINOTI TIZIMLARINING MAVJUD TEXNOLOGIK YECHIMLARI TAHLILI

[1]Muqimov F., [2]Xujakulov S.M., [2]Fayziyev T.A., [1]Meyliyev L.O.
Qarshi davlat universiteti, Qarshi davlat texnika universiteti

Quyosh energiyasiga asoslangan issiqlik ta’minoti tizimlari bo‘yicha ilmiy tadqiqotlar uchta asosiy yo‘nalishda rivojlanmoqda:

1. Quyosh kollektorini issiqlik ta’minoti tizimi bilan birlashtirish.
2. Issiqlik akkumulyatorlari yordamida quyosh energiyasini sutkalik yoki uzoqroq muddatga saqlash.
3. Issiqlik qulayligi va energiya samaradorligini matematik modellashtirish hamda tajribaviy tekshirish.

Ushbu yo‘nalishlarning har biri energetik samarador issiqlik ta’minoti tizimini ishlab chiqish uchun muhim ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Quyosh kollektori va issiqlik ta’minoti tizimining integratsiyasi. Quyosh energiyasi bilan ishlaydigan issiqlik ta’minoti tizimlarida quyosh kollektori issiqlik manbai sifatida ishlatiladi. Kollektor tomonidan qizdirilgan suv yoki boshqa issiqlik tashuvchi issiqlik ta’minoti tizimi quvurlariga uzatiladi. Bunday tizimlarda issiqlik akkumulyatori issiqlik manbai va bino issiqlik yuklamasi o‘rtasidagi vaqt farqini kamaytiradi [1-3].

Younis F.M. va boshq. [2] maqolasida quyosh energiyasi bilan ishlaydigan issiqlik ta’minoti tizimining tajribaviy tadqiqoti berilgan. Tadqiqotda uch xil quyosh radiatsiyasi va tashqi muhit sharoitida tizim ishlashi o‘rganilgan. Natijalarda quyosh ulushi 63,1–88,7% oralig‘ida o‘zgargan, yordamchi elektr isitkichning sarfi esa tajriba davrlarida 1,82–3,00 kWh ni tashkil etgan. Maqola issiqlik ta’minoti tizimining xona ichki haroratini belgilangan qiymatda ushlab turish va pol yuzasi haroratini issiqlik qulayligi talablariga moslashtirish imkoniyatini ko‘rsatadi.

Ushbu ishning ilmiy ahamiyati shundaki, olingan natijalar quyosh kollektori va issiqlik ta’minoti tizimini integratsiyalashda quyosh energiyasining ulushi, yordamchi energiya sarfi va issiqlik qulayligini birgalikda baholash zarurligini ko‘rsatadi. Biroq mazkur tadqiqot akkumulyatorli pol konstruksiyasining barcha issiqlik-fizik xususiyatlarini qamrab olmaydi.

Issiqlik akkumulyatorlari va quyosh issiqligi. Quyosh issiqlik tizimlarining asosiy muammolaridan biri quyosh energiyasi mavjud bo‘lgan vaqt bilan isitish talab qilinadigan vaqtning mos kelmasligidir. Issiqlik akkumulyatorlari ushbu muammoni issiqlikni vaqtincha saqlash orqali bartaraf etishga xizmat qiladi.

El Alami va boshq. [3] tabiiy toshlarni issiqlik energiyasini saqlash materiali sifatida qo‘llash imkoniyatlarini tahlil qilgan. Tadqiqotda toshli to‘ldirgichli akkumulyatorlar, toshlarning mineral tarkibi, issiqlik-fizik xossalari, issiqlik tashuvchi muhit bilan muvofiqligi va termik barqarorligi o‘rganilgan. Mualliflar tabiiy toshlardan foydalanishning istiqbolli jihatlari bilan birga, issiqlik sikllari natijasida

yemirilish, akkumulyator konstruksiyasidagi termik zo‘riqishlar va toshlarning issiqlik tashuvchi bilan muvofiqligi masalalarini ham qayd etadi.

Muhammad Y. va boshq. tomonidan [5] quyosh issiqlik kollektorlari bilan bog‘langan akkumulyatorning modellashtirish, tajribaviy tekshirish va parametrik tahlili keltirilgan. Tadqiqotda 1 MWh sig‘imli toshli akkumulyator uchun ikki o‘lchamli CFD modeli ishlab chiqilgan va tajriba natijalari bilan tekshirilgan. Zaryadlash samaradorligi 77–94% oralig‘ida bo‘lgan.

Mazkur tadqiqotning muhim jihati shundaki, unda tosh materialining zarracha o‘lchami, issiqlik tashuvchi sarfi va akkumulyator harorat taqsimotining issiqlik samaradorligiga ta’siri o‘rganilgan. Bu yondashuvni binolar uchun mo‘ljallangan toshli issiq pol konstruksiyasini ishlab chiqishda moslashtirish mumkin.

Zade F.A. va boshq. [4] tomonidan tog‘ jinslari, qum, shag‘al, gil, beton, g‘isht va boshqa yer materiallarining quyosh energiyasi tizimlaridagi qo‘llanilishi tahlil qilingan. Tadqiqotda tabiiy materiallarning issiqlik saqlash, quyosh issiqlik nasoslari va boshqa quyosh energiyasi tizimlaridagi roli ko‘rib chiqilgan. Mualliflar tabiiy toshlar va boshqa materiallarning issiqlik xossalari hamda iqtisodiy samaradorligini birgalikda baholash zarurligini ta’kidlaydi. Ushbu natijalar tadqiqotlarimiz mavzusi uchun muhim, chunki toshli issiq pol tizimida material tanlash faqat issiqlik sig‘imiga emas, balki issiqlik o‘tkazuvchanligi, konstruktiv mustahkamligi, mahalliy mavjudligi va iqtisodiy samaradorligiga ham asoslanishi kerak.

O‘zbekiston sharoitida quyosh energiyasidan foydalanish bo‘yicha tadqiqotlar, ayniqsa, quyosh radiatsiyasining yuqoriligi, qish mavsumida isitish ehtiyoji va mahalliy qurilish materiallaridan foydalanish imkoniyatlari bilan bog‘liq [1].

Issiqlik ta’minotida quyosh energiyasidan foydalanish uchun quyidagi mahalliy shart-sharoitlar muhim: Quyosh radiatsiyasining sutkalik va mavsumiy o‘zgarishi; Qishki davrda binolarning issiqlik yuklamasi; Mahalliy tosh, shag‘al, qum va beton materiallarining mavjudligi; Issiqlik izolyatsiyasi va pol konstruksiyasining mahalliy qurilish amaliyotiga mosligi; Quyosh kollektorlarining bino issiqlik ta’minoti tizimi bilan birgalikda ishlashi.

Mahalliy sharoitda quyosh issiq pol tizimlarini ishlab chiqishda quyidagi masalalar alohida o‘rganilishi kerak:

1. Quyosh radiatsiyasining real meteorologik ma’lumotlari asosida kollektor va issiq pol parametrlarini tanlash.
2. Qishki isitish davrida quyosh energiyasining foydali ulushini aniqlash.
3. Mahalliy tosh materiallarining zichligi, issiqlik sig‘imi va issiqlik o‘tkazuvchanligini laboratoriya sharoitida aniqlash.
4. Toshli polning konstruktiv qatlamlarini bino issiqlik yuklamasi bilan muvofiqlashtirish.
5. Mahalliy iqlim sharoitida issiqlik qulayligi va energiya tejamkorligini baholash.

Quyosh kollektori va issiqlik ta’minoti tizimlarini birlashtirish usullari. Quyosh kollektorini issiqlik ta’minoti tizimi bilan birlashtirish issiqlik tashuvchining turi, issiqlik akkumulyatorining mavjudligi va boshqaruv sxemasiga qarab amalga oshiriladi [59,60,72].

Ilmiy yangilik uchun yo‘nalish: Mahalliy tosh materiallaridan foydalanib, quyosh kollektori bilan integratsiyalashgan issiq pol tizimining konstruktiv, issiqlik-fizik va energetik parametrlarini birgalikda optimallashtirish.

1-jadval. Xorijiy va mahalliy tadqiqotlar yo‘nalishlarining qiyosiy tahlili

Tadqiqot yo‘nalishi	Xorijiy tadqiqotlarda	Mahalliy sharoit uchun ilmiy vazifa
Quyosh issiq pol tizimi [1]	Kollektor, issiq pol va akkumulyator integratsiyasi	Mahalliy quyosh radiatsiyasi asosida tizimni loyihalash
Toshli akkumulyator	Tosh materiallari, zarracha	Mahalliy toshlarning issiqlik-fizik

[1,2]	o‘lchami, termik barqarorlik	xossalarini aniqlash
Issiqlik qulayligi [3]	Pol yuzasi va xona havosi harorati	Mahalliy iqlim va bino konstruksiyasi uchun qulaylikni baholash
Energiya samaradorligi [1,3]	Quyosh ulushi va issiqlik yo‘qotishlari	Isitish mavsumida energiya sarfi va quyosh hissasini hisoblash
Matematik modellashtirish [1-4]	CFD, TRNSYS va dinamik modellar	Toshli issiq polning mahalliy sharoitga mos modeli

Issiqlik akkumulyatsiyasida tosh materiallaridan foydalanish. Tosh materiallari quyosh energiyasi tizimlarida issiqlik saqlash uchun qo‘llaniladigan sezgir issiqlik akkumulyatorlarining istiqbolli turlaridan biridir (1-rasm).

Tosh materialining issiqlik sig‘imi. Toshli akkumulyatorning issiqlik saqlash sig‘imi:

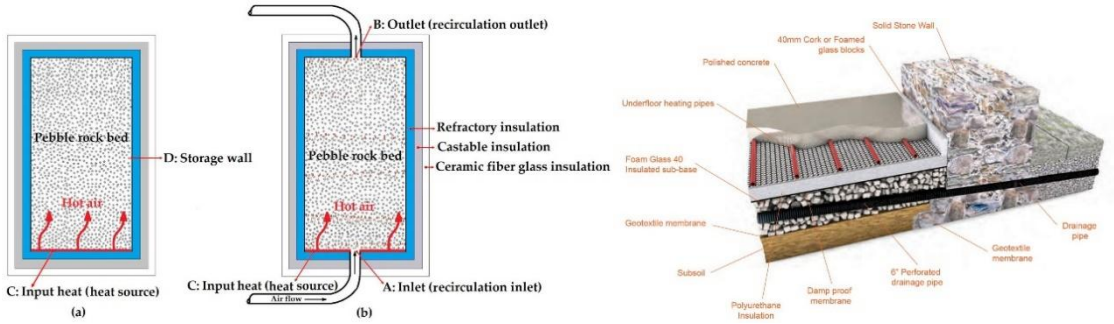
$$Q_{st} = \rho_s V_s c_{p,s}(T_{max} - T_{min}) \qquad (1.34)$$

Ushbu tenglama tosh materialining issiqlik sig‘imi, zichligi va harorat oralig‘i issiqlik akkumulyatorining umumiy sig‘imiga ta’sir qilishini ko‘rsatadi.

Toshli akkumulyatorning issiqlik samaradorligi. Akkumulyatorning issiqlik samaradorligi quyidagicha aniqlanadi:

$$\eta_{TES} = \frac{Q_{useful}}{Q_{input}} \qquad (1.35)$$

Bunda foydali issiqlik miqdori akkumulyatordan issiq polga yoki xonaga amalda uzatilgan issiqlik bilan belgilanadi.



1-rasm. Toshli akkumulyatorlarning asosiy konstruktiv turlari

Toshli akkumulyatorlarda issiqlik tashuvchi sifatida havo, suv, suv-glikol aralashmasi va boshqa issiqlik tashuvchilar ishlatilishi mumkin. Tosh materialining issiqlik tashuvchi bilan muvofiqligi muhim. Yuqori haroratli tizimlarda toshning termik sikllarga chidamliligi va issiqlik tashuvchi bilan kimyoviy muvofiqligi ham baholanadi. El Alami va boshqalar tabiiy toshlarni tanlashda ushbu masalalarni alohida ko‘rib chiqqan [3].

Quyosh energiyasiga asoslangan issiq pol tizimlarining mavjud texnologik yechimlari bir qator muammolarga ega.

1. Quyosh radiatsiyasining o‘zgaruvchanligi. Quyosh radiatsiyasi kun va fasl bo‘yicha o‘zgaradi. Quyosh energiyasi yuqori bo‘lgan vaqtda issiqlik ishlab chiqarish ortadi, ammo isitish ehtiyoji boshqa vaqtda yuzaga kelishi mumkin [2].

2. Issiqlik akkumulyatori hajmi. Toshli akkumulyatorning issiqlik sig‘imi material massasi va harorat oralig‘iga bog‘liq. Katta issiqlik sig‘imi talab qilinganda akkumulyator hajmi yoki massasi ortishi mumkin [3].

3. Issiqlik uzatish tezligi. Tosh materiallarida issiqlik uzatish tezligi issiqlik o'tkazuvchanlik, qatlam qalinligi va issiqlik tashuvchi oqimiga bog'liq. Qalin tosh qatlamida issiqlikning pol yuzasiga yetib kelishi kechikishi mumkin.

4. Issiqlik yo'qotishlari. Akkumulyatorning pastki, yon va yuqori yuzalaridan issiqlik yo'qotilishi mumkin. Izolyatsiya yetarli bo'lmasa, quyosh energiyasining bir qismi foydali isitishga sarflanmaydi [3].

5. Issiqlik qulayligi. Issiq polning yuzasi juda qizib ketmasligi, xona havosi va pol yuzasi harorati o'rtasidagi farq me'yoriy talablar doirasida bo'lishi kerak. Shu sababli issiqlik akkumulyatori va issiq polning dinamik boshqaruvi zarur.

6. Mahalliy materiallarning xossalari. Tosh materiallarining mineral tarkibi, zichligi, namligi va issiqlik o'tkazuvchanligi farq qilishi mumkin. Shu sababli konkret tosh materiallari uchun laboratoriya sinovlari muhim.

Adabiyotlar

1. Khamraev, S. et al. Experimental and theoretical analysis of thermo-hydraulic performance of a solar-collector-based hydronic floor heating system under climatic conditions of Uzbekistan. Energy, 2026, Vol. 348. DOI: 10.1016/j.energy.2026.140399.

2. Younis F.M. et al. Experimental Study of Solar-Powered Underfloor Heating in a Defined Space. Energy Engineering, 2025. DOI: 10.32604/ee.2025.073483.

3. Alami K. et al. Identification of natural rocks as storage materials in thermal energy storage (TES) system of concentrated solar power (CSP) plants – A review. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2020, 217, 110599. DOI: 10.1016/j.solmat.2020.110599.

4. Zade F.A. et al. Solar-ground synergies for sustainable energy: A critical review of ground material performance and applications in solar energy. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2026, 296, 114021. DOI: 10.1016/j.solmat.2025.114021.

5. Muhammad Y. et al. Rock bed thermal energy storage coupled with solar thermal collectors in an industrial application: Simulation, experimental and parametric analysis. Journal of Energy Storage, 67, 107349. DOI: 10.1016/j.est.2023.107349

LABVIEW MUHITIDA QUYOSH ENERGIYASIDAN FOYDALANUVCHI AQILLI ISSIQXONA MODELINI YARATISH

S.X. Zoirov
Samarqand davlat pedagogika instituti,
Tabiiy fanlar fakulteti, Fizika kafedrasi assistenti.
s.zoirov88.fizik@gmail.com

Qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish va ishlab chiqarish jarayonlarini avtomatlashtirish zamonaviy texnologiyalarning muhim yo'nalishlaridan biridir. Quyosh fotoelektrik panellarining samaradorligi tashqi muhit sharoitlari, xususan, harorat, quyosh nurlanishi va elektr qarshiliklari o'zgarishiga bog'liq. Shu sababli quyosh energiyasidan foydalanadigan avtomatlashtirilgan tizimlarni modellashtirish va tajribada tekshirish muhim amaliy masala hisoblanadi. Mazkur tadqiqotda LabVIEW va Arduino vositalari asosida quyosh energiyasidan foydalanadigan aqlli issiqxona modelini yaratish masalasi o'rganilgan.

Tadqiqotning maqsadi quyosh fotoelektrik tizimini LabVIEW muhitida modellashtirish, uning ish rejimiga harorat, nurlanish, ketma-ket qarshilik, shunt qarshilik va idealik koeffitsiyentining ta'sirini o'rganish hamda Arduino asosida namlikni nazorat qiluvchi avtomatik sug'orish tizimi bilan integratsiyalashdan iborat.

Tadqiqot eksperimental va simulyatsion yondashuv asosida olib borilgan. Maydoni 2 m² bo‘lgan issiqxona prototipi qurilgan. Tuproq namligini aniqlash uchun LM393 sensori Arduino UNO mikrokontrolleriga ulangan. Tizim quruq holat aniqlanganda sug‘orishni avtomatik ishga tushirishi va namlik ma’lumotlarini LCD displeyda real vaqt rejimida ko‘rsatishi uchun dasturlashtirilgan. Issiqxonani qayta tiklanuvchi energiya bilan ta’minlash uchun 50 W quvvatli polikristall quyosh panelidan foydalanilgan.

LabVIEW muhitida fotoelektrik panelning turli sharoitlardagi xatti-harakatini o‘rganish uchun PV-simulyator ishlab chiqilgan. Simulyatsiyada harorat, nurlanish, ketma-ket qarshilik, shunt qarshilik va idealik koeffitsiyent kabi parametrlar bosqichma-bosqich o‘zgartirilgan. Bundan tashqari, quyosh panelining maksimal quvvat nuqtasini aniqlash va ish rejimini optimallashtirish uchun Perturb and Observe (P&O) MPPT algoritmi LabVIEW muhitida amalga oshirilgan.

Modelning amaliy qismida simulyatsiya natijalari eksperimental kuzatuvlar bilan taqqoslangan. Tizimda namlikning quruq va nam holatlari bo‘yicha bir nechta sikllar sinovdan o‘tkazilgan. LED indikatorlar yordamida issiqxona haroratidagi o‘zgarishlarni kuzatish, LCD displey orqali namlik qiymatlarini real vaqt rejimida ko‘rish va analog hamda raqamli signallar asosida sug‘orish jarayonini boshqarish imkoniyati yaratilgan.

Natijalar harorat va quyosh nurlanishining o‘zgarishi fotoelektrik panelning chiqish quvvatiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishini ko‘rsatgan. Qarshilik qiymatlarining o‘zgarishi ham chiqish quvvatiga ta’sir qilgan. P&O MPPT algoritmidan foydalanish quyosh panelidan olinadigan quvvatni boshqarish va ish nuqtasini maksimal quvvat sohasiga yaqinlashtirish imkonini bergan. Arduino va LabVIEW integratsiyasi esa sug‘orish jarayonini avtomatlashtirish, suvdan foydalanishni optimallashtirish va bir nechta parametrlarni bir vaqtning o‘zida kuzatish imkonini bergan.

Pedagogik nuqtayi nazardan, mazkur model fizika, elektrotexnika va raqamli texnologiyalar fanlarida integrallashgan virtual-amaliy mashg‘ulot sifatida qo‘llanishi mumkin. Talabalar fotoelektrik effektning amaliy qo‘llanilishi, sensorlardan ma’lumot olish, boshqaruv algoritmi ishlashi va qayta tiklanuvchi energiya tizimining parametrlarini modellashtirishni yagona tizimda kuzatadilar.

Xulosa qilib aytganda, LabVIEW muhitida ishlab chiqilgan fotoelektrik simulyator va Arduino asosidagi boshqaruv tizimi quyosh energiyasidan foydalanadigan aqlli issiqxona modelini yaratish imkonini beradi. Tadqiqotda harorat, nurlanish va qarshiliklarning PV tizim chiqishiga ta’siri ko‘rsatilgan, P&O MPPT algoritmi esa quvvatni boshqarish samaradorligini oshirish vositasi sifatida qo‘llangan. Mazkur yondashuv fizik jarayonlarni raqamli modellashtirish, avtomatlashtirish va virtual laboratoriya mashg‘ulotlarini tashkil etish uchun amaliy asos bo‘la oladi.

Adabiyotlar

1. Zoirov S., Nomozov X. Qayta tiklanuvchi energiya manbalari asosida gibrid energiya ta’minotidan foydalanish istiqbollari. 2023.

2. Faranda R., Leva S. Energy comparison of MPPT techniques for PV systems // WSEAS Transactions on Power Systems. 2008. Vol. 3. P. 446–455.

3. National Instruments. LabVIEW Help. Part Number 371361K-01. 2013.

4. Tarak S. et al. MATLAB/Simulink based modeling of photovoltaic cell // International Journal of Renewable Energy Research. 2012. Vol. 2. №2. P. 213–218.

5. Salim S., Ohri J. Monitoring and Analysis of Solar PV based on GUI // IEEE International Conference on Measurement, Instrumentation, Control and Automation. 2020.

6. Yousry A., Zahran M., Al-Hossain A. Solar cell curves measurement based on LabVIEW microcontroller interfacing // WSEAS International Conference on Automatic Control, Modeling & Simulation. 2010.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНОЙ И СОЛНЕЧНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

А.А. Мукольянц., И.В. Сотникова., Ф.Т. Шадибекова., Х.Ш. Илавиддинов
Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан

Введение. Современная энергетика Узбекистана ориентирована на диверсификацию генерации, снижение углеродоёмкости и эффективное использование вторичных энергоресурсов. Для объектов муниципальной теплоэнергетики перспективными решениями являются солнечные фотоэлектрические станции (СФЭС) и детандер-генераторные агрегаты (ДГА), использующие энергию перепада давления природного газа. Целью работы является сравнительная оценка СФЭС и ДГА при замещении электрической мощности 200 кВт с учётом пространственных ограничений, КИУМ, капитальных затрат и стабильности генерации.

Методология и расчетная модель ДГА. Для формирования сопоставимого базиса сравнения за основу приняты параметры ГРП теплоцентрали со следующими режимными характеристиками: избыточное давление газа на входе $P_{вх.изб}$ = 3,0 ати (0,304 МПа), на выходе (перед подачей на горелочные устройства котлов КВГМ) — $P_{вых.изб}$ = 1,0 ати (0,101 МПа). Массовый расход газа изменяется сезонно от минимального осенне-весеннего значения $G_{мин}$=1,5 кг/с до максимального пикового зимнего расхода $G_{макс}$ = 5,5 кг/с.

$$N_{эл.ДГА} = G \cdot \frac{k}{k-1} \cdot R_{смеси} \cdot T_{вх} \cdot \left[1 - \left(\frac{P_{вых.абс}}{P_{вх.абс}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \cdot \eta_{общ}, \quad (1)$$

где ($P_{вх.абс}$ = 4,013\) бар, $P_{вых.абс}$ = 2,013 бар, удельная газовая постоянная реальной метано-этановой смеси $R_{смеси}$ = 489,6 Дж/(кг·К), эффективный показатель адиабаты смеси с учетом сжимаемости по уравнению Пенга — Робинсона равен k=1,298, общий КПД агрегата $\eta_{общ}$ = 0,72. Температура газа после узла подогрева (рис.1) обратной водой теплосети составляет $T_{вх}$ = 313,15 К (+40 °С).

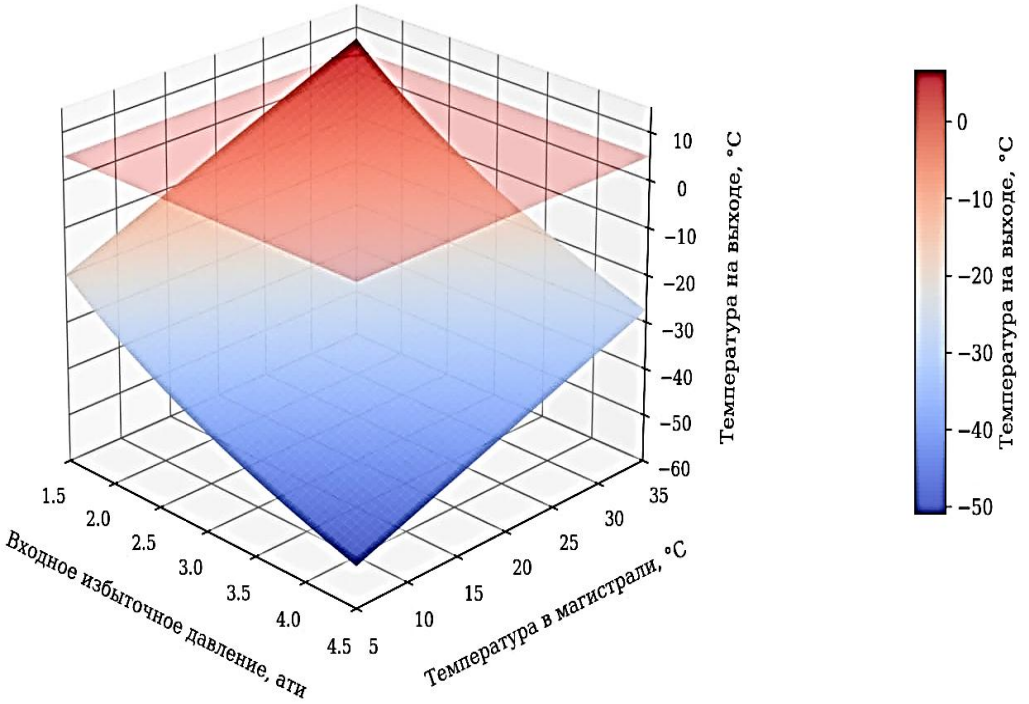


Рис. 1. Температура газа после детандера без подогрева в зависимости от входного давления

Подставляя граничные значения расходов, получаем точные диапазоны генерации ДГА:

1. При минимальном расходе газа (1,5 кг/с):

$$N_{\text{эл.мин}} = 1{,}5 \cdot \frac{1{,}298}{0{,}298} \cdot 0{,}4896 \cdot 313{,}5 \cdot \left[1 - \left(\frac{2{,}013}{4{,}013}\right)^{\frac{0{,}298}{1{,}298}}\right] \cdot 0{,}72 = 91{,}9\,\text{кВт}. \quad (2)$$

2. При максимальном пиковом расходе газа 5,5 кг/с (рис.2):

$$N_{\text{СФЭС.ном}} = \frac{E_{\text{суткиДГА}}}{t_{\text{пик}} \cdot \eta_{\text{инв}}} = \frac{4800}{4{,}5 \cdot 0{,}92} = 1159{,}4\,\text{кВт}. \quad (3)$$

Таким образом, средневзвешенная эффективная мощность установки в течение отопительного сезона фиксируется на целевом рубеже порядка 200 кВт, обеспечивая среднесуточную выработку электрической энергии на уровне:

$$E_{\text{суткиДГА}} = 200\,\text{кВт} \cdot 24\,\text{ч} = 4800\ \text{кВт} \cdot \text{ч}. \quad (4)$$

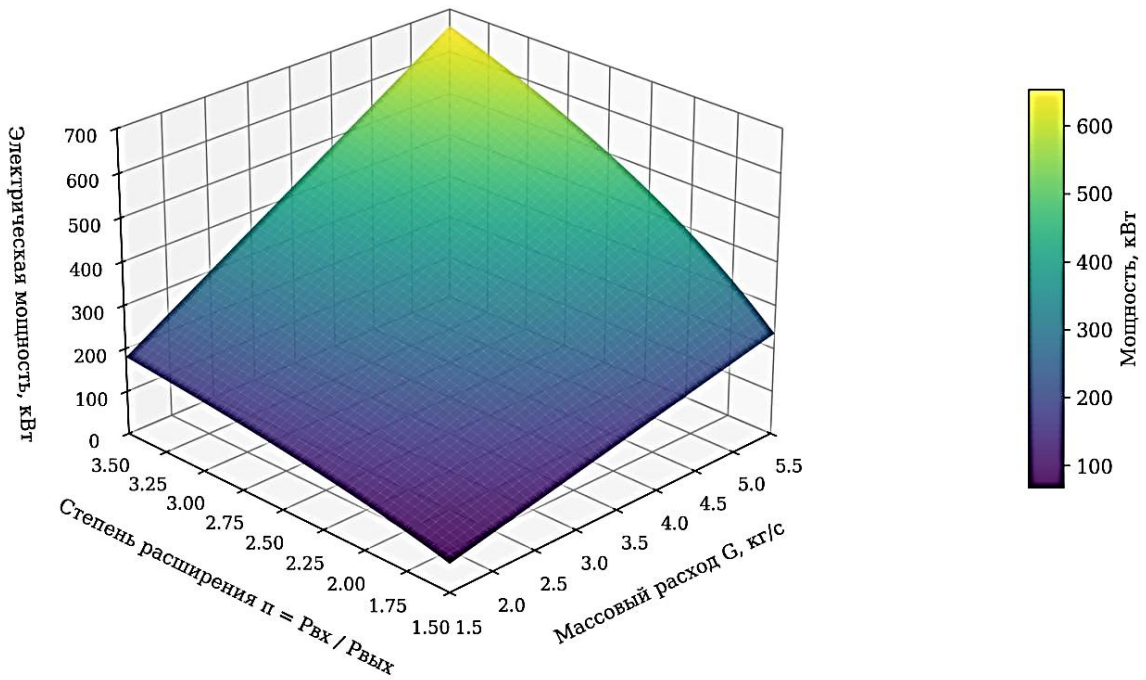


Рис. 2. Зависимость электрической мощности ДГА от массового расхода газа

Важнейшим газодинамическим преимуществом ДГА является непрерывность процесса (КИУМ равен 85–90% с учетом планового ТО), стабильность частоты тока и полная независимость от климатических факторов окружающей среды.

Моделирование эквивалентной СФЭС. Для обеспечения генерации аналогичного суточного объема электрической энергии (4800 кВт·ч) в условиях города Ташкента (среднегодовая инсоляция (≈1600) кВт·ч/м² в год, среднесуточный эквивалентный период пикового солнечного сияния ($t_{\text{пик}}$ = 4,5) часа) номинальная мощность солнечной станции без накопителей должна составлять:

$$N_{\text{СФЭС.ном}} = \frac{E_{\text{суткиДГА}}}{t_{\text{пик}} \cdot \eta_{\text{инв}}} = \frac{4800}{4{,}5 \cdot 0{,}92} = 1159{,}4\,\text{кВт}. \quad (5)$$

Однако СФЭС осуществляет генерацию строго в дневное время (8–10 часов в сутки). Муниципальная теплоцентраль работает в непрерывном круглосуточном цикле (24/7). Чтобы обеспечить полное замещение мощности 200 кВт в ночное время (15 часов отсутствия инсоляции), СФЭС обязана функционировать в составе с буферной аккумуляторной системой (BESS). Требуемая полезная емкость аккумуляторного банка для покрытия ночного дефицита:

$$E_{\text{АКБ}} = 200\,\text{кВт} \cdot 15\,\text{ч} = 3000\ \text{кВт} \cdot \text{ч}. \quad (6)$$

С учетом рекомендуемой глубины разряда литий-железо-фосфатных элементов ($LiFePO_4$) на уровне 80% и КПД цикла заряд/разряд, номинальная емкость системы хранения должна быть не менее 3750 кВт·ч.

Доказательная база преимуществ ДГА по ключевым критериям.

1. *Пространственно-геометрический критерий.*

Современные фотоэлектрические модули Tier-1 мощностью 550 Вт имеют физическую площадь 2,58 м². С учетом технологических межрядных интервалов для исключения взаимного затенения (коэффициент использования площади $k_{\text{пл}}$ = 2,2), удельная пространственная потребность СФЭС составляет около 10,3 м² на 1 кВт установленной мощности.

Для размещения СФЭС мощностью 1159,4 кВт потребуется:

$$S_{\text{СФЭС}} = 1159{,}4\ \text{кВт} \cdot 10{,}3\ \text{м}^2/\text{кВт} = 11941{,}8\ \text{м}^2. \quad (7)$$

Что составляет ~1,2 гектара земли. В условиях плотной городской застройки Ташкента выделение таких площадей вблизи теплоцентралей невозможно. В противовес этому, технологический блок ДГА мощностью 200 кВт вместе со щитами автоматики и управления монтируется на раме с габаритами (3 х 4) метра (площадь 12 м²), размещаясь внутри существующего зала ГРП котельной. Пространственное преимущество ДГА составляет 995 раз.

2. *Критерий капитальных вложений* (CAPEX).

Стоимость промышленной СФЭС мощностью 1159,4 кВт под ключ (без АКБ) в ценах 2026 года составляет около $450 - $550 за кВт установленной мощности (≈ $580 000). Стоимость литий-железо-фосфатной системы хранения энергии (BESS) емкостью 3750 кВт·ч оценивается из расчета $180 за кВт·ч (≈ $675 000). Суммарный CAPEX солнечного комплекса с накопителями достигает $1 255 000. В то же время, капитальные затраты на серийный турбодетандерный агрегат мощностью 200 кВт, включая узел подогрева газа (пластинчатый теплообменник) и пусконаладочные работы, составляют $180 000 - $220 000. Экономическое преимущество по первоначальным инвестициям — более чем в 5,7 раз в пользу ДГА.

3. *Экологический и эксплуатационный аспекты.*

ДГА является полностью экологически чистым утилизационным комплексом, не производящим прямых выбросов CO_2. За счет круглосуточной стабильной генерации 11,09 млн кВт·ч в год (в масштабах 7 ТЦ) предотвращается выброс около 6600 тонн парниковых газов, которые были бы выделены ТЭС при выработке аналогичного объема энергии. Срок службы лопаточного аппарата турбины превышает 20 лет, а эксплуатационные расходы (OPEX) ограничиваются периодической заменой масла и подшипников раз в 10–12 тыс. моточасов. СФЭС, в свою очередь, подвержена деградации пластин (до 0,5% в год) и требует замены инверторного парка через 10–12 лет, а утилизация деградировавших аккумуляторов BESS через 10–15 лет накладывает дополнительные экологические штрафы на предприятие.

Заключение. Проведенное исследование строго доказывает технологическую и экономическую нецелесообразность применения солнечной генерации для непрерывного энергоснабжения объектов городской теплоэнергетики по сравнению с детандер-генераторной технологией. При сопоставимой суточной выработке энергии (4800 кВт·ч), ДГА на базе ГРП теплоцентралей обеспечивает стопроцентную стабильность параметров сети 24/7, требует в 5,7 раз меньших капитальных

вложений и занимает площадь в 995 раз меньшую, не требуя отчуждения дефицитных городских земельных ресурсов. Проект интеграции ДГА полностью соответствует концепции умной распределенной энергетики и обладает высочайшим потенциалом для коммерциализации в рамках хоздоговорной тематики.

АККУМУЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГИИ РАСШИРЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

А.А. Мукольянц, Б. Хамдамов, И.В. Сотникова, А.Ш.Сайфутдинов
Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан

Введение. Одним из перспективных способов повышения энергоэффективности газораспределительных систем является утилизация избыточной энергии давления природного газа на ГРП и ГРС. При снижении давления с 0,22–0,38 до 0,05 МПа значительная часть этой энергии при дросселировании теряется. Для её преобразования в электроэнергию применяются детандер-генераторные агрегаты (ДГА). Однако их выработка непосредственно зависит от расхода газа, характеризующегося значительной сезонной и суточной неравномерностью.

При снижении газопотребления выработка ДГА может превышать текущую нагрузку, тогда как в периоды пикового спроса её мощности может быть недостаточно. Для сглаживания этой неравномерности целесообразно применение гибридных систем, объединяющих ДГА с накопителем энергии.

В мировой энергетической практике одним из наиболее распространённых решений для крупномасштабного аккумулирования энергии являются гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС). Принцип их работы заключается в накоплении энергии путём перекачки воды из нижнего водоёма в верхний в периоды снижения нагрузки и её последующем возврате через гидротурбины с выработкой электроэнергии в периоды повышенного спроса.

Концепция выравнивания графика выработки электроэнергии за счет мини-ГАЭС позволяет трансформировать базовую выработку ДГА в пиковую, что значительно повышает экономическую ценность генерируемой энергии.

Стоит подчеркнуть, что традиционные аккумуляторные батареи (BESS) имеют высокий CAPEX и ограниченный ресурс циклов заряд/разряд, тогда как гидравлическая система аккумулирования имеет кратно больший срок службы и экологична.

Объект и методы исследования. Объектом исследования выбран газорегуляторный пункт ТЦ-1, обслуживающий промышленный район. Исходные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Технические характеристики ГРП ТЦ-1

Параметр	Зима/Лето	Единица измерения
Давление газа на входе	2,26/3,86	кгс/см²
Давление газа на выходе	0,5/0,5	кгс/см²
Среднесуточный расход газа	494 130/71 619	нм³/ч
Температура газа на входе	+5…+10/+15…+20	°C
Тариф на электроэнергию	0,03/0,03	у.е./кВт·ч

Компонентный состав природного газа (объёмные доли): метан CH_4 – 92–96%; этан C_2H_6 – 2–3%; пропан C_3H_8 – 0,5–1,0%; азот N_2 – 0,5–1,0%; диоксид углерода CO_2 – 1,0–1,5%; прочие компоненты – остальное.

Принципиальная схема предлагаемого энергокомплекса представлена на рисунке 1.

Как показано на рисунке 1, часть потока природного газа направляется в турбодетандер, где происходит его расширение с давления (P_1 = 0,22/0,38) МПа до (P_2 = 0,05) МПа. Вал турбодетандера механически соединён с валом насоса, обеспечивая непосредственную передачу механической энергии расширяющегося газа на перекачку воды из нижнего резервуара в водонапорную башню высотой 30 м. В период пиковых нагрузок накопленная потенциальная энергия воды преобразуется в электрическую энергию при её пропуске через гидротурбину с последующей передачей выработанной электроэнергии в электрическую сеть.

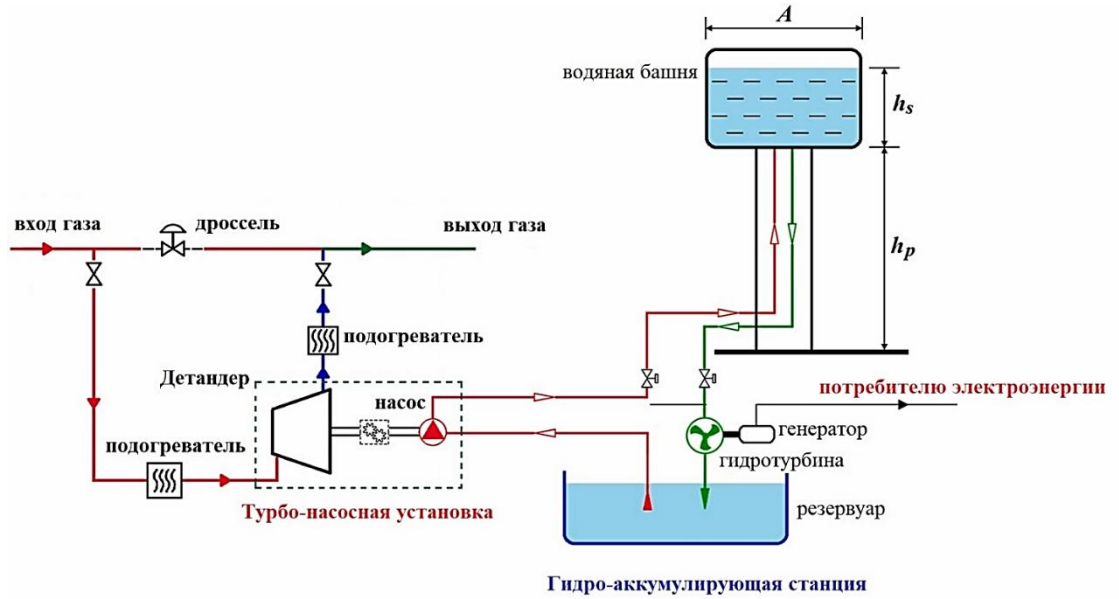


Рис.1. Принципиальная схема энергокомплекса на базе ГРП с детандером и мини-ГАЭС

Для определения энергетического потенциала турбодетандера и оценки его способности обеспечивать работу насосного агрегата расчёт мощности расширения газа выполнен на основе уравнения изоэнтропного расширения реального газа:

$$N = G \cdot \frac{k}{k-1} \cdot R \cdot T_1 \cdot \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \cdot \eta_{\text{дет}},$$

где: G – массовый расход газа, кг/с; k – показатель адиабаты (для природного газа принят 1,3); R – газовая постоянная, Дж/(кг·К); T_1 – температура газа на входе, К; P_1, P_2 – абсолютное давление на входе и выходе, Па; $\eta_{\text{дет}}$ – КПД детандера (принят 0,85).

Для оценки системы хранения использованы уравнения гидравлики:

Мощность насосного режима: $N_{\text{н}} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot \dfrac{H}{\eta_{\text{н}}}$.

Мощность турбинного режима: $N_{\text{т}} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta_{\text{т}}$.

Запасённая энергия: $E = \rho \cdot g \cdot V \cdot H$,

где ρ = 1000 кг/м³ – плотность воды, g = 9,81 м/с², Q – расход воды, м³/с, H – напор (30 м), V – объём воды, м³, $\eta_н$ = 0,85, $\eta_т$ = 0,90.

На рисунке 2 показана зависимость пиковой мощности гибридной системы «ГАЭС + детандер» от давления природного газа на входе и высоты водонапорной башни. Полученная поверхность характеризует увеличение потенциальной мощности системы с ростом высоты подъёма воды, при этом интенсивность данного изменения определяется величиной входного давления газа. При относительно низких значениях давления газа ((P_1 < 0,5) МПа) увеличение высоты подъёма не приводит к существенному росту пиковой мощности, поскольку доступной механической энергии расширения газа недостаточно для обеспечения требуемого расхода воды при увеличении напора. Наиболее благоприятная область рабочих параметров располагается при повышенных давлениях газа ((P_1 > 1,0) МПа) и высоте водонапорной башни порядка 30–50 м, что соответствует наиболее рациональному соотношению между расходом воды и создаваемым напором.

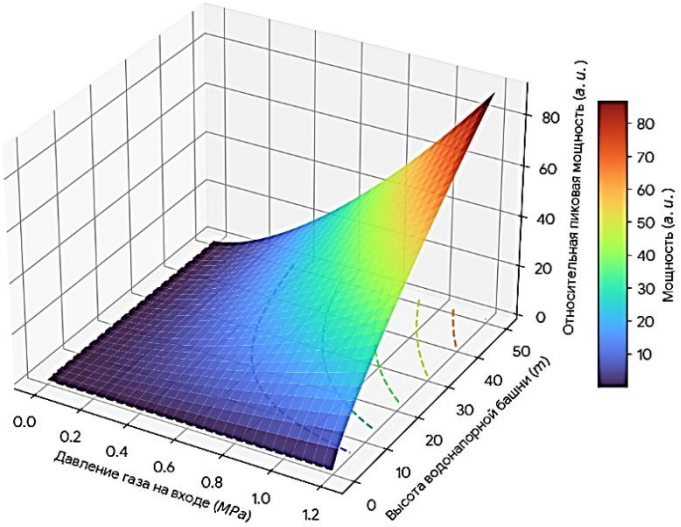


Рис.2. Зависимости пиковой электрической мощности от давления газа на входе в детандер и высоты водонапорной башни

Результаты расчётов и их анализ. Для работы турбодетандера используется часть потока природного газа в количестве 1 780 нм³/ч, что составляет 0,36% от полной пропускной способности ГРП ТЦ-1 (494 130 нм³/ч) и не влияет на основную функцию газораспределения.

Массовый расход газа: 0,396 кг/с.

Мощность турбодетандера: При перепаде давления от 0,222 МПа до 0,049 МПа и температуре 283 К работа расширения составляет 163,5 кДж/кг. Мощность на валу турбодетандера:

$$N_{дет} = 0,396 \cdot 163,5 \cdot 0,85 = 55 \text{ кВт}$$

Полученное значение соответствует параметрам серийно выпускаемых детандеров мощностью 50–120 кВт.

Годовая выработка: 481,8 МВт·ч.

Параметры мини-ГАЭС: Для аккумулирования энергии приняты: Напор H = 30 м; Объём верхнего резервуара 12 500 м³ (40×25 м, глубина 12,5 м)

Режим зарядки (24 ч): Расход воды: 522 м³/ч; Мощность насоса: 50,2 кВт (покрывается детандером)

Режим разрядки (8 ч пик): Расход воды: 1 562 м³/ч; Мощность гидротурбины: 115,0 кВт;

Годовая выработка от ГАЭС: 335,8 МВт·ч

Суммарный полезный отпуск: 817,6 МВт·ч/год.

Заключение. В результате выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Техническая реализуемость. При использовании 1 780 нм³/ч природного газа (0,36% от полного расхода ГРП ТЦ-1) мощность детандера составляет 55,0 кВт, что подтверждается данными производителей оборудования.
2. Система аккумулирования. Мини-ГАЭС с напором 30 м и объёмом верхнего резервуара 12 500 м³ позволяет в часы пик выдавать мощность 115,0 кВт, что в 2,1 раза превышает мощность турбодетандера.
3. Энергетическая эффективность. Суммарная годовая выработка энергокомплекса достигает 817,6 МВт·ч, из которых 41% обеспечивается за счёт аккумулирования.
4. Перспективы масштабирования. Предложенная концепция может быть тиражирована на другие ГРП с подбором оптимальной мощности оборудования в зависимости от располагаемого расхода газа.

GIDROELEKTR STANSIYALAR UCHUN GIDROTURBINALARNI TANLASHNING TEXNIK-IQTISODIY ASOSLARI

M.M. Muxammadiyev, K.S. Djurayev., D.A. Mamatkulov., F.T. Shadibekova
Toshkent davlat texnika universiteti

Gidroelektr stansiya (GES)ning energetik va iqtisodiy samaradorligi ko‘p jihatdan gidroturbina turini, uning asosiy parametrlarini va gidroagregatlar sonini to‘g‘ri tanlashga bog‘liq. Turbina tanlovi faqat nominal bosim va suv sarfi bilan chegaralanmasdan, ish rejimlarining o‘zgaruvchanligi, kavitatsiya xavfi, qisman yuklamalardagi FIK, qurilish va montaj sharoitlari, ekspluatatsiya xarajatlari hamda elektr energetika tizimining talablarini hisobga olishi kerak [1–3]. Turbina tanlash bo‘yicha amaliy yondashuvlarda bosim va hisobiy sarf asosiy boshlang‘ich mezon sifatida olinadi, keyinchalik ishlab chiqarish va ekspluatatsiya shartlari bilan aniqlashtiriladi [1].

Xalqaro amaliyotda gidravlik mashinalarning model sinovlari, gidravlik ko‘rsatkichlarni aniqlash va model natijalarini prototipga ko‘chirish uchun IEC 60193 va IEC 62097 kabi standartlar qo‘llanadi [4, 5]. Shu sababli gidroturbina tanlash jarayonida ishlab chiqaruvchi kataloglari bilan bir qatorda ishonchli eksperimental tavsiflar va standartlashtirilgan sinov natijalaridan foydalanish maqsadga muvofiq.

Gidromashinaning optimal variantini tanlash obyekt parametrlarini texnik-iqtisodiy asoslash natijalariga ko‘ra amalga oshirilishi lozim. Tanlash jarayonida quyidagi asosiy mezonlar birgalikda baholanadi: hisobiy va maksimal bosim H, suv sarfi Q, agregat quvvati N, FIK η, kavitatsion ko‘rsatkichlar, aylanish chastotasi, agregatlarning soni va joylashuvi, kapital xarajatlar, ekspluatatsiya xarajatlari, ta’mirlash qulayligi, ishonchlilik va atrof-muhitga ta’sir [1–3].

Berilgan ish rejimlari va GESdagi bosimning o‘zgarish diapazonini hisobga olgan holda gidromashina tizimini maksimal bosim bo‘yicha dastlabki tanlash mumkin. Biroq yakuniy tanlov faqat bosim diapazoniga emas, balki yillik suv-energetik hisoblar va turbina ish xarakteristikasiga asoslanishi kerak. Ayniqsa, suv sarfi va bosimning mavsumiy o‘zgarishi katta bo‘lgan GESlarda qisman yuklamalardagi samaradorlik muhim ahamiyat kasb etadi [2].

Gorizontal kapsulali agregatli gidroenergetik qurilmalarda kapital xarajatlar ayrim sharoitlarda vertikal agregatlarga nisbatan 15–20 % gacha kam bo‘lishi mumkin. Shu bilan birga, kapsulali gidroturbinalar metall sig‘imi va mehnat sarfi bo‘yicha ayrim vertikal burilma-parrakli turbinalardan murakkabroq bo‘lishi, shuningdek, ekspluatatsiya va texnik xizmat ko‘rsatish shartlari alohida baholanishi lozim.

Vertikal radial-o‘qli turbinalar maksimal FIK bo‘yicha xuddi shunday quvvatdagi ayrim burilma-parrakli turbinalardan 0,5–2 % yuqori bo‘lishi va kavitatsion xususiyatlari sababli ayrim holatlarda

kichikroq o‘rnatish chuqurligini talab qilishi mumkin. Burilma-parrakli turbinalarning asosiy afzalliklaridan biri esa qisman yuklamalarda nisbatan tekis ish xarakteristikasidir.

Diagonal burilma-parrakli turbinalar o‘qiy burilma-parrakli turbinalarga nisbatan ayrim bosim diapazonlarida yaxshiroq kavitatsion xususiyat va yuqoriroq maksimal FIK berishi mumkin, biroq konstruktiv murakkablik va ishlab chiqarish mehnat sarfi ham hisobga olinadi. Cho‘michli (Pelton turidagi) turbinalar yuqori bosimli obyektlar uchun qo‘llanib, soplolar sonini o‘zgartirish orqali qisman yuklamalarda ishlash diapazonini kengaytiradi [1, 3].

1-jadval

Maksimal bosim, m	Gidromashina tizimi	Ijro varianti
25 gacha	O‘qiy	Vertikal va gorizontal burilma-parrakli va propellerli, shu jumladan kapsulali va to‘g‘ri oqimli
25–45	Radial-o‘qli	Vertikal
45–80	O‘qiy	Vertikal burilma-parrakli va propellerli
80–170	Radial-o‘qli	Vertikal
150–600	O‘qiy va diagonal	Vertikal burilma-parrakli va propellerli
250 dan ortiq	Radial-o‘qli	Vertikal

Yuqoridagi 1-jadval dastlabki muhandislik tanlovi uchun beriladi. Yakuniy qaror konkret obyektning Q–H rejimi, kavitatsiya shartlari, suv yo‘li konfiguratsiyasi, generator talablari va texnik-iqtisodiy hisoblari bilan tekshirilishi kerak. Bosim diapazonlari maqoladagi boshlang‘ich ma’lumotlar asosida saqlandi.

Manba materialida ayrim bosim diapazonlari o‘zaro qisman ustma-ust keladi. Shu sababli jadvaldagi qiymatlar qat’iy chegaralar emas, balki dastlabki tanlov oralig‘i sifatida qabul qilinishi lozim. Yakuniy tanlovni ishlab chiqaruvchi ishchi xarakteristikalari va model sinovlari bilan tasdiqlash tavsiya etiladi [4, 5].

GESning berilgan quvvatida agregatlar soni reaktiv turdagi turbinalarning ishlab chiqarishdagi metall sig‘imi va mehnat sarfiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Birlik quvvat oshirilganda uskunaning o‘lchamlari va ayrim qurilish xarajatlari o‘zgaradi, biroq agregatlar sonining kamayishi yordamchi uskunalar, boshqaruv tizimlari va ekspluatatsiya xarajatlariga ijobiy ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Shu bilan birga, yirik birlik agregatning ishdan chiqishi stansiya mavjud quvvatining katta qismini yo‘qotishga olib kelishi mumkin. Shuning uchun agregatlar soni faqat uskunaning narxi bo‘yicha emas, balki ishonchlilik va ta’mirlash strategiyasi bilan birgalikda tanlanadi.

Hisoblarda agregat quvvatining asbob-uskunalar narxiga, qurilish qismi narxiga, ekspluatatsiya xarajatlariga va GESning suv-energetik xususiyatlariga ta’siri, shuningdek, elektr energetika tizimi yoki izolyatsiyalangan iste’molchida talab qilinadigan ish rejimlarini ta’minlash imkoniyati hisobga olinishi kerak.

Texnik jihatdan mumkin bo‘lgan eng yuqori quvvat quyidagi omillarni tahlil qilish asosida aniqlanadi, ya’ni energiya tizimining xususiyatlari va elektr stansiyasining ish rejimlari, shu jumladan yuklama jadvali cho‘qqilarini qoplashdagi ishtiroki, gidroagregatni favqulodda o‘chirish va ekologik/sanitariya suv sarfini o‘tkazish talablari, quyi befdagi suv sathi rejimlariga qo‘yiladigan talablar, GES stvorining geomorfologik va geologik sharoitlari, atrof-muhitga salbiy ta’sirni minimallashtirish talablari, uskunalarni tayyorlash, tashish va o‘rnatishning texnologik imkoniyatlari, GES binosining turi va suv yetkazib beruvchi qurilmalarning tuzilishi, turbina oldi zatvorlarini o‘rnatish imkoniyatlari.

Tanlangan nominal quvvat gidrogeneratorning nominal tavsiflari bilan muvofiqlashtiriladi. Hisobiy bosimdan yuqori bosimlarda ham generatorning to‘liq nominal faol quvvatini ta’minlash imkoniyati mavjud bo‘lsa, bunday yechim qo‘shimcha energiya ishlab chiqarish va energiya tizimida rezerv/ta’mirlash quvvatidan foydalanish nuqtayi nazaridan alohida texnik-iqtisodiy hisob bilan asoslanishi mumkin.

Uskunani tanlash va texnik topshiriqni ishlab chiqishda tezyurarlik koeffitsiyenti, keltirilgan sarf, FIK va keltirilgan aylanish chastotasi kabi ko‘rsatkichlar ishlatiladi. Maqola materialidagi 2-jadvalda gorizontal kapsulali o‘qiy-parrakli, vertikal o‘qli burilma-parrakli va vertikal diagonal burilma-parrakli turbinalar uchun ushbu parametrlarning qiymatlari keltirilgan.

2-jadval

Hmax, m	Tezyurarlik koeffitsiyenti	Keltirilgan sarf	η_m, %	Keltirilgan aylanish chastotasi
Gorizontal kapsulali o‘qiy-parrakli gidroturbina				
7	1000–900	3,2–3,5	92,7	150–190
10	900–800	2,8–3,0	92,7	145–180
15	800–750	2,4–3,0	92,2	140–170
20	750–700	2,0–2,75	91,9	135–165
25	750–670	1,7–2,5	91,9	135–160
Vertikal o‘qli burilma-parrakli gidroturbina				
10	773–640	2,3–2,5	90,5	165–185
15	669–561	2,1–2,35	91,4	150–165
20	585–493,4	1,8–2,25	91,4	138–150
30	517–436	1,45–2,0	91,7	125–135
40	482–384	1,25–1,7	91,6	115–126
50	457–373	1,15–1,5	90,8	110–120
60	413–346	1,05–1,3	90,6	105–116
70	383–327	0,95–1,2	90,0	102–110
80	353–300	0,9–1,1	89,4	100–105
Vertikal diagonal burilma-parrakli turbina				
50	430–380	1,25–1,5	91,3	105–115
60	420–370	1,2–1,4	89,8	100–115
70	410–353	1,1–1,3	91,3	100–110
90	370–300	1,0–1,2	92,2	85–95
115	300–280	0,85–1,05	92,1	83–91
140	280–260	0,75–0,95	92,5	82–87
170	240–219	0,7–0,8	91,5	77–85

Jadvaldagi model FIK qiymatlari model sinovlari sharoitlariga tegishli bo‘lib, ularni to‘g‘ridan-to‘g‘ri prototipning kafolatlangan FIK qiymati sifatida qabul qilish mumkin emas. Model va prototip o‘rtasidagi masshtab ta’sirlarini hisobga olish IEC 62097 talablariga muvofiq amalga oshirilishi mumkin [5].

Takomillashtirilgan tanlash algoritmi birinchi bosqichda obyektning hisobiy, minimal va maksimal bosimi hamda suv sarfi diapazonini aniqlashdan boshlanadi. So‘ngra ushbu H–Q diapazoniga mos turbina tizimlari uchun dastlabki variantlar shakllantirilib, har bir variant bo‘yicha quvvat, FIK, kavitatsion zaxira, aylanish chastotasi hamda ish diapazoni hisoblab chiqiladi. Keyingi bosqichlarda agregatlar soni va birlik quvvatining bir nechta kombinatsiyalari tuziladi va ular bo‘yicha kapital xarajatlar, qurilish ishlari, ekspluatatsiya hamda texnik xizmat ko‘rsatish xarajatlari baholanadi. Shuningdek, yillik energiya ishlab chiqarish va qisman yuklamalardagi samaradorlik tahlil qilinib, variantlar ishonchlilik, ekologik talablar, transport va montaj sharoitlari bo‘yicha tekshiruvdan o‘tkaziladi. Algoritm texnik-iqtisodiy ko‘rsatkichlari eng maqbul bo‘lgan variantni ishlab chiqaruvchi tavsiflari va zarur hollarda model sinovlari orqali yakuniy tasdiqlash bilan yakunlanadi.

Gidroturbina va gidroagregatlarni tanlash ko‘p mezonli texnik-iqtisodiy masala bo‘lib, uni faqat bosim yoki nominal quvvat asosida hal qilish yetarli emas. Optimal variantni aniqlashda H–Q ish rejimi, FIKning yuklamaga bog‘liqligi, kavitatsiya shartlari, agregatlar soni, kapital va ekspluatatsiya xarajatlari, elektr energetika tizimining talablari hamda qurilish-montaj sharoitlari birgalikda baholanishi kerak. Past bosimlarda o‘qiy va kapsulali yechimlar, o‘rta bosimlarda radial-o‘qli turbinalar, yuqori bosimlarda esa radial-o‘qli yoki diagonal yechimlar uchun tegishli variantlarni ko‘rib chiqish mumkin; biroq bu diapazonlar dastlabki tanlov mezoni bo‘lib, konkret obyekt uchun ishlab chiqaruvchi xarakteristikalari va texnik-iqtisodiy hisob bilan tasdiqlanishi shart.

Shuningdek, zamonaviy tanlash metodikasida model sinovlari natijalarining ishonchliligi va ularni prototipga to‘g‘ri ko‘chirish muhim. IEC 60193 gidravlik mashinalarning model qabul sinovlarini, IEC 62097 esa model natijalaridan prototip samaradorligini aniqlash metodologiyasini belgilaydi [4, 5]. Bu yondashuv gidroturbina tanlovining texnik asoslanganligi va ekspluatatsion natijalarining ishonchliligini oshiradi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation. Hydropower Resource Assessment / Assessment Report. Turbine selection methodology based on design head, flow and operating characteristics.

2. Liu X., et al. A selected literature review of efficiency improvements in hydraulic turbines. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. Vol. 51. P. 18–28.

3. Elbatran A.H., Yaakob O.B., Ahmed Y.M., Shabara H.M. Operation, performance and economic analysis of low head micro-hydropower turbines for rural and remote areas: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. Vol. 43. P. 40–50.

4. IEC 60193:2019. Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines — Model acceptance tests. International Electrotechnical Commission, 2019.

5. IEC 62097:2019. Hydraulic machines, radial and axial — Methodology for performance transposition from model to prototype. International Electrotechnical Commission, 2019.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОГЭС ДЖИЗАКСКОГО ГОЛОВНОГО КОЛЛЕКТОРА

О.Х. Низамов[1] , Б. Хамдамов, Ф.Т. Шадибекова, Ф.С. Саидов

[1]К.т.н., и.о.проф., Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; tstu_energy@mail.ru https://orcid.org/0009-0009-3909-4888

Актуальность. Развитие малой гидроэнергетики в Узбекистане связано с необходи-мостью повышения энергетической независимости регионов и эффективного использования существующих водохозяйственных объектов.

1. Введение

Развитие малой и микрогидроэнергетики в Узбекистане приобретает особую значимость в условиях роста потребности в электроэнергии и необходимости увеличения доли возобновляемых источников энергии в национальном энергобалансе. Одним из перспективных направлений является использование сбросных и дренажных вод коллекторно-иррига-ционных систем.

Джизакский Головной коллектор, расположенный в Зафарабадском районе Джизакской области, характеризуется стабильным водным режимом и наличием естественного перепада уровней на участке ПК2+20. Эти условия позволяют организовать микроГЭС без строительства плотины и водохра-нилища, что существенно снижает капитальные затраты и экологическое воздействие.

2. Материалы и методы исследования

В качестве исходных данных использованы материалы гидрометри-ческих наблюдений за 10-летний период, а также результаты обследования участка ПК2+20.

Основные расчётные параметры

Таблица 1

Параметр	Значение
Местоположение	ПК2+20, Джизакский Головной коллектор
Максимальный расход , Qmax	17 м³/с
Расчётный расход , Qp	5 м³/с
Напор, H	11 м
Установленная мощность	380 кВт
Среднегодовая выработка	3,0–3,3 млн кВт·ч

Методика расчёта мощности

Установленная мощность определялась по выражению:

$$N=\eta\rho gQH$$

где: η — КПД гидроагрегата; ρ — плотность воды; g — ускорение свободного падения; Q — расход воды; H — напор.

При η = 0,85, Q = 5 м³/с и H = 11 м:

$$N=0{,}85\cdot1000\cdot9{,}81\cdot5\cdot11\approx458{,}6 \text{ кВт}$$

Для получения проектной мощности 380 кВт необходим расчётный расход около 4,14 м³/с.

3. Результаты и обсуждение

Энергетический потенциал. При максимальном расходе 17 м³/с теоретическая мощность составляет:

$$N_{max}\approx1{,}56 \text{ МВт}$$

Однако для обеспечения устойчивой круглогодичной работы мощность станции ограничена уровнем 380 кВт.

Потери напора. Зависимость потерь от диаметра трубопровода

Таблица 2

Диаметр, м	Общие потери, м
0,8	20,17
1,0	7,23
1,2	3,15
1,4	1,57
1,6	0,87

Оптимальным принят диаметр 1,2 м, при котором суммарные потери напора не превышают 3,2

Годовая выработка электроэнергии. При работе станции 7920 ч/год и мощности 380 кВт годовая выработка составит:

$$E=380\cdot7920=3{,}01 \text{ млн кВт}$$

При эксплуатации в течение полного года (8760 ч) выработка возрастает до 3,33 млн кВт·ч.

Выбор гидроагрегатов.С учётом напора 11 м и переменного расхода рекомендовано применение трёх горизонтальных Каплановских турбин. Такая схема обеспечивает:

- высокий КПД (80–90 %);
- устойчивую работу при колебаниях расхода;

- возможность поочерёдного включения агрегатов;
- упрощение автоматизации и обслуживания.

Сравнение с альтернативными ВИЭ. Сравнение с СЭС и ВЭС

Таблица 3

Показатель	МикроГЭС	СЭС	ВЭС
КПД	80–90 %	15–20 %	25–30 %
Выработка ночью	Да	Нет	Частично
Занимаемая площадь	<0,5 га	2–3 га	5 га
Надёжность	Высокая	Средняя	Низкая

МикроГЭС является наиболее эффективным вариантом для рассматриваемой площадки благодаря стабильному водному потоку и высокой предсказуемости генерации.

Заключение

Проведённые исследования показали, что участок ПК2+20 Джизак-ского Головного коллектора обладает достаточным гидроэнергетическим потенциалом для строительства микроГЭС. Основные результаты иссле-дования:

- расчётный расход принят равным 5 м³/с;
- эффективный напор составляет около 9,8–11 м;
- установленная мощность станции — 380 кВт;
- годовая выработка электроэнергии — 3,0–3,3 млн кВт·ч;
- оптимальный диаметр напорного трубопровода — 1,2 м;
- рекомендуется установка трёх Каплановских гидроагрегатов.

Реализация проекта позволит сократить выбросы CO_2 примерно на 2600 т/год, повысить эффективность использования сбросных вод и улучшить энергоснабжение сельских районов Джизакской области.

Список литературы

1.Абдураимов Ш.Р. Малая гидроэнергетика Узбекистана: современное состояние и перспективы развития. — Ташкент: Фан, 2022. — 184 с.

2.Богословский Б.Б. Гидравлические расчёты водопроводящих сооружений. — М.: Энергоатомиздат, 2019. — 312 с.

3.Киселёв В.А. Гидроэнергетические установки малой мощности. — СПб.: Политехника, 2021. — 256 с.

4.Руководство по проектированию малых ГЭС. — Ташкент: АО «Узбекгидроэнерго», 2023. — 148 с.

5.IEC 61116:2019. Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines — Methods for evaluating cavitation erosion. — Geneva: IEC, 2019.

5.IEC 60041:2020. Field acceptance tests to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines. — Geneva: IEC, 2020.

6.UzHydroEnergy. Программа строительства малых ГЭС на каналах и коллекторно-дренажных системах Республики Узбекистан. — Ташкент, 2024.

7.World Bank. Uzbekistan Renewable Energy and Hydropower Development Report. — Washington, DC, 2025.

НАСОС СТАНЦИЯСИНИНГ ТЕХНИК ҲОЛАТИ ВА ФОЙДАЛАНИШ ХАВФСИЗЛИГИ ҲАМДА БАРҚАРОРЛИГИНИ ИННОВАЦИОН ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЁРДАМИДА БАШОРАТ ҚИЛИШ УСУЛЛАРИ

Б. Хамдамов., О.Х. Низамов., А.А. Мукольянц., И.У. Кодиров
Тошкент давлат техника университети

Инновацион технологияларни қўллаб НС техник ҳолатни башорат қилиш усуллари сув олишнинг, олиб келувчи каналнинг юқори ишончлилигини, оқимни ўзгартириш учун сузувчи комбинациялашган қурилмаларни, асосий ускуналарини, ифлосликларни ушлаб қолувчи иншоотдаги босимнинг самарасиз йўқотилиши ва сув сатҳининг ўзгаришини бартараф этишни ҳисобга олиши керак.

Хорижлик мутахассислар томонидан сув йўқотилиши ва гидротехника иншоотлари аварияларининг сабаблари қуйидагича таснифланади: қувурлар асосининг беқарорлиги - 40%, сув ташлагичларнинг ўтказиш қобилияти етарли эмаслиги сабабли туташ иншоотларнинг тўлиб кетиши - 23%, босимли қувурлар конструктив элементларининг мустаҳкамлиги етарли эмаслиги - 12%, нотекис ёғинлар - 10%. Зилзилалардаги авариялар барча ҳолатларнинг атиги 1 фоизини ташкил этади.

Эксплуатация қилинаётган ГТИ хавфсизлиги декларациясини тузишдан олдин эксплуатация қилувчи ташкилот томонидан ЎзР «Давсувхўжаликназорат» вакили иштирокида ташкил этиладиган НС текшируви ўтказилади.

Фавқулодда вазиятлар юзага келиши эҳтимолидан келиб чиқиб, ҳар бир аниқ ҳолатда фойдаланиш хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда I, II, III тоифали объектлар декларация қилиниши лозим.

Фойдаланишга фақат лойиҳада кўзда тутилган, эксплуатация режимида комплекс синовдан ўтган амалдаги сигнализация қурилмалари, автоматизация, масофавий мниторинг, сунъий интеллект, назорат-ўлчов асбоблари (НЎА), алоқа ва ёритиш воситалари мавжуд бўлганда, ҳамда қабул комиссиясининг имзоланган далолатномаси асосида рухсат берилади.

ГТИ мажмуаси таркибига кирувчи иншоотлардан комплекс фойдаланиш эксплуатация қилувчи ташкилот раҳбарияти томонидан тасдиқланадиган йўриқномалар талабларига, технологик ускуналардан фойдаланиш эса ишлаб чиқарувчи завод йўриқномаларига мувофиқ амалга оширилиши шарт.

Ёритиш тармоқларида 220 В дан юқори бўлмаган чизиқли кучланишда изолятсияланган нейтралли электр тизими қўлланилиши керак. Ер ости қазилмалари, туннеллар, галереялар ва намлиги юқори бўлган бошқа участкалар 36 вольтдан юқори бўлмаган кучланишга эга бўлиши керак. Стационар ёритиш қурилмалари учун нейтрал қисми ерга уланган 6/0,4 кВ ли трансформаторларни қўллашга рухсат этилади.

ГТИ мажмуаси таркибига кирувчи иншоотлардан фойдаланиш эксплуатация қилувчи ташкилот раҳбарияти томонидан тасдиқланадиган йўриқномалар талабларига, технологик ускуналардан фойдаланиш эса ишлаб чиқарувчи завод йўриқномаларига мувофиқ амалга оширилиши шарт.

Қоронғи вақтда ишлайдиган навбатчи ходимлар электр таъминоти узилган тақдирда аккумуляторли ёритгичлар билан жиҳозланган бўлиши керак.

Қувурлар, сув чиқариш новлари ётқизилган туннель ва галереяларнинг авария ёритгичлари доимо ишчи ҳолатда бўлиши керак.

Гидротехника иншоотларини кўздан кечириш ҳар бир тошқиндан кейин, вегетация даврига тайёргарлик кўришда ва ундан кейин ўтказилиши керак. Аниқланган шикастланишлар бартараф этилиши керак. Кўздан кечириш натижалари бўйича махсус далолатномалар расмийлаштирилади.

НСда махсус табиий кузатувлар ҳисоблаш усуллари ва натижаларини аниқлаштириш, конструктив ечимларни асослаш ва фойдаланиш шароитларини яхшилаш учун маълумотлар олиш мақсадида тегишли асослар билан ўтказилиши керак.

Кузатишларнинг таркиби ва ҳажми НСнинг капиталлик синфига, унинг конструктив хусусиятларига, геологик, гидрогеологик, иқлимий, сейсмик шароитларига, шунингдек, қуриш шароитлари ва фойдаланиш талабларига қараб лойиҳада белгиланиши керак.

Натура кузатувлар визуал ва инструментал усуллар билан олиб борилади. Натура кузатувлар қуйидагиларни ўз ичига олиши керак:

назорат қилинаётган параметрлар қийматларининг уларнинг рухсат этилган чегаравий қийматларига мувофиқлигини назорат қилиш;

иншоотнинг барча тизимлари ҳолатини назорат қилиш;

сув баланси, сув омбори тўлдирилиши ва сув сарфланишига риоя этилишини назорат қилиш;

вертикал ва горизонтал силжишлар, бетон конструкциялар, ускуналар пойдеворлари ва сув таянч иншоотлари, дамбалар деформацияларини назорат қилиш;

фильтрация режимини назорат қилиш (депрессия эгри чизиғининг ҳолати, босим градиентлари, дамба танасидаги, қурилиш чокларидаги, зичловчи элементлардаги фильтрация босими);

дренаж сувининг сифатини назорат қилиш (ҳажми, лойқалиги, кимёвий таркиби, ҳарорати).

Визуал кузатувлар журналига иншоотларни кўздан кечириш ва текширишда аниқланган барча камчиликлар тўғрисидаги маълумотлар киритилади. Журналга режа илова қилинади, унда эксплуатация жараёнида иншоотларнинг техник ҳолатида жиддий бузилишлар юз берган барча участкалар, бузилиш хусусияти ва санаси кўрсатилган ҳолда қайд этилади. Аниқланган нуқсонли жойлар осонгина топилиши мумкин бўлган сигнал белгилари билан белгиланади.

НС техник ҳолати учун масъул бўлган мансабдор шахс ҳар ҳафта визуал кузатувлар журналини текшириши ва аниқланган камчиликларни бартараф этиш бўйича кўрилган чоралар ва уларнинг ижроси тўғрисида қайдлар киритиши шарт.

Узунлиги 3 км дан ортиқ бўлган иншоотларни доимий кўрикдан ўтказиш юклатилган фойдаланиш ходимлари транспорт воситаси билан таъминланиши керак.

Визуал кузатувлар билан хавфли бўлмаган деформациялар (чўкишлар, ёриқлар, дамба асосининг ёки айрим участкаларининг бўртиб чиқиши) аниқланган ҳолларда, деформация участкаларида инструментал кузатувлар ўрнатилади, уларни аниқланган деформация барқарорлашгунга ёки тўлиқ сўнгунга қадар ўтказиш зарур. Хавфли деформациялар аниқланганда, уларни дарҳол бартараф этиш чоралари кўрилиши шарт.

Геодезик усуллар билан табиий кузатувлар қуйидагиларни ўз ичига олиши керак:

- белгиланган НЎА (белгилар) бўйича режа ва баландлик ҳолатларининг геодезик ўлчовлари;

-иншоотлар ва уларнинг асослари чўкиндилари ҳамда силжишларини даврий ўлчаш, шунингдек лойқа босиши ва оқизиқлар фракцияларининг геометрик ўлчамлари.

Инструментал кузатувлар натижасида дамбалар, иншоотлар ва уларнинг асосларининг айрим участкаларида ортиб бораётган ёки вақт ўтиши билан сўнмайдиган деформатсиялар ёки хавфсизликка таъсир қилувчи бошқа ғайритабиий ҳодисалар аниқланган ҳолларда, иншоотларнинг авариясиз ишлашини таъминловчи чора-тадбирларни ишлаб чиқиш ва сабабларини аниқлаш учун зудлик билан лойиҳалаш ёки ихтисослаштирилган ташкилот вакиллари чақирилиши керак.

Таянч геодезик (маркшейдерлик) тармоғига нисбатан дамбаларнинг НЎА (белгилари) режали ва баландлик ҳолатларини геодезик ўлчашлар уч йилда камида бир марта ўтказилиши керак, рухсат этилган меъёрлардан ортиқ деформатсиялар аниқланган ҳолларда эса кузатувлар частотаси оширилиши мумкин. Иншоотдан фойдаланиш жараёнида аппаратура шикастланганда ёки

бузилганда, ушбу аппаратура (белгилар) тикланганидан сўнг дарҳол режали ва баландлик кузатувлари ўтказилиши шарт.

Сув ўлчаш рейкасининг нолини таянч реперга нисбатан текшириш ҳар йили бажарилиши керак.

Давлат геодезик тармоғидан таянч реперларни текшириш бошланғич циклдан таянч реперлари ўртасидаги фарқларнинг рухсат этилган қийматларидан ошиб кетган ҳолларда ўтказилиши керак.

Атрофдаги ҳудудни сув босиши эҳтимолини баҳолаш учун кузатув тармоғи қудуқларидаги сув сатҳи назорат қилиниши лозим.

Натура кузатув натижалари маълумотлари белгиланган шаклдаги махсус журналларга ёзиб борилади.

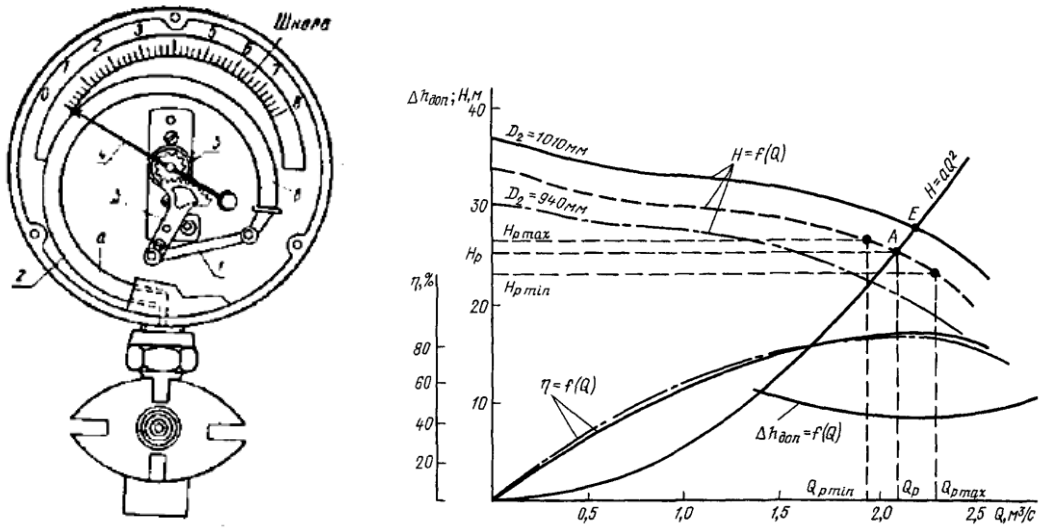
Пезометрлар ёпиладиган қопқоқлар билан тиқилиб қолишдан ҳимояланган бўлиши керак. Пезометрлар, юза, чуқурлик маркалари ва ишчи реперларнинг ер юзасидан чиқиб турган қисмлари шикастланишдан ҳимояланган бўлиши керак. Ҳимоя каллакларининг конструкцияси лойиҳада белгиланади.

НЎАнинг металл қисмлари коррозиядан ишончли ҳимояланган бўлиши керак. Қудуқларнинг ер юзасидан чиқиб турган ҳимоя каллаклари ва қопқоқлари ювилмайдиган бўёқ билан қопланади ва уларга НЎА рақами қўйилиши керак (1-рам).

Қоидалар лойиҳалаштириш, қуриш, фойдаланишга топшириш, фойдаланиш, таъмирлаш, реконструкция қилиш, тиклаш, консервация қилиш, фойдаланишдан чиқариш ва тугатишда бажарилиши мажбурий бўлган талабларни белгилайди.

Замонавий шароитларда асосий элементларининг эксплуатацион кўрсаткичларини яхшилаш мақсадида ишлаб турган НСларни реконструкция қилиш бўйича тавсиялар алоҳида аҳамият касб этади. Бундай элементларга тўғонсиз сув олгичлар, аванкамералар, сув қабул қилгичлар, панжара тозалаш машиналари (ПТМ) билан жиҳозланган ахлатлардан тозалаш тизими, насосларнинг ишчи ғилдиракларига сув узатиш шароитларини белгиловчи сўрувчи қувурлар киради.

Ишончлиликни бошқариш эксплуатация жараёнида бузилишларни аниқлаш ва олдини олиш орқали эришилади, айниқса, учта асосий сабаб туфайли иш қобилияти тўлиқ йўқолганда ишлаш бўйича: агрегат бутунлигига таҳдид солувчи кавитация ва вибрация ҳодисаларининг кескин кўпайиши; корпус қисмларининг авария ҳолати; сувни узатиш ёки чиқариш имкониятининг тўхташи.



1-расм.Назорат ўлчаш асбоби ва турли режимда ишлайдиган насосни универсал характеристикаси.

НСдан фойдаланиш хавфсизлигига сув ресурслари ҳолати билан боғлиқ бўлган НСга минимал ташқи таъсирларни, шунингдек, НСнинг атроф-муҳит объектларига таъсирини таъминлайдиган шартлар мажмуасини бажариш орқали эришиш мумкин. Зеро, пировардида, бутун ГТИ мажмуасини қуриш ва ундан фойдаланиш инсонларнинг ҳаёт сифатини ошириш мақсадида сув ресурсларини бошқариш учун амалга оширилади.

Хулосалар

1. Энергия таъминоти харажатлари ва насос станциялари инфратузилмасига инвестицияларнинг фойдасини баҳолаш насос станцияларининг техник ҳолатини замонавия инновацион технологияларни қўллаб башорат қилишни ҳисобга олган ҳолда амалга оширилади.

2. Насос агрегатларининг режимларини бошқариш ва энергия таъминоти «Давсувхўжаликназорат» инспекцияси вакили ва меъёрий ҳужжатларни ҳисобга олган ҳолда, сунъий интеллект востиаларида амалга оширилади.

Фойдаланилган манбалар рўйхати

1. Waide P, Brunner CU. Energy-efficiency policy opportunities for electric motor-driven systems international energy agency energy efficiency series; 2011.

2.О.Я. Гловацкий,,А.С.Газарян,,Ж.И.Рашидов, ,Б. Хамдамов. Повышение эффективности эксплуатации и безопасности насосных станций. Научно-практический журнал. Выпуск № 1(81) 2021. Новочеркасск.

3.Мажидов Т.Ш., Азимов А.И., Гловацкий О.Я. Новые методы управления потоком в аванкамерах насосных станций // Республика илмий-техник анжумани материаллари мавзусидаги «Суғориладиган ерларнинг мелиоратив ҳолатини яхшилаш ва сув ресурсларидан самарали фойдаланиш муаммолари», -Т. 2015. -278-282 с.

KICHIK DARYO VA IRRIGATSIYA KANALLARI UCHUN ERKIN OQIMLI MIKRO GESLARNI ISHLAB CHIQISH VA ULARNING ENERGETIK KO‘RSATKICHLARINI HISOBLASH

M.M. Muxammadiyev., K.S. Djurayev., S.K. Gadayev., D.A. Mamatkulov.
Toshkent davlat texnika universiteti

Jahonda neft, gaz va ko‘mir kabi uglevodorodli yoqilg‘ilaridan elektr energiyasi va issiqlik energiyasi ishlab chiqarish atrof-muhitni ifloslanishiga hamda tabiiy yoqilg‘i zahirasining keskin kamayishiga olib keladi. Bu esa o‘z navbatida Respublikamiz chekka hududlaridagi lokal iste’molchilarning energiya ta’minoti tizimida qayta tiklanadigan energiya manbalari qurilmalaridan foydalanish imkoniyatlarini kengaytirish, jumladan, kichik daryo va irrigatsiya kanallariga moslashtirilgan mikrogidroelektr stansiyalarni ishlab chiqish bo‘yicha keng qamrovli ishlarni amalga oshirish imkoniyatini yaratadi.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021 yil 9 apreldagi “O‘zbekiston Respublikasida qayta tiklanuvchi va vodorod energetikasini rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-5063-son, 2022 yil 2 dekabrdagi “2030 yilgacha O‘zbekiston Respublikasining “yashil” iqtisodiyotga o‘tishiga qaratilgan islohotlar samaradorligini oshirish bo‘yicha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi PQ-436-son, 2023 yil 16 fevraldagi “Qayta tiklanuvchi energiya manbalarini va energiya tejovchi texnologiyalarni joriy etishni jadallashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-57-son, 2025 yil 28 martdagi “Respublika hududlarida mikro gidroelektr stansiyalari tarmog‘ini rivojlantirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi PQ-129-son qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me’yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalar belgilab berilgan.[1,6,7].

Mazkur vazifalarni amalga oshirish, jumladan, past bosimli suv oqimlarida moslashtirilgan samarador mikrogidroelektr stansiyalarni yaratishning ilmiy-texnik yechimlarini ishlab chiqish muhim ahamiyat kasb etmoqda.

Bu vazifalarni hal etish uchun davlatimiz katta moliyaviy mablag‘lar ajratmoqda. Xususan, investitsiya loyihalari ro‘yxatiga 42 ta yangi suv xo‘jaligi obyektini qurish va 32 ta mavjud obyektni modernizatsiya qilish kiradi.

Kichik gidroenergetikaning muhim afzalligi shundaki, obyektlarni elektr uzatish liniyalarini tortish qiyin va qimmat bo‘lgan chekka joylarga o‘rnatish mumkin. Bunday qurilmalar elektr energiyasini uzluksiz yetkazib berish, yangi korxonalar ochish, fermer xo‘jaliklari ishini yaxshilash va odamlarning turmush sifatini oshirish imkonini beradi.[2,3,4,8,9].

Erkin oqimli mikroGESlar, ayniqsa, elektr uzatish tarmoqlaridan uzoqda joylashgan kam quvvatli iste’molchilarni elektr energiyasi bilan ta’minlash muammosini, boshqa yechimlarga qaraganda, ancha tejamkor hal etish imkonini beradi.

Erkin oqimli mikroGESlar uchun oqim va qurilma napori, suv oqimi va qurilma quvvati, gidroagregatning FIK quyidagicha aniqlanadi.[2,3,4,10,11].

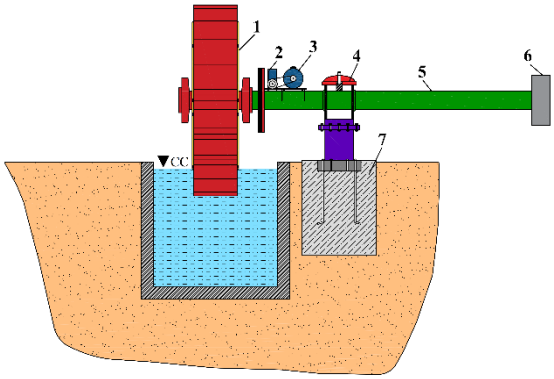
Daryo yoki kanaldagi suv erkin oqim napori:

$$N_{okim} = \frac{\alpha_{okim} \cdot \vartheta_{okim}^2}{2 \cdot g}, \text{ [m]} \quad (1)$$

Bunda, α_{okim} – daryo yoki kanaldagi suv oqimi kinetik energiyasi koeffitsenti yoki Koriolis koeffitsenti; ϑ_{okim} – daryo yoki kanaldagi suv oqimi tezligi.

Erkin oqimli mikroGES napori quyidagicha aniqlanadi:

$$N_{EOMGES} = \frac{\alpha_{EOMGES} \cdot \vartheta_{EOMGES}^2}{2 \cdot g}, \text{ [m]} \quad (2)$$



1-rasm. Erkin oqimli mikroGES sxemasi
▼SS – daryo yoki kanaldagi suv sathi;1 – ishchi g‘ildirak; 2 – reduktor; 3 – generator;
4 – ishchi g‘ildirakni suvga tushirib-ko‘tarish moslamasi; 5 – val; 6 – muvozanatlovchi;
7 - ishchi g‘ildirakni suvga tushirib-ko‘tarish moslamasining betonli tayanchi.

bu yerda, α_{EOMGES} – mikroGES orqali o‘tayotgan suv oqimi kinetik energiyasi koeffitsenti yoki Koriolis koeffitsiyenti; ϑ_{EOMGES} – mikroGES orqali o‘tayotgan suv oqimi tezligi.[2,3,4,10,11].

Erkin oqimli mikroGES o‘rnatiladigan nuqtadagi suv oqimi quvvati:

$$N_{okim} = 9{,}81 \cdot Q_{okim} \cdot H_{okim} = \frac{\rho \cdot g \cdot S_{okim} \cdot \vartheta_{okim} \cdot \frac{\vartheta_{okim}^2}{2g}}{1000} =$$

$$= \frac{\rho \cdot S_{okim} \cdot \frac{\vartheta_{okim}^3}{2}}{1000} = 0{,}5 \cdot S_{okim} \cdot \vartheta_{okim}^3, \text{ [kW]} \quad (3)$$

bu yerda, S_{okim} – erkin oqimli mikroGES o‘rnatiladigan nuqtadagi daryo yoki kanal ko‘ndalang kesim yuzasi; ρ – suv zichligi, ρ = 1000 kg/m^3.

Erkin oqimli mikroGESning to‘liq quvvati [10, 11]:

$$N_{to'l.EOMGES} = 9{,}81 \cdot Q_{EOMGES} \cdot H_{EOMGES} = \frac{\rho \cdot g \cdot S_{kurak} \cdot \vartheta_{EOMGES} \cdot \frac{\vartheta^2_{EOMGES}}{2g}}{1000} = \frac{\rho \cdot S_{kurak} \cdot \frac{\vartheta^3_{EOMGES}}{2}}{1000} = 0{,}5 \cdot S_{kurak} \cdot \vartheta^3_{EOMGES}, \text{[kW]} \quad (4)$$

bu yerda S_{kurak} – erkin oqimli mikroGES ishchi g‘ildiragi kurakchasi yuzasi.

Erkin oqimli mikroGES quvvati: [8,9,10,11].

$$N_{EOMGES} = 0{,}5 \cdot S_{kurak} \cdot \vartheta^3_{EOMGES} \cdot \eta_{ga}, \text{ [kW]} \quad (5)$$

bu yerda η_{ga} – erkin oqimli mikroGES gidroagregati FIK, u quydagi tenglik orqali aniqlanadi:

$$\eta_{ga} = \eta_{tur} \cdot \eta_{gen} \quad (6)$$

η_{tur} – erkin oqimli mikroGES gidroturbinasi FIK, η_{tur} = (30÷55) %;

η_{gen} – erkin oqimli mikroGES generatori FIK, η_{gen} = (95÷97) %.

Xulosa. Hozirgi kunda gidroenergetika boshqa energiya manbalariga nisbatan ekologik jihatdan xavfsiz va tejamkor hisoblanadi. Mikro GESlar qurilishi tabiiy landshaft va atrof-muhitga zarar yetkazmaydi, jumladan, quruqlikdagi va suvdagi hayvonot olamining yashash sharoitlariga ta’sir qilmaydi, suv esa o‘z sifatini to‘liq saqlab qoladi.

Taklif etilayotgan erkin oqimli mikro GES konstruksiyasi O‘zbekistonning kichik suv oqimlari sharoitlariga to‘la mos keladi. Konstruksiyasining soddaligi va undan foydalanishning osonligi uni butun mamlakat hududida, ayniqsa, chekka va qishloq joylarida joriy etishni tavsiya qilish imkonini beradi.

ADABIYOTLAR:

1. Указа Президента Республики Узбекистан от 8 апреля 2022 года № УП-101 «Об очередных реформах по созданию условий для стабильного экономического роста путем улучшения предпринимательской среды и развития частного сектора».

2. Гетманов В.Н. Индивидуальная энергоустановка мощностью 1 кВт на основе бесплотинной микроГЭС. Изд. Президиума СО РАН, Новосибирск, 51-54 (2001).

3. Пинегин В.Н. Турбина Банки и ее теоретический коэффициент полезного действия. http://cuberleninka.ru/article/turbina.

4. Патент IAP N 03639 «Свободнопоточной микроГЭС»/ Мухаммадиев М. М., Уришев Б.У., и др., // 14.10.2004.

5. Гидроэлектростанции, построенные по проектам АО «Гидропроект». АО «Гидропроект». Проверено 16 января 2018.

6. Концепция развития гидроэнергетической отрасли Республики Узбекистан на долгосрочную перспективу до 2029 года. — АО «Узбекгидроэнерго». 14.X1.2018 г.

7. Масштабная созидательная работа: вчера и сегодня. Узбекгидроэнерго. Проверено 18 апреля 2018.

8. М.М. Мухаммадиев, С.К. Гадаев. МикроГЭС с турбиной Банки для использования гидропотенциала в каналах. Журнал «Проблемы энерго и ресурсосбережения», Спец. выпуск, №4, Ташкент-2023. 384-390 с.

9. Мухаммадиев М., Гадаев С.,Файзиев А., Илавиддинов Х.. Об использовании гидроэнергетического потенциала гидротехнических сооружений. AGRO ILM Agrar- iqtisodiy ilmiy-amaliy jurnal. 4-сон. Тошкент-2022. 50-52 б.

10. Muxammadiyev.M.M., Gadayev S.K., Djurayev K.S., Jurayev S.R,. Mikrogidroelektr stantsiya energo-iqtisodiy ko’rsatkichlarini aniqlash dasturi. № DGU 33472, 14.02.2024 y.

11. Muxammadiyev.M.M., Gadayev S.K., Djurayev K.S., Jurayev S.R., Mambetov A.K. Ochiq o'zanlar suv oqimida ishlovchi mikrogidroelektr stantsiya parameterlarini aniqlash dasturi. № DGU 33791, 19.02.2024 y.
12. http://www.miniges.com

СОЛНЕЧНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕСНЕНИЯ ВОДЫ С ПАРАБОЛОЦИЛИНДРИЧЕСКИМ КОНЦЕНТРАТОРОМ

доц. А.А. Вардияшвили., Хатамов И.А. , проф.А.А.Вардияшвили
Каршинский государственный университет
vardi41@mail.ru

Известно, что население ряда районов мира и республик Центральной Азии испытывает острый дефицит пресной воды, и в то же время там имеются значительные запасы соленых вод непригодных для питья.

Дефицит пресной воды ощущается на территории более 40 стран, расположенных главным образом в аридных, а также засушливых, составляющих около 60 % всей поверхности земной суши, и, по расчётам, к началу 21 века достиг 120-150 10^9 m^3 в год. Этот дефицит может быть покрыт опреснением солёных (солесодержание более 10 г/л) и солоноватых (2-10 г/л) океанических, морских и подземных вод [1. 2].

Стремление увеличить производительность опреснителей привело к созданию многоступенчатых систем. В них теплота конденсации пара многократно используется для выпаривания рассолов с отдельных цистерн и резервуаров. У нас и за рубежом ведутся исследования по отысканию как конструкционных материалов, снижающих стоимость опреснения, так и способов, повышающих эффективность процесса гелио опреснения [1.2.3].

Приведенный анализ по экономике солнечного опреснения указывает на отсутствие единого подхода при определении себестоимости дистиллята. Сопоставления экономических показателей солнечного опреснения с показателями других способов вод опреснения, приведенные в работах, подтвердили экономические преимущества солнечного опреснения перед такими наиболее распространенными способами, как мгновенное вскипание, многоступенчатая выпарка и парокомпрессионная дистилляция в тех сходных случаях, когда производительность установок небольшая.

Расчеты показали, что солнечное опреснение экономически выгоднее доставки пресной воды авто водовозами в местах: а) где минерализация исходной воды 10 г/л и источник пресной воды находится на расстоянии более 35 км; б) где минерализация исходной воды доходит 40 г/л и расстояние от пресного источника больше 45 км. Таким образом, из многочисленных рассмотренных регенеративных солнечных опреснителей наиболее рациональным является опреснитель, состоящий из солнечнопарового котла с параболоцилиндрическим концентратором, работающим в блоке с опреснительной установкой с параллельным питанием[2.3].

Недостатком пресной воды, ее неравномерным распределением на земном шаре и определяется водный кризис – одна из важнейших проблем человечества. Оказывается, что 94 % воды земного шара - это соленая вода морей и океанов, ее пить нельзя, 1,6 % - «законсервировано» в ледниках и лишь 4,4 % всех водных запасов представляет собой пресную воду рек и озер. Может быть, людям и хватило бы этих 4,4 % пресной воды, но природа распределила ее по земному шару крайне неравномерно.

Опреснение воды для засушливых регионов является важной задачей. Количество солнечной энергии, которое может быть использовано для опреснения воды, достигает здесь значительной

величины. Например, для г. Карши эта цифра составляет в среднем в год $7420 \cdot 10^3 кДж/м^2$ приемника солнечной энергии, расположенного перпендикулярно к солнечным лучам. Показано, что для некоторых районов Средней Азии опреснение воды с использованием солнечной энергии более рентабельно, чем опреснение на базе привозного топлива [1].

В работе рассмотрены, проанализированы методы опреснения минерализованных вод с использованием солнечной энергии в установках типа «горячего ящика» и в установках с концентраторами, приводятся принцип действия и результаты испытания опытного образца солнечного опреснителя-кипятильника с параболоцилиндрическом отражателем и оценочным теплотехническим расчетам а также анализ различных конструктивных схем и сопоставление производительности и КПД гелио опреснительных установок и пути повышения тепло-и массообменных процессов в них при испарении и конденсации, а также расход теплоты и энергии на получения 1м^3 дистиллята.

Учитывая эти соображения, нами изготовлен опытной образец солнечного опреснителя-кипятильника с параболо-цилиндрическим отражателем производительностью 6,5-7,4 л/день дистиллята и 80-100 л/день горячей воды с температурой 80°С, принцип действия которой представлен на рис.1.

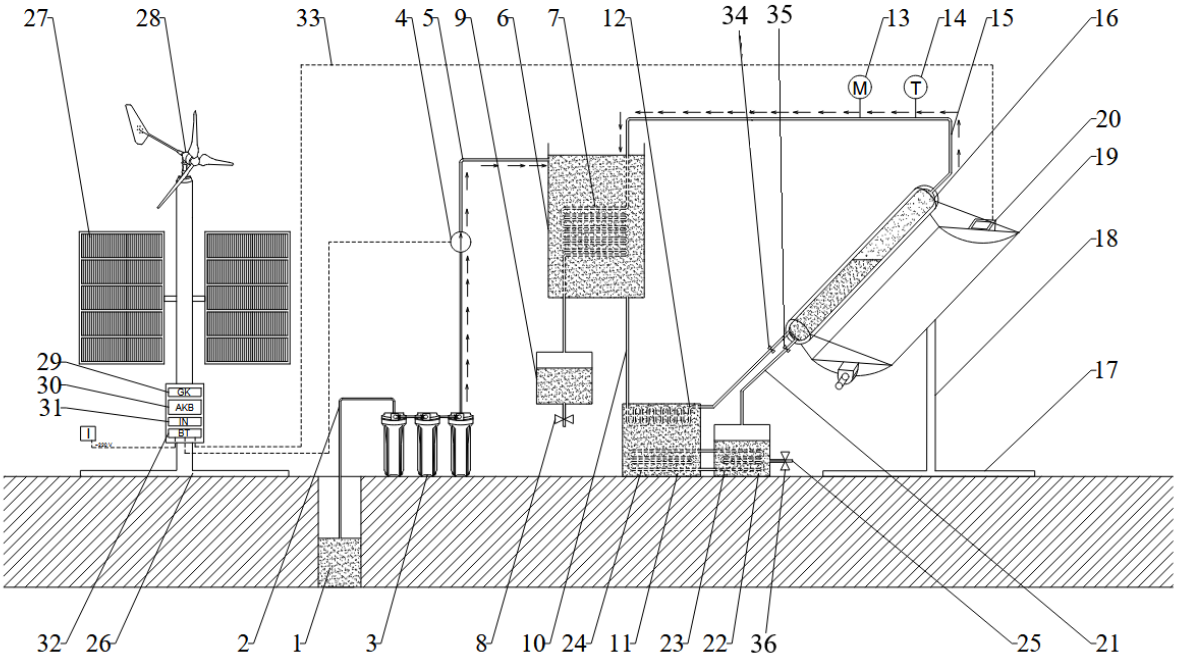


рис.1.
Схема Солнечное устройство для опреснения воды с параболоцилиндрическим концентратором.

Создание солнечной опреснительной установки с параболоцилиндрическим концентратором, адаптированной к изменяющимся климатическим условиям.

солнечная опреснительная установка с параболоцилиндрическим концентратором, артезианская водяная скважина (1), водяная труба (2), один конец которой опущен в артезианскую водяную скважину (1), другой конец соединен с трехступенчатыми фильтрами механической

очистки воды (3), которые через водяную трубу (5) установлены на насосе (4), соединенном с водяным баком (6), в водяном баке (6) установлен трубчатый охлаждающий конденсатор (7), один конец которого соединен с дистилляционным баком (9), в нижней части которого установлен вентиль (8), а другой конец соединен через паропровод (15) с вакуумным гелиотепловым реактором (16), вакуумный гелиотепловой реактор (16) снабжен параболоцилиндрическим солнечным концентратором (19), концентратор снабжен датчиком (20) слежения за движением солнца и установлен на металлическом основании (17) и металлической опоре (18), при этом насос (4) и солнечный концентратор (19) подключены по кабелям (33) к солнечным фотопанелям (27), установленным на опоре (26) для питания электрическим током, солнечные фотопанели (27) снабжены контроллером зарядки и разрядки (29), аккумуляторной батареей (30), однофазным инвертором (31) и системой управления (32). Водяной бак (6) дополнительно соединен через водопровод (10) с одним концом рекуперативной теплообменной трубы (12), помещенной в теплоаккумулятор (11) фазового перехода, другой конец которой соединен с вентилем (34), подключаемым к вакуумному гелиотепловому реактору (16), внутри теплоаккумулятора (11) фазового перехода установлена дополнительная спиральная теплообменная труба (24), которая на основе замкнутого контура соединена со спиральной теплообменной трубой (23), расположенной в солевом осадочном баке (22), солевой осадочный бак (22) соединен с вакуумным гелиотепловым реактором (16) через трубу (21), в которой установлен вентиль (35) и снабжен трубой (25), в которой установлен вентиль (36) для слива солевого осадка, на опоре (26) дополнительно установлена ветроэнергетическая установка (28), а паропровод (15) снабжен манометром (13) и термометром (14).

Предлагаемый Солнечное устройство для опреснения воды с параболоцилиндрическим концентратором способен производить в среднем 8–10 л чистой питьевой воды в день, что обеспечивает на 55–70% более высокую эффективность по сравнению с традиционными солнечными водоочистителями.

В результате использования солнечной энергии потребление природного топлива снижается почти на 100%, а благодаря сокращению выбросов вредных газов (CO_2, NO_x, SO_2) в атмосферу на 75–90%, уровень обеспечения населения чистой питьевой водой повышается на 40–50% в зависимости от условий региона, и создается возможность обеспечения потребителей чистой питьевой водой.

Список литературы:

1. Вардияшвили Асф.А. Теплофизика испарения и конденсации в гелиоопреснителе с термодинамическим контуром.//Между. науч.журнал. Наука Образование Техника. Кыргызия.г.Ош-2009 г. с.71-73.
2. Безруких П.П., Арбузов Ю.Д., Борисов Г.А. и др. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России/СПб.: Наука, 2002. -314 с.
3. Д.М. Щеголев. Паровой котел солнечной теплосиловой станции. Теплоэнергетика, вып.-1 . М., Изд-во Ан СССР, 1959.
4. Горшенов В.Г. и др. Гелиоопреснительная установка индивидуального пользования // Теплоэнергетика. –М.: №2. 2001. –С. 14-16.

5. Узаков Г.Н., Вардияшвили Ас.А.,Вардияшвили Аф.А., Хатамов И.А. Солнечное устройство для опреснения воды с параболоцилиндрическим концентратором. Патент на полезную модель. № UZ FAP 2947. 04.12.2025г.

SUG‘ORISH NASOS STANSIYALARINING ENERGIYA SAMARADORLIGINI OSHIRISH

Panayev Dilshod Uroq o‘g‘li
Qarshi davlat universiteti, Sanoat muhandisligi kafedrasi o‘qituvchisi
E-mail: dilshodpanayev@gmail.com

Sug‘orish nasos stansiyalari O‘zbekiston elektr energetikasidagi eng yirik iste’molchilardan biridir. Sug‘oriladigan yerlarning qariyb 2,4 mln gektari, ya’ni 56 foizi suvni nasoslar orqali oladi. 1700 ga yaqin stansiya yiliga 7,2 mlrd kVt·soat atrofida, ya’ni mamlakat elektr iste’molining 16 foizini sarflaydi [1].

Rasmiy ma’lumotga ko‘ra, 2024-yilda 1698 ta stansiya 6,8 mlrd kVt·soat sarflab, 32,5 mlrd m³ suv yetkazib bergan [2]. Bundan o‘rtacha solishtirma sarf 209 kVt·soat/1000 m³ ekani kelib chiqadi. 2017-yilda bu sohada 8,3 mlrd kVt·soat sarflangan, 2025-yil yakuni bo‘yicha 6,4 mlrd kVt·soat kutilgan [3].

Sohani modernizatsiya qilish suv xo‘jaligini rivojlantirishning 2020–2030-yillarga mo‘ljallangan konsepsiyasida ustuvor vazifa sifatida belgilangan [4]. 2025-yilda stansiyalarga 135 ta chastota o‘zgartirgich o‘rnatilgan, 2026-yilga yana 84 ta rejalashtirilgan [3]. Demak, chastotali boshqarish amalda ommaviy joriy etilmoqda.

Biroq chastotali boshqarishning samarasi tizimning statik naporiga kuchli bog‘liq. Sug‘orish stansiyalari suvni asosan geodezik balandlikka ko‘taradi, shuning uchun ularda statik napor ulushi suv ta’minoti tizimlaridagidan ancha yuqori. Bu holda o‘xshashlik qonunlaridan kutiladigan «kub qonuni» tejamkorligi to‘liq amalga oshmaydi.

Tadqiqotning maqsadi: sug‘orish nasos agregatida chastotali boshqarishning energetik samarasini statik napor ulushiga bog‘liq holda miqdoriy baholash. Buning uchun quyidagi vazifalar hal etildi:

1. Drossellash va chastotali boshqarish rejimlari uchun iste’mol quvvatining hisobiy modeli tuzildi.
2. Namunaviy agregat uchun vegetatsiya mavsumidagi elektr sarfi va solishtirma sarf hisoblandi.
3. Tejashning statik napor ulushiga bog‘liqligi aniqlandi.
4. Chastota o‘zgartirgichni qo‘llashning iqtisodiy sharti shakllantirildi.

Tadqiqot hisobiy-analitik usulda bajarildi. Obyekt sifatida yirik sug‘orish stansiyalariga xos ikki tomonlama kirishli markazdan qochma nasos agregati olindi. Boshlang‘ich ma’lumotlar 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval. Hisob uchun boshlang‘ich ma’lumotlar

Ko‘rsatkich	Belgi	Qiymat
Nominal sarf	Q_n	3200 m³/soat (0,889 m³/s)
Nominal napor	H_n	75 m
Nol sarfdagi napor	H_0	92 m
Statik napor (asosiy variant)	H_{st}	45 m (0,6 H_n)
Nasosning maksimal FIK	η_{max}	0,86
Elektr dvigatel FIK	η_d	0,95
Chastota o‘zgartirgich FIK	η_{ch}	0,97

Ko‘rsatkich	Belgi	Qiymat
Mavsumdagi ish vaqti	T	4300 soat
Elektr energiyasi tarifi [5]	c	1100 so‘m/kVt·soat

Nasosning napor tavsifi va quvur tarmog‘ining tavsifi kvadratik bog‘lanish bilan ifodalandi:

$$H_{nas}(Q) = H_0 - S_f Q^2, \qquad S_f = \frac{H_0 - H_n}{Q_n^2} \tag{1}$$

$$H_t(Q) = H_{st} + S_t Q^2, \qquad S_t = \frac{H_n - H_{st}}{Q_n^2} \tag{2}$$

Nasos FIKning nisbiy sarf $q = Q/Q_n$ ga bog‘liqligi parabola bilan approksimatsiya qilindi:

$$\eta(q) = \eta_{max}[1 - (1 - q)^2] \tag{3}$$

Drossellashda nasos nominal chastotada ishlaydi, ortiqcha napor zadvijkada so‘ndiriladi. Tarmoqdan olinadigan quvvat:

$$P_{dr} = \frac{\rho g Q H_{nas}(Q)}{\eta(q)\eta_d} \tag{4}$$

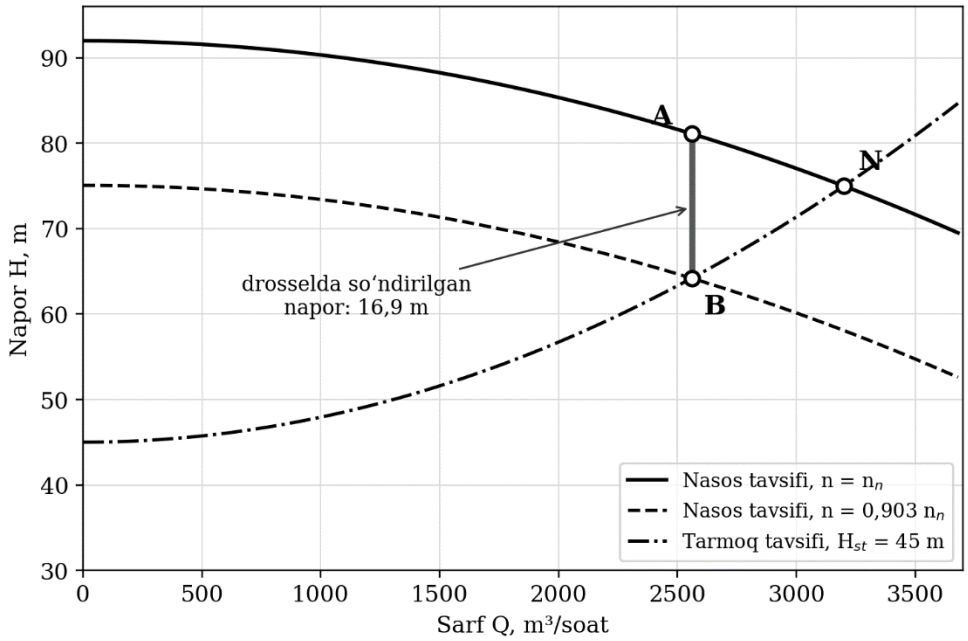
Chastotali boshqarishda ish nuqtasi tarmoq tavsifi ustida yotadi. O‘xshashlik qonunlariga ko‘ra sarf nisbiy chastota $n^* = n/n_n$ ga, napor uning kvadratiga proporsional [10, 11]. Talab qilingan sarfni ta’minlaydigan nisbiy chastota (1) va (2) dan topiladi:

$$n^* = \sqrt{\frac{H_{st} + (S_t + S_f)Q^2}{H_0}} \tag{5}$$

Bu rejimda FIK o‘xshash nuqta q/n^* bo‘yicha aniqlanadi, quvvat esa quyidagicha:

$$P_{ch} = \frac{\rho g Q H_t(Q)}{\eta(q/n^*)\eta_d \eta_{ch}} \tag{6}$$

Ikki usulning ish nuqtalari $Q = 0{,}8Q_n$ rejimi misolida 1-rasmda ko‘rsatilgan. Drossellashda nasos A nuqtada ishlaydi va 16,9 m napor zadvijkada so‘ndiriladi. Chastotali boshqarishda ish nuqtasi tarmoq tavsifidagi B nuqtaga ko‘chadi.



1-rasm. Nasos va quvur tarmog‘i tavsiflari hamda $Q = 0{,}8Q_n$ rejimidagi ish nuqtalari: N — nominal rejim, A — drossellash, B — chastotali boshqarish

Solishtirma sarf (kVt·soat/1000 m³; P kVt da, Q m³/soat da), mavsumiy sarf va tejash quyidagicha hisoblandi, bu yerda τ_i — i-rejimning mavsumdagi ulushi:

$$e = \frac{1000P}{Q}, \qquad W = T\sum_i \tau_i P_i, \qquad \delta = \frac{W_{dr} - W_{ch}}{W_{dr}} \tag{7}$$

Oddiy qoplanish muddati kapital xarajat K orqali aniqlanadi:

$$T_q = \frac{K}{c(W_{dr} - W_{ch})} \tag{8}$$

Vegetatsiya davridagi yuklama grafigi besh pog‘ona bilan berildi: q = 1,0 da 20 %, 0,9 da 25 %, 0,8 da 25 %, 0,7 da 20 % va 0,6 da 10 % vaqt. To‘la yuklamada agregat tarmoqqa to‘g‘ridan-to‘g‘ri (baypas orqali) ulanadi deb qabul qilindi.

Modelda uchta soddalashtirish qabul qilingan. Chastota pasayganda FIKning qo‘shimcha kamayishi hisobga olinmadi. Dvigatel va o‘zgartirgich FIK yuklamaga bog‘liq emas deb olindi. Suv zichligi 1000 kg/m³ qabul qilindi.

Olingan 16,8 foizlik tejash [6] da beshta stansiya uchun keltirilgan 16,5–35,4 foiz oralig‘ining quyi chegarasiga to‘g‘ri keladi. Bu tabiiy, chunki asosiy variantda statik napor ulushi yuqori (0,6) olingan. Ulush 0,2 bo‘lganda model 27,9 foiz beradi va shu oraliqning o‘rtasiga tushadi.

Asosiy natija shuki, chastotali boshqarishning samarasini stansiyaning statik napor ulushi belgilaydi. Ulush 0,8 dan yuqori bo‘lsa, tejash 11 foizdan oshmaydi. Bunday stansiyalarda avval boshqa choralarni ko‘rib chiqish o‘rinli: ishchi g‘ildirakni qirqish, ishlayotgan agregatlar sonini o‘zgartirish, yeyilgan nasoslarni ta’mirlash yoki almashtirish [5, 6].

To‘la yuklamada chastota o‘zgartirgich foyda bermaydi, aksincha iste’molni 3,1 foizga oshiradi. Shu sababli sxemada baypas ko‘zda tutilishi shart. Mavsumning katta qismida to‘la quvvatda ishlaydigan agregatga o‘zgartirgich o‘rnatish o‘zini oqlamaydi.

Iqtisodiy shart (8) formuladan kelib chiqadi. Qoplanish muddati 5 yildan oshmasligi uchun kapital xarajat besh mavsumlik tejashdan kichik bo‘lishi kerak. 1100 so‘m/kVt·soat tarifda [5] bu chegara statik napor ulushi 0,2 da 4,84 mlrd so‘m, 0,6 da 2,90 mlrd so‘m, 0,9 da 1,36 mlrd so‘mni tashkil etadi. 800 kVt quvvatli yuqori kuchlanishli o‘zgartirgichning haqiqiy narxi yetkazib beruvchi taklifidan olinishi lozim.

Tadqiqotning cheklovlari quyidagicha:

- Natijalar hisobiy model bo‘yicha olingan, dala o‘lchovlari bilan tasdiqlanmagan.
- Taqqoslash asosi sifatida drossellash olingan. Rostlash agregatlar sonini o‘zgartirish orqali bajariladigan stansiyalarda tejash kichikroq chiqadi.
- Past chastotada nasos, dvigatel va o‘zgartirgich FIKning qo‘shimcha pasayishi hisobga olinmagan, shuning uchun real tejash hisobiydan biroz kam bo‘lishi mumkin.
- Suvning loyqaligi, kavitatsiya zaxirasi va minimal ruxsat etilgan chastota cheklovlari ko‘rilmagan.

Keyingi bosqichda modelni aniq stansiyaning pasport tavsiflari va o‘lchangan yuklama grafigi bilan tekshirish zarur. Buning uchun [6] da tavsiflangan onlayn monitoring ma’lumotlaridan foydalanish mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. World Bank. Uzbekistan to Modernize Its Irrigation Infrastructure with World Bank Support. Press release No. 2025/ECA/103, 21.05.2025. URL: https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2025/05/21/uzbekistan-to-modernize-its-irrigation-infrastructure-with-world-bank-support
2. Glovatskiy O., Ergashev R., Rashidov J., Nasyrova N., Kholbutaev B. Experimental and theoretical studies of pumps of irrigation pumping stations // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 263. 02030. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126302030

3. Kan E., Mukhammadiev M., Ikramov N. Methods of regulating the work of units at irrigation pumping stations // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 869. 042009. https://doi.org/10.1088/1757-899X/869/4/042009
4. Камалов Т. С. Частотно-регулируемый электропривод насосных станций систем машинного орошения. Ташкент: Fan, 2014. 354 с.
5. Shaazizov F. Accounting for the energy efficiency of the operation of pumping equipment in the monitoring system of large pumping stations of the Republic of Uzbekistan // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 410. 05010. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341005010
6. Ikramov N., Kasimov F., Rakhimova M. Energy efficiency monitoring system of operated irrigation pumping stations in Uzbekistan // Journal of Water and Land Development. 2025. No. 64. https://doi.org/10.24425/jwld.2025.153524

ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ КАК ИНСТРУМЕНТ КОМПЛЕКСНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ

Мухаммадиев М.М., Джураев К.С., Жураев С.Р., Гадаев С.К.
Ташкентский государственный технический университет

Сегодня перед странами мира стоят три глобальные, неотложные и жизненно важные проблемы, от решения которых зависит будущее системы жизнеобеспечения в странах.

- экологические проблемы, которые приводят к изменениям климата, загрязнению окружающей среды, дефициту пресной воды и утрате биоразнообразия;

- обеспечение продовольственной безопасности, из-за изменения климата сокращение запасов воды, пригодной для орошения земель, а также происходящие повсеместно деградации почв приводят к снижению урожая продовольственных продуктов и становится все более сложнее прокормить растущее население;

- обеспечение энергетической безопасности путем трансформации энергетики [1]. Человечество начинает все более осознавать губительные действия от сжигания ископаемого топлива, запасы которых из года в год истощаются и в этих условиях перевод энергетики на возобновляемые источники энергии является первоочередной задачей для спасения экономики стран, так как все более отчетливо осознается тот факт, что не далек тот день, когда вовсе запрещается сжигание органического топлива для получения энергии в целях сохранения жизни на планете.

Современные гидроэнергетические комплексы вызваны внести свою лепту в решение всех вышеприведённых проблем, обеспечивая энергией и водой, необходимой для системы жизнеобеспечения.

Международное энергетическое агентство в своем специальном отчете о рынке гидроэнергетики, опубликованном в 2021 году, выдвигает семь приоритетных направлений по ускорению роста гидроэнергетики, адресованных для правительств и политиков [2].

1. Признать гидроэнергетику в качестве одного из основных направлений энергетической и климатической политики.

2. Упорядочение существующих правил и положений по строительству и эксплуатации гидроэнергетических объектов для соблюдения надёжных стандартов устойчивого развития гидроэнергетики и снятия препятствий при привлечении инвесторов.

3. Создание механизмов поощрения развития гидроэнергетики с учётом ее решающей роли в «зелёном» электроснабжении.

4. Повышение энергорегулирующих способностей (высокой маневренности) существующих гидроэлектростанций за счёт создания стимулирующих механизмов для их модернизации в этом направлении.

5. Всемерная поддержка расширения гидроаккумулирующих электростанций.

6. Обеспечение доступного финансирования для устойчивого развития гидроэнергетики в развивающихся странах.

7. Расширение возможности гидроэнергетики путём создания гидроэнергетических комплексов, служащих для использования водных ресурсов параллельно и для других целей (водоснабжение, рыбное хозяйство, рекреация, борьба с наводнениями, техническое водоснабжение и др.), получаемая прибыль при этом должна учитываться при покрытии капитальных затрат на создание общего комплекса.

Гидроэнергетические комплексы (ГЭК) это система хозяйствующих субъектов, осуществляющие свою деятельность на основании использования или потребления водных ресурсов в соответствии с режимами работы своих подведомственных производственных и других объектов с учетом поставленных перед ними задач.

Основными задачами, решаемыми современными ГЭК являются следующие [3]:

а) рациональное и комплексное использование водных ресурсов;

б) аккумулирование водных, в том числе энергетических потенциалов с целью максимального использования имеющихся ресурсов в намеченных целях;

г) комбинированное использование других видов возобновляемых источников энергии вместе с ГЭС с целью аккумулирования воды в верхних водохранилищах и дополнительной выработки энергии.

Участвующими в деятельности ГЭК хозяйствующими субъектами могут быть:

а) организации, занимающиеся водообеспечением различных отраслей экономики для потребления воды (сельское хозяйство, водоснабжения населённых пунктов, промышленных объектов и озеленения жилищных территорий);

б) организации, использующие ресурсы воды с возвратом почти всего объёма воды (энергетические предприятия, объекты рыбного хозяйство, водного транспорта, рекреации, туризма, спорта);

в) организации, осуществляющие регулирования стока воды для борьбы с наводнениями.

В сегодняшний день энергетика Республики Узбекистан претерпевает значительные изменения, вызванные необходимостью обеспечения дальнейшего сбалансированного развития с учётом передового опыта и современных тенденций в мировой электроэнергетике.

За последние годы гидроэнергетическая отрасль Республики ускоренно, динамично развивалась. Количество гидроэлектростанций выросло с 36 в 2017 году до 100 к 2025 году, а их установленная мощность увеличилась с 1,6 ГВт до 2,4 ГВт, т.е. в полтора раза. Планы на среднесрочную перспективу выглядят еще более масштабно. 01 мая 2026 году принято Постановление Президента Республики Узбекистан ПП-163 «О неотложных мерах по дальнейшему развитию гидроэнергетической сферы» [4]. Согласно данному документу намечается повышение гидроэнергетических мощностей в 2,4 раза путем создания 3 266 МВт дополнительных мощностей в гидроэнергетической сфере, с этой целью предусмотрена реализация 73 проектов общей стоимостью 5,8 млрд. долларов. Уже в 2026-м намечен ввод 13 ГЭС суммарной мощностью 113,6 мегаватт с выработкой 537 миллионов кВт/час. Для повышения системной эффективности энергосистемы данным постановлением предусмотрена строительство трех ГАЭС с общей мощностью 1400 МВт.

При этом нельзя не отмечать проблему при использовании водных ресурсов.

Функционирование электроэнергетических систем (ЭЭС) и водохозяйственных систем (ВХС) Узбекистана имеет разновременный и разноцелевый характер, что зачастую отрицательно сказывается при изменениях режима работы то или иной системы.

Решение данной проблемы применительно к гидроэнергетическим и гидротехническим объектам требует создания гидроэнергетических комплексов (ГЭК) на естественных и искусственных водотоках, водохранилищах различного назначения и гидротехнических узлах, эксплуатируемые по четко составленной программе по регулированию резких изменений нагрузок, использованию в качестве аварийного резерва, поддержке частоты напряжения, аккумулированию энергии в нужных интервалах времени в энергосистеме. Основная функция создаваемых ГЭК должна быть не выработка энергии столько, сколько позволяет имеющиеся водные ресурсы, а высокая регулирующая способность, приводящая к надежности и эффективности работы энергосистемы при использовании имеющихся ресурсов.

В настоящее время в разных странах успешно эксплуатируются многие ГЭК, из них можно привести следующие:

- ГЭК в бассейне р. Теннесси (США).
- ГЭК Рейсеек-Крейцек в Австрии.
- ГЭК на р. Парана на территории Парагвая, Аргентины и Бразилии.
- ГЭК Юктан в Швеции.
- ГЭК Клезон – Диксенс в Швейцарии.
- ГЭК Тугутанг (КНР).

Вышеперечисленные ГЭК являются многоцелевыми, однако среди целей имеется главная цель, например, в США 45 % ГЭК имеют главную цель – борьба наводнениями, а в КНР ГЭК Тугутанг в основном предназначен для навигации, т.е. для грузоперевозки водным транспортом.

Для ГЭК Республики Узбекистан поставлены цели исходя из наличия водных ресурсов, климатических, географических особенностей и приоритетных направлений экономики и в них существенно преобладает приоритет использования водных ресурсов в ирригационных целях.

Республика Узбекистан находится в числе стран, наиболее уязвимых к изменению климата. В результате потепления климата наблюдается сокращение запасов льда в бассейнах Амударьи и Сырдарьи, снижение объема речного стока во всех регионах Республики [5].

В этих условиях, а также с учетом интенсивного внедрения возобновляемых источников энергии в ходе выполнения проекта нами выдвигалось новое определение роли ГЭК, включающее в себя обеспечение параллельного, взаимовыгодного, взаимодополняющего функционирования объектов электроэнергетических и водохозяйственных и других систем, действующих под общим «умным» управлением, целью которого является достижение максимума использования имеющихся ресурсов при их сбалансированном, рациональном потреблении с минимизацией всех видов потерь.

В связи с расширением роли ГЭК в их основные задачи, как показывают результаты наших исследований, должны быть внесены следующие дополнительные задачи.

- регулирование, аккумулирование и перераспределение, а также выполнение комплексных мероприятий по сокращению потерь водно-энергетического потенциала естественных и искусственных водотоков с целью эффективного использования имеющихся ресурсов в намеченных целях;
- управление режимами работы ГЭК вместе с водохранилищами и электростанциями на базе ВИЭ, а также перераспределение их мощности, в том числе с аккумулированием части выработанной энергии, с целью обеспечения надежного и прогнозируемого производства энергии в энергосистеме с минимизацией затрат;
- с учетом последствий изменения климата и резких сокращений речного стока создание

компенсирующих энергетических мощностей на базе солнечных и ветровых электрических станций, работающих во взаимодействии с гидравлическими аккумулирующими электростанциями малой мощности, в которых почти исключается потери воды;

- оптимизация режима работы насосных станций переводом их в режим «потребителя-регулятора» в энергосистеме, а также внедрение дифференцированного тарифа за потребляемую насосными станциями энергию.

Литература

1. International Energy Agency (IEA). Water-Energy Nexus: World Energy Outlook Special Report. Paris: IEA, 2016/2017. IEA: Water-Energy Nexus
2. International Energy Agency (IEA). Hydropower Special Market Report: Analysis and Forecast to 2030. Paris: IEA, 2021. IEA: Hydropower Special Market Report
3. International Energy Agency (IEA). Climate Impacts on Latin American Hydropower. Paris: IEA, 2021. IEA: Climate Impacts on Latin American Hydropower
4. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2026 йил 1 майдаги ПҚ–163-сон «Гидроэнергетика соҳасини янада ривожлантириш бўйича кечиктириб бўлмайдиган чора-тадбирлар тўғрисида» қарори. https://www.lex.uz/uz/docs/8168739
5. World Bank. Uzbekistan: Country Climate and Development Report / Water Resources and Climate Change Impacts. Washington, D.C.: World Bank.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ И ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ГЭС ПРИ СРАБОТКЕ ВОДОХРАНИЛИЩА

Мухаммадиев М.М., Джураев К.С., Жураев С.Р., Шадибекова Ф.Т.
Ташкентский государственный технический университет

Основные параметры ГЭС являются величинами изменяющимися. Изменение каждого из этих параметров влияет на энергетические и экономические показатели ГЭС. Поэтому важным вопросом является выбор наиболее приемлемых параметров, которые отвечали бы критериям минимума затрат и максимума вырабатываемой энергии.

Выбор оптимального значения параметров ГЭС необходимо производить путем сравнения вариантов на основе технико-экономических расчетов и всестороннего анализа всех факторов, которые влияют в той или иной степени на конечный результат. Для этой цели необходимо выбрать критерий оптимальности по целевой функции, решение которой определит наилучший вариант компонентов ГЭС [1, 2].

В зависимости от параметров и условий, в которых будет работать проектируемая ГЭС, структура целевой функции будет различной.

В мире для определения эффективности строительства ГЭС часто используют такие экономические индикаторы, как суммарные затраты в течение срока службы ГЭС (LCC), чистая приведенная стоимость (NPV), нормированная стоимость произведенной энергии (LCOE) и срок окупаемости (PP).

LCC (Life Cycle Cost) состоят из суммы капитальных затрат (*CC*), эксплуатационных расходов в течение срока службы (*MC*), затраты на восстановление (*RC*) и остаточной цены, рассчитанной за последний год (*SC*).

При этом критерием оптимальности будет минимум LCC [1]

$$LCC = (CC + MC + EC + RC - SC) \rightarrow min \quad (1)$$

Величина суммарных затрат по ГЭС в значительной степени зависит от выбора ее основных параметров.

Критерием оптимальности режима работы ГЭС является максимум выработанной электроэнергии за определенный период $T=t_1–t_0$ с соблюдением принятых ограничений и условий

$$Э_{ГЭС}(T)=\int_{t_0}^{t_1} N_{ГЭС}\ (t)dt=\int_{t_0}^{t_1} N_{ГЭС}\sum_{i=0}^{n} N_{mi}(t)dt \Rightarrow \max \qquad (2)$$

где N_{mi} – мощность гидротурбины, $i=1,2,3...n$ – число гидротурбин.

При этом ограничениями могут быть ограничения по мощности или по расходу

$$\begin{cases} N_{ГЭСmin} \le N_{ГЭС} \le N_{ГЭСmax} \\ Q_{ГЭСmin} \le Q_{ГЭС} \le Q_{ГЭСmax} \end{cases} \qquad (3)$$

Основными параметрами, определяющими энергетический потенциал ГЭС, схема которой приведена на рис. 1, являются напор и расход водного потока. В этом случае математическую модель режима работы ГЭС можно сформулировать таким образом.

В течение времени от t_1 до t_2, когда срабатывается объем водоема, соответствующий объему между отметками ▼$ВБ_{max}$ и ▼$ВБ_{min}$ требуется найти экстремум функционала

$$Э_{Т}=\int_{t_1}^{t_2} N_{ГЭС}(t)dt \to \max, \qquad (4)$$

1 – верхний бьеф;
2 – затвор;
4 – трансформатор;
3 – генератор;
5 – гидротурбина.

Рис. 1. Схема ГЭС

При этом режим работы ГЭС считаем установившемся, так как он подчиняется работе по графику ▼$ВБ=f(V_B)$. Кроме этого принимаются следующие допущения [3, 4]: потери расхода воды отсутствуют, потери напора $\Delta H=const$, КПД турбины $\eta^{тур}=const$.

В этом случае мощность ГЭС можно определить по формуле

$$N_{ГЭС}(t)=9{,}81\cdot Q_{ГЭС}(t)\cdot H_T(t)\cdot\eta^{тур}=K_1\cdot Q_{ГЭС}(t)\cdot H_T(t), \qquad (5)$$

где $K_1=9{,}81\cdot\eta^{тур}$

Расход ГЭС зависит от времени сработки объема V_B, и в связи с этим его можно определить:

$$Q_{ГЭС}(t)=dV_B(t)/dt, \tag{6}$$

Сработка воды в нижний бьеф с расходом $Q_{ГЭС}(t)$ приводит к изменению объема водохранилища в соответствии со следующим уравнением

$$V_B(t)=V_B^{\max}(\nabla НПУ)-\int_{t_1}^{t_2}Q_{ГЭС}(t)dt\,, \tag{7}$$

Напор ГЭС определяется по известной зависимости

$$H_T(t)=\blacktriangledown ВБ(t)-\blacktriangledown НБ(t)-\Delta H, \tag{8}$$

Подставляя (6) и (8) в (5) получим

$$N_{ГЭС}(t)=K_1\cdot dV_B(t)/dt(\blacktriangledown ВБ(t)-\blacktriangledown НБ(t)-\Delta H), \tag{9}$$

Полученное уравнение является нелинейным дифференциальным уравнением первого порядка по отношению к искомым переменным, а его решение в виде аналитической зависимости $N_{ГЭС}$ от V_B и t невозможно. Поэтому его приведем к следующему виду

$$Э_Т(t)=Э_Т(V_B)=k_1\int_{t_1}^{t_2}N_{ГЭС}(t)dt=k_1\int_{V_B^{\min}}^{V_B^{\max}}H_T(V_B)dV_B\,, \tag{10}$$

Вышеприведенное уравнение (10) показывает, что значение $Э_T(t)$ можно определить в зависимости только от V_B при известных величинах H_T, получаемых от характеристик $H_T=f(V_B)$.

Таким образом, величину $Э_T(t)$, соответствующую на интервал времени $\Delta t=t_i-t_0$ при сработке объема воды ΔV_B можно определить следующим образом

$$Э_Т(t)=Э_Т(V_B)=k_2\sum_{i=1}^{n}(H_T^{t_0}+H_T^{t_i})\Delta V_B\,, \tag{11}$$

где $K_2=K_1/734$, $H_T^{t_0}$ – напор ГЭС в момент t_0 начала сработки объема, $H_T^{t_0}$ – напор ГЭС, соответствующий времени t_i .

При этом мощность ГЭС в отрезке времени Δt имеет величину

$$N_{ГЭС}(t)=Э_T(t)/\Delta t, \tag{12}$$

Расход ГЭС в момент времени t можно определить по зависимости

$$Q_{ГЭС}(t)=N_{ГЭС}(t)/K_1\cdot H_T(t), \tag{13}$$

Обычно, когда водохранилище работает полностью в интересах водохозяйственной системы, значение $Q_{ГЭС}(t)=Q_{ВХС}(t)$ является заранее известной величиной и определяется графиком водовыпуска из сооружения. В этих условиях величину мощности ГЭС в момент времени t можно определить известной формулой

$$N_{ГЭС}(t)=K_1\cdot H_{Tср.вз}\cdot Q_{ГЭС}(t) \tag{14}$$

где $H_{Tср.вз}$ – средневзвешенная величина напора, которую можно получить по следующей зависимости

$$H_{Tср.вз}=\frac{\sum_{i=1}^{n}Q_i\cdot H_{Ti}\cdot t_i}{\sum_{i=1}^{n}Q_i\cdot t_i}\,, \tag{15}$$

где n – количество принятых к вычислению значений Q; t_i – продолжительность выпуска воды с расходом Q_i; H_{Ti} – величина напора в период времени t_i .

Таким образом, величина выработанной энергии гидроэлектрической станцией и ее мощность в момент времени t определяется в зависимости от значений $Q(t)$ и $H(t)$.

Литература

1. P.D. Narale, N.S. Rathore and M.M. Lad. Techno economic assessment of solar photovoltaic water pumping system. International Journal of Agricultural Engineering. Indian Institute of Technology, New Delhi. Volume 7. Issue 1. April, 2014. pp 1-6.
2. М.И. Дворецкая, А.П. Жданова, О.Г. Лушников, И.В. Слива. Возобновляемая энергия. Гидроэлектростанции России. Справочник / Под общей ред. В.В. Берлина. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2018.
3. Елистратов В.В., Кудряшева И.Г. Режимы работы установок и энергокомплексов на основе возобновляемых видов энергии. // – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. – 157 с.
4. Андреев А.Е., Бляшко Я.И., Елистратов В.В., Кубышкин Л.И., Кудряшева И.Г. и др., Гидроэлектростанции малой мощности. Учебное пособие / Под ред. В.В. Елистратова. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007.

SUV O‘TKAZISH INSHOOTLARINING GIDROTEXNIK ZATVORLARIDA MIKROGESLARDAN FOYDALANISHNING YANGI TEXNIK YECHIMLARI

M.M. Muxammadiyev, D.A. Mamatkulov., S.K. Gadayev, A.K. Allamuratov
Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti,
dmamatkulov0985@gmail.com

Respublikamizda iqtisodiyot tarmoqlari kesimida energiya sig‘imdorligini 2030 yilga qadar bir yarim barobarga kamaytirish maqsadida yangi texnologik yechimlarni yaratish va takomillashtirish hamda joriy etishga doir keng ko‘lamli chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. 2022-2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasida, jumladan “Iqtisodiyotni elektr energiyasi bilan uzluksiz ta'minlash hamda “Yashil iqtisodiyot” texnologiyalarini barcha sohalarga faol joriy etish, iqtisodiyotning energiya samaradorligini 20 %ga oshirish” bo‘yicha vazifalari belgilangan. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda, xususan, respublikamiz chekka hududlaridagi lokal iste'molchilarning elektr energiyasi ta'minoti tizimida qayta tiklanadigan energiya manbalari qurilmalaridan foydalanish imkoniyatlarini kengaytirish, jumladan, kichik daryo va irrigasiya kanallaridagi past bosimli suv oqimlarida moslashtirilgan samarador mikrogidroelektr stansiyalarni ishlab chiqish va yaratishga qaratilgan ilmiy-tadqiqot ishlarini olib borish muhim hisoblanadi [1].

Bugungi kunda Respublika suv xo‘jaligi tizimida turli maqsadlarga mo‘ljallangan qariyb 160 mingta gidrotexnik inshoot faoliyat ko‘rsatmoqda, shundan 800 dan ortig‘i yirik gidrotexnik inshootlar hisoblanadi [3]. Ushbu inshootlarning aksariyatida qo‘shimcha gidrotexnik konstruksiyalardan deyarli foydalanmagan holda kichik quvvatli gidroelektr stansiyalarni o‘rnatish imkoniyati mavjud.

Suv oqimining yuqori energetik zichligi, uning energiyasini boshqarish imkoniyati hamda oqim rejimining nisbatan barqarorligi gidroturbinalardan avtonom energetik qurilmalar tarkibida foydalanish uchun zarur shart-sharoitlarni yaratadi. Mavjud gidravlik tizimlarda mikroGESlardan foydalanish amaliyoti suv oqimi energiyasini bevosita mavjud gidrotexnik inshootlarda elektr energiyasiga aylantirish imkoniyatini ko‘rsatadi [2]. Shu bilan birga, rostlanmaydigan gidroyuritmalardan foydalanish kuchlanish va chastotani barqarorlashtirishga nisbatan yuqori talablarni qo‘yadi.

Past naporli mikroGESlarni loyihalash suv obyektini, uning gidravlik xususiyatlarini hamda suv sarfining o‘zgarish diapazonlarini dastlabki o‘rganishni talab etadi. Zatvorlar uchun oqim xususiyatlarini bevosita zatvor tekisligida aniqlash alohida ahamiyatga ega: hisobiy va eksperimental tadqiqotlar tezliklarning notekis taqsimlanishini hamda tezlikning vertikal tashkil etuvchisi mavjudligini ko‘rsatadi [5]. Gidrotexnik inshootlar zatvorlarida mikroGESlarni bevosita joylashtirish alohida amaliy ahamiyat kasb

etadi, chunki bunday joylarda suv sathlari farqi va suvni o‘tkazish uchun tashkil etilgan gidravlik oqim yo‘li allaqachon mavjud [3].

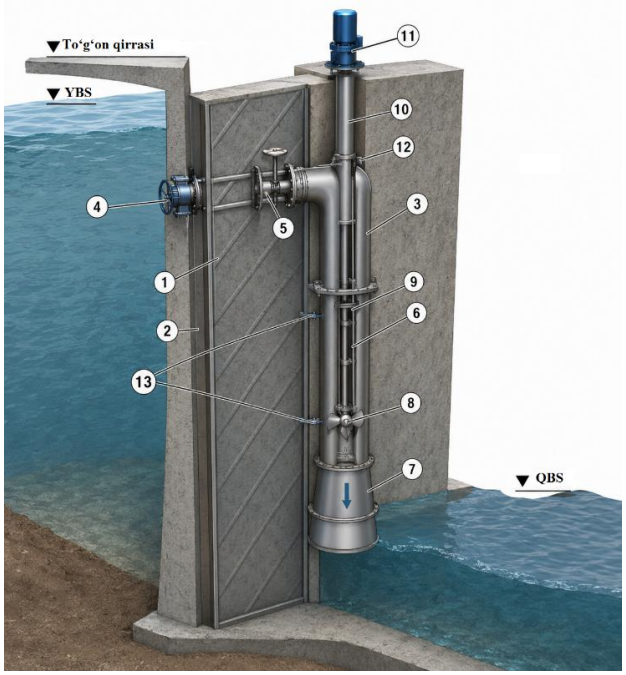
Shu maqsadda mualliflar tomonidan suv xo‘jaligi tizimlari (SXT) resurslaridan yanada oqilona foydalanish imkonini beruvchi gidroenergetik qurilmalar (GEQ) va gidrotexnik zatvorlardan kombinatsiyalashgan holda foydalanishga mo‘ljallangan yangi konstruksiya taklif etilmoqda.

Gidrotexnika obyektlari va gidrotexnik inshootlarning (GTI) funksional imkoniyatlarini kengaytirish ushbu sohada yangi texnik yechimlarni ishlab chiqish asosida texnik qayta jihozlash ishlarini amalga oshirishni, shuningdek, mazkur yechimlardan gidroenergetika majmualarining yangi loyihalashtirilayotgan obyektlarida foydalanishni talab etadi. Ma’lumki, kichik GESlarni qurishda to‘g‘on, suv keltiruvchi quvur, gidroagregatni o‘rnatish uchun maxsus poydevor yaratish bilan bog‘liq bir qator kamchiliklarga ega, bu esa katta kapital xarajatlar va ularni o‘rnatish uchun qulay joylarni talab qiladi.

Suv xo‘jaligi tizimlari obyektlaridan foydalanish sharoitida bu inshootlarning barchasini yassi zatvor turidagi bitta suv to‘suvchi inshoot bilan almashtirish mumkin. Taklif etilayotgan texnik yechim vazifasi konstruksiyani soddalashtirish, kapital xarajatlarni kamaytirish va qo‘shimcha ekologik toza elektr energiyasini ishlab chiqarishdan iborat.

Qo‘yilgan vazifa quyidagicha hal etiladi: suvni to‘suvchi inshootni (STI) o‘z ichiga olgan mikroGESda mazkur inshootning quyi b’ef tomonida vertikal valga o‘rnatilgan gidroturbina va generator, shuningdek, suv keltiruvchi va suv chiqaruvchi quvurlar mavjud bo‘lib, suvni to‘suvchi inshoot sifatida yassi zatvor qo‘llaniladi. Zatvorning yuqori qismida teshik hosil qilingan bo‘lib, ushbu teshikka suv qabul qilgich, chiqindi ushlovchi panjara va elektr yuritmali zatvor bilan jihozlangan suv keltiruvchi quvur o‘rnatilgan. Bunda gidroturbina val bilan birgalikda suv keltiruvchi va suv chiqaruvchi quvurlarga ulangan kojux ichiga joylashtirilgan.

Generator multiplikator bilan jihozlangan bo‘lib, unga texnik xizmat ko‘rsatishni qulaylashtirish maqsadida to‘g‘onning yuqori qirrasi sathida joylashtirilgan. Bunda generator vali gidroturbina vali bilan mufta yordamida biriktirilgan hamda suv keltiruvchi quvurdan chiqish joyida zichlagich bilan jihozlangan (1-rasm).



1 - GTI zatvori; 2 - zatvor pazlari; 3 - suv keltiruvchi quvur; 4 - suv qabul qilgich; 5 - elektr yuritmali zadvijka; 6 - agregat kojuxi; 7 - suv chiqaruvchi quvur; 8 - gidroturbina; 9 - mufta; 10 - val; 11- multiplikatorli generator; 12 - zichlagich; 13 - mahkamlash moslamasi.

1-rasm. GTI zatvorlarida mikroGESdan foydalanish sxemasi.

MikroGES pazlarga (2) o‘rnatilgan va tirqishga ega bo‘lgan GTI zatvori (1) dan tashkil topgan bo‘lib, mazkur tirqishga suv qabul qilgich (4) hamda chiqindi ushlovchi panjara va elektr yuritma bilan boshqariladigan zadvijka (surma klapan) (5) bilan jihozlangan suv keltiruvchi quvur (3) o‘rnatilgan. Quvur (3) ga agregat kojuxi (6) va suv chiqaruvchi quvur (7) ulangan.

Kojux (6) ichida vali joylashgan gidroturbina (8) o‘rnatilgan bo‘lib, uning vali mufta (9) yordamida generator (11) ning vali (10) bilan biriktirilgan. Generator vali (10) suv keltiruvchi quvur (3) orqali o‘tkazilgan va zichlagich (12) bilan jihozlangan. Agregat kojuxi zatvorga mahkamlash moslamasi (13) yordamida biriktirilgan.

Zatvor (1) yopiq holatda bo‘lib, yuqori b’efdan (YB) quyi b’efga (QB) suv o‘tkazish imkoniyati mavjud bo‘lganda, elektr yuritmali zadvijka (5) ochiladi va suv keltiruvchi quvur (3) orqali gidroturbina (8) ga kelib tushib uni aylantiradi va generator (11) yordamida elektr energiyasi ishlab chiqariladi, suv esa suv chiqaruvchi quvur (7) orqali quyi b’efga (QB) tashlanadi.

Multiplikator rekonstruksiya jarayonida «nasos-elektrodvigatel» agregatlari «gidroturbina-generator» sifatida qo‘llanilganda, generator (dvigatel) aylanishlar sonini o‘zgartirish imkonini beradi. Natijada quyi b’efga suvning bekorga tashlanishining oldi olinadi hamda zatvorni manyovrlashdagi nosozliklar (yoki uning harakatlanish imkoniyatining kamayishi) tufayli zatvor zichlagichining ishonchliligi oshiriladi.

MikroGES bilan jihozlangan mazkur suv chiqarish inshootining konstruksiyasi vegetatsiya davrida quyi b’efga istalgan miqdordagi suv sarfini o‘tkazish sharoitida ishlash imkoniyati mavjud bo‘lib, bu inshootning asosiy vazifasini normal bajarishini ta’minlaydi.

MikroGESni bevosita gidrotexnik inshoot zatvoriga joylashtirish alohida yirik gidrotexnik majmua qurmasdan, mavjud gidravlik napordan foydalanish imkonini beradi. Mavjud gidravlik infratuzilma va mavjud napordan foydalanishga asoslangan bunday texnik yechimni qo’llash natijasida bir vaqtning o‘zida mavjud suv sarfi, foydalanish mumkin bo‘lgan napor, gidroagregatning foydali ish koeffitsiyenti (FIK), ishlash davomiyligi hamda solishtirma kapital xarajatlar hisobiga iqtisodiy samaradorlik ortadi [5].

Taklif etilayotgan ushbu texnik yechimdan kichik va o‘rta suv oqimlaridagi suv olish, suv chiqarish hamda suv o‘tkazish inshootlarining gidrotexnik zatvorlari gidroenergetik potensialidan xo‘jalik obyektlarining energiya ta’minotini yaxshilash, energiya va resurslarni tejash hamda suv energiyasidan oqilona foydalanish maqsadlarida foydalanish mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son «2022-2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida»gi Farmoni.
2. М.М. Мухаммадиев, К.С. Джураев, Абдурауф Абдуазиз уулу, Б.Б. Махмарасулов. Технико-экономическое обоснование использование микрогидроэлектростанций на затворах гидротехнического сооружения//Журнал «Проблемы энерго - и ресурсосбережения», - Ташкент, № 4, 2021. - с.334-339.
3. Petras Punys, Algis Kvaraciejus, Antanas Dumbrauskas, Linas Šilinis, Bogdan Popa. An assessment of micro-hydropower potential at historic watermill, weir, and non-powered dam sites in selected eu countries // Renewable energy, volume 133, April, 2019.

4. M.Mukhammadiev, K.S.Dzhurayev, B.U.Urishev. Increase of Use of Hydropower Potential of Low Power Irrigation Facilities with Application of New Design Gates // Журнал «Вестник ТашГТУ», №2, 2015.

5. М.М. Мухаммадиев, К.С. Джураев, Абдуазиз уулу А. Использование микроГЭС с существующими гидросистемами//Международной научно-технической конференции «Новые горизонты низкоуглеродного развития в мире и Узбекистане». Ташкент, 23-24 сентября, 2022. с. 78-79.

6. M. Mukhammadiyev, B. Urishev, E. Kan and K. Juraev. New Methods of Application of Micro - Hydroelectric Power Plants at Existing Hydraulic Structures: Schemes, Parameters, Efficiency // E3S Web of Conferences 320, 04009 (2021)., ESEI 2021.

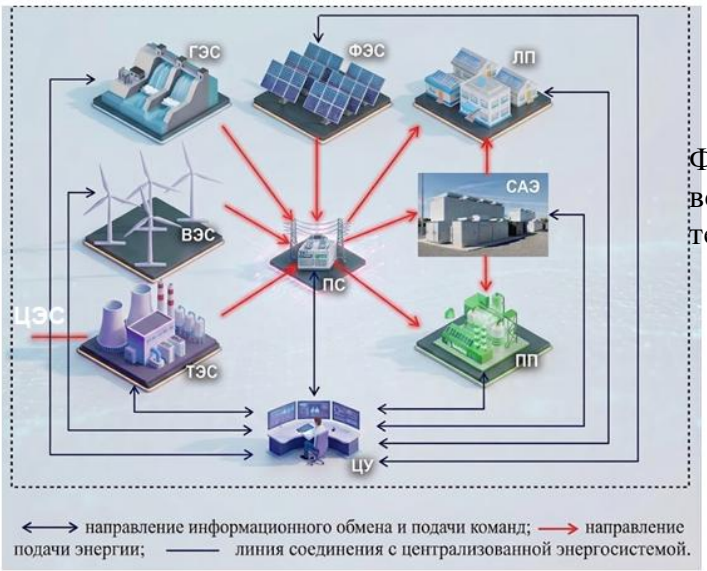
ОПТИМАЛЬНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ВИЭ И СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Мухаммадиев М.М., Уришев Б.У., Джураев К.С., Алламуратов А.К.
Ташкентский государственный технический университет
Каршинский государственный технический университет

Локальная энергосистема — это совокупность распределённых источников генерации, накопителей энергии, электрических сетей, потребителей и средств автоматизированного управления, объединённых в пределах ограниченной территории для надёжного и эффективного энергоснабжения потребителей. Примерная схема локальной энергетической схемы приведена на рис. 1.

Отличительной особенностью данной схемы является возможность получать энергию от централизованной энергосистемы (ЦЭС) через ТЭС, т.е. формирование распределенной генерации.

Не исключается возможность перехода ЛЭС по мере ввода в эксплуатацию ВЭС и ФЭС на доминирующее энергоснабжение электростанциями на базе ВИЭ, оставив небольшую долю для ЦЭС в целях взаимовыгодного обмена энергией.



ФЭС, ВЭС, ГЭС, ТЭС – фотоэлектрическая, ветроэлектрическая, гидроэлектрическая, теплоэлектрическая станции;
ПП – производственные предприятия;
ЛП – местные (локальные) потребители;
ПС – подстанция;
ЦУ – центр управления;
САЭ – система аккумулирования энергии.

Рис. 1. Типовая схема локальной энергосистемы

Балансовое уравнение по определению количество электроэнергии в ЛЭС можно

характеризовать таким образом

$$Э(T)=\int_0^{t_1} N_{ГЭС}(t)dt+\int_{t_1}^{t_2} N_{ФЭС}(t)dt+\int_{t_2}^{t_3} N_{ВЭС}(t)dt+\int_{t_3}^{t_4} N_{ТЭС}(t)dt+\int_{t_4}^{t_5} N_{САЭ}(t)dt-\int_0^{T} N_{ЛЭС}(t)dt \quad (1)$$

где $N_{ГЭС}$, $N_{ФЭС}$, $N_{ВЭС}$, $N_{ТЭС}$, $N_{ЛЭС}$ – мощности ГЭС, ФЭС, ВЭС, ТЭС в моментах времени t в рамках временных интервалов, указанных на соответствующих интегралях, $N_{САЭ}$ – мощность аккумулируемой энергии в момент времени t в интервале от t_4 до t_5, $N_{ЛЭС}$ – мощность ЛЭС, т.е. мощность потребления энергии, обеспечиваемой ЛЭС в момент времени t в интервале от 0 до T. При этом потери энергии учтены в величинах мощностей станций и САЭ.

Оптимальный режим работы ЛЭС определяется по критериям экономической эффективности и надежности электроснабжения потребителей ЛЭС, характеризуемый следующими уравнениями [1, 2, 3, 4]

$$LCOE=\frac{К_{ЛЭС}\cdot b_{воз}+К_{экс}+К_{САЭ}}{Э_{ЛЭС}}\rightarrow min \quad (2)$$

$$LPCP=\frac{\sum_{t=1}^{8760}\{Э_{ЛЭС}(t)-[Э_{ФЭС}(t)+Э_{ВЭС}(t)+Э_{ГЭС}(t)+Э_{САЭ}(t)]\}}{\sum_{t=1}^{8760}Э_{ЛЭС}(t)}\rightarrow 0 \quad (3)$$

где $LCOE$ – нормированная (приведенная) стоимость энергии, характеризующая экономическую эффективность ЛЭС. Среди рассмотренных вариантов ЛЭС экономичным является тот вариант, который имеет минимальное значение $LCOE$.

$LPCP$ – коэффициент надежности энергообеспечения ЛЭС по которому можно оценить насколько электростанции могут покрыть нагрузку по энергетическому потреблению. Рассматриваются значения $LPCP$ от 0 до 1, а надежное энергоснабжение достигается при $LPCP=0$.

$К_{ЛЭС}$, $К_{САЭ}$ – капитальные затраты по ЛЭС и САЭ, $К_{экс}$ – эксплуатационные затраты, $Э_{ЛЭС}$ – требуемая нагрузка энергетического потребления ЛЭС, $Э_{ФЭС,\ ВЭС,\ ГЭС,\ САЭ}$ – количество выработанной энергии ФЭС, ВЭС, ГЭС и САЭ, $b_{воз}$ – коэффициент возврата капитала, используемый для расчета годовой текущей стоимости (капитальных затрат), которая будет иметь постоянное годовое значение в течение срока службы объекта.

Капитальные затраты ЛЭС представляет собой стоимость строительства новых «зеленых» электростанций, такие как ФЭС, ВЭС, ГЭС, а также объекты аккумулирования энергии, т.е. САЭ.

$$К_{ЛЭС}=К_{ФЭС}+К_{ВЭС}+К_{ГЭС}+К_{САЭ} \quad (4)$$

Капитальные затраты для предварительных расчетов рассчитываются на основе удельных показателей стоимости объектов

$$К_{ЛЭС}=a_{ФЭС}\cdot N_{ФЭС}+a_{ВЭС}\cdot N_{ВЭС}+a_{ГЭС}\cdot N_{ГЭС}+a_{САЭ}\cdot N_{САЭ}$$

где $a_{ФЭС,\ ГЭС,\ ВЭС,\ САЭ}$ – удельные стоимости электростанций.

Коэффициент возврата капитала можно сформулировать таким образом [2, 5]

$$b_{воз}=\frac{d\cdot(1+d)^m}{(1+d)^m-1} \quad (5)$$

где m – срок службы ЛЭС; d - ставка дисконтирования, определяемая по нижеприведенной формуле

$$d=\frac{i-f}{1+f} \quad (6)$$

где i – значение номинальной банковской ставки; f – величина инфляции.

Таким образом, по критериям экономической эффективности и надежности энергоснабжения определяется оптимальный вариант компонентов ЛЭС.

Литература

1. Vilayanur Viswanathan, Kendall Mongird, Ryan Franks, Xiaolin Li, Vincent Sprenkle. Energy Storage Grand Challenge Cost and Performance Assessment 2022. Pacific Northwest National Laboratory. https://www.pnnl.gov/sites/default/files/media/file/ESGC%20Cost%20Performance%20Report%202022%20PNNL-33283.pdf

2. Xiao Xu, Weihao Hu, Di Cao, Qi Huang, Cong Chen, Zhe Chen. Optimized sizing of a standalone PV-wind-hydropower station with pumped-storage installation hybrid energy system. Renewable Energy 147 (2020) 1418-1431. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.099

3. Elistratov V.V., Mukhammadiyev M.M. Integrated Use of the Hydropower Sources of Uzbekistan in the Context of Climate Change. - Applied Solar Energy, 2023, Vol. 59, No. 1, pp. 87–94. DOI:10.3103/S0003701X23600480

4. Elistratov V.V., Kudryasheva I.G. Methodology for parameters selection and evaluation the effectiveness of decentralized energy supply systems based on renewable energy sources. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. Vol. 11, № 5, March 2016. pp. 3509-3512.

5. Gobind Pillaia, Husain Ali Yaqoob Naser. Techno-Economic Potential of Largescale Photovoltaics in Bahrain. https://core.ac.uk/download/pdf/ 322330335.pdf

СУҒОРИШ НАСОС СТАНЦИЯЛАРНИНГ ЭНЕРГИЯ ТАЪМИНОТИДА ҚАЙТА ТИКЛАНУВЧИ МАНБАЛАР ЭНЕРГИЯСИДАН ФОЙДАЛАНИШ МАСАЛАЛАРИ

Мухаммадиев М.М., Уришев Б.У., Жураев С.Р., Джураев К.С.
Тошкент давлат техника университети
Карши давлат техника университети

Насос қурилмалари ва станцияларини электр энергияси билан таъминлашда қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиш бўйича илк ишлар ўтган асрнинг 70 йилларида бошланган [1].

Инглиз тилида чоп этилган чет эл манбаларида қуёш ва шамол энергиясидан фойдаланадиган насос қурилмалари ва станциялари қисқача қилиб "PV water pumping systems" (фотоэлектрик сув - насос тизимлари), wind pumps (шамол насослари), "solar water pumps" (қуёш – сув насослари), "solar irrigation" (қуёш ирригацияси), "hybrid water pumping systems"(гибрид сув- насос тизимлари), renewable energy water pumping systems (қайта тикланувчи энергияли сув - насос тизимлари), wind water pumping systems"(шамол сув - насос тизимлари) деб аталади. Шу сабабли қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланадиган насос қурилмалари ва станцияларини қуёш сув-насос тизимлари (ҚСНТ) ёки шамол сув-насос тизимлари (ШСНТ) деб атасак мақсадга мувофиқ бўлади деб ўйлаймиз.

ҚСНТ бўйича бажарилган ишларнинг таҳлилий маълумотлари биринчи марта Жаҳон банки томонидан 1984 йилда эълон қилинган ва кейинчалик бир неча марта, охиргиси 1990 йилда қайта чоп этилган [2]. Худди шунингдек, техник ҳисоботлар, тўпламлар АҚШнинг Sandia Natuonal Laboratories томонидан 1987 йилда [3], қайта тикланувчан энергия манбалари миллий лабораторияси (NREL) томонидан 2004 йилда чоп этилган [4]. Ушбу нуфузли ташкилотлар томонидан чоп этилган таҳлилий ва йўриқ берувчи юқорида келтирилган манбаларнинг асосий хулосаларини қисқача қилиб келтирадиган бўлсак, улар қуйидагилардан иборат.

- қуёш энергияси ёрдамида ҳар қандай қувватдаги насос станцияларини энергия билан таъминлаш техник жиҳатдан амалга ошириш мумкин бўлган иш ҳисобланади;

- ҚСНТлардан фойдаланиш, агар бу иш оқилона, барча талабларга амал қилиб бажариладиган бўлса, органик ёқилғига асосланган анъанавий манбаларга нисбатан арзон ва экологик тоза ҳисобланади;

- ҚСНТлардан фойдаланишда албатта энергияни (сувни) тўплаш (сақлаш) тизимларидан фойдаланиш керак;

- қуёш панелларига техник хизмат кўрсатиш (тозалаш, совутиш, профилактика) ва уни қуёш орбитасига автоматик ростлаш (максимал қувват трекери асосида) ишлари амалга оширилиши лозим;

- насос қурилмалари ва станцияларини энергия билан таъминлашда гибрид тизимлар (ҚСНТ ва ШСНТ) ёки бошқа қурилмалар (ҚСНТ, ШСНТ, ГЭС, ДЭС)дан фойдаланиш ҳам яхши самара беради.

Дунё бўйича ҚСНТ лардан фойдаланиш Ҳиндистонда кенг миқёсда олиб борилади [5]. Ушбу мамлакатда жами истеъмолнинг 18 % электр энергияси ва 5 % дизел ёқилғиси 26 млн. дона насос қурилмалари учун сарфлаланади, шу сабабли насосларни қуёш энергиясига ўтказиш бўйича давлат дастури қабул қилинган ва унга кўра 2021 йилда 1 млн. дан ортиқ насос қурилмалари қайта тикланувчи энергия манбалари асосида ишга туширилган [5].

ҚСНТ лардан Ҳиндистонда фойдаланишни ташкил қилиш бўйича Германия-Ҳиндистон қўшма дастурининг натижаларига кўра ҚСНТларга сарф бўлган харажатларни қоплашнинг ўртача муддати 4 йилга, 1 кВт·соат энергия нархи 0,141 долларга тенг [6].

Юқорида таъкидланганидек ҚСНТ учун қўлланиладиган қуёш панелларининг ифлосланиши электр энергиясини ишлаб чиқаришнинг пасайишига сабаб бўладива энергия потенциалининг пасайиши 16 % гача бўлиши мумкин. Қуёш энергиясидан фойдаланиш самарадорлиги максимал қувват трекерлари қўлланилганда 35 % га ошади, баъзи тадқиқотларда насос сув бериш унумдорлигининг 7,4 % га ошиши кузатилган [7].

Қуёш энергиясидан фойдаланиш самарадорлигини оширишда энергияни тўплаш (аккумуляциялаш)нинг аҳамияти катталиги кўпгина тадқиқотларда исботланган. Масалан, Туркиялик тадқиқотчилар бир кунда 4,5 кВт·соат электр энергияси берадиган қуёш панелларидан ҳамда сиғими 14А·соат бўлган аккумулятор ва максимал қувват трекеридан фойдаланиб, бир кунда 1450 литр сувни насос ёрдамида майдони 0,1 га бўлган дарахтзорни суғориш учун етказиб беришган, аккумулятор гарчи қурилмани қимматлаштирсада, лекин тизимнинг самарадорлигини 63 % гача оширади деган хулосага келинган [8].

ҚСНТ ларнинг иқтисодий самарадорлиги масаласи улардан фойдаланиш бўйича қабул қилинадиган қарорда муҳим ўринни эгаллайди. Бангладешда қуввати 0,1 дан 20 кВт гача бўлган 108 та ҚСНТ нинг иқтисодий самарадорлиги кўрсаткичлари кўриб чиқилган ва кўрсаткичлар муқобил вариант сифатида олинган дизел генератори кўрсаткичлари билан таққосланган [9]. Таҳлиллар натижалари шуни кўрсатдики, дизел генераторининг нархи (600 доллар/кВт) қуёш энергия қурилмаси нархи (1800 доллар/кВт) га нисбатан 3 баробар кам. Лекин дизел генераторининг эксплуатация харажатлари ёқилғининг нархи ҳисобига 438 долларни, қуёш энергия қурилмасиники эса 80 долларни ташкил қилади. Ушбу рақамлар ҚСНТ нинг самарадорлиги дизел генератори ёрдамида сув беришга нисбатан 5,47 баробар юқори эканлигини кўрсатиб турибди.

Қуёш ва шамол энергиясидан таъминланадиган насос станциялари ва қурилмалари асосидаги гибрид тизимлар афзаллик томонлари шундан иборатки, улар алоҳида таъминланадиган тизимларга нисбатан ишончли электр таъминотини ташкил қилишади, масалан, кечаси фотоэлектрик қурилма ишламаганда шамол қурилмаси ишлаши мумкин [4, 10]. Кўп ҳолларда гибрид тизимлар таркибида юз фоизлик энергия таъминотини ташкил қилиш мақсадида заҳира дизел генератор ҳам кўзда тутилади. Дизел генераторнинг вазифаси қуёш, шамол қурилмалари ва аккумуляторнинг жами энергияси талаб қилинаётган истеъмол энергиясига етарли бўлмаган ҳолларда қисқа муддатда етишмаётган энергияни ишлаб чиқариш ва зарур бўлган ҳолларда аккумуляторларни зарядлаш ҳисобланади. Мана шундай гибрид тизимнинг схемаси 1 – расмда келтирилган.

1 – расм. Қайта тикланувчи манбалар асосидаги ва заҳира генератор билан таъминланган сув – насос тизимлари схемаси.

Ушбу схемада насос қурилмалари учта режимда ишлаши режалаштирилган:

- шамол қурилмасининг механик энергияси ҳисобига ишлайдиган насос қурилмалари. Бу вариантда шамол парракларининг механик энергияси тўғридан –тўғри электр энергиясига айлантирилмасдан насосга узатилади;
- насос қурилмалари энергия манбасидан бериладиган ўзгармас ток билан ишлайди;
- насос қурилмалари энергия манбасидан бериладиган ўзгарувчан ток билан ишлайди.

Насос қурилмаларининг ўзгармас ёки ўзгарувчан ток билан ишлаш масаласи [11] ишида тадқиқ қилинган. Ушбу иш муаллифлари ўзгармас токда ишлайдиган насос двигателлари қуввати 5 кВт гача бўлса ўзгарувчан токка нисбатан 80 % гача самарадор бўлиши мумкин, бундан юқори қувватларда ўзгарувчан токли электр двигателларидан фойдаланиш мақсадга мувофиқ деган фикрга келишган.

Гибрид тизимлар ишончли бўлиши билан бир қаторда арзон ҳам бўлиши мумкин, чунки бу тизимларда заҳира қувват учун маблағ сарфланмайди [4].

Гибрид тизимлардан фойдаланишда асосий масала энергия манбаларининг иш режимларини насослар иш режимларига оптимал ва тўлиқ мослаган ҳолда сув истеъмолини тўлиқ қондириш ва энергияни (сувни) зарур ҳажмда ва ўз вақтида тўплаш ҳисобланади.

Фойдаланилган адабиётлар

1. S.S. Chandel, M. Nagaraju Naik, Rahul Chandel. Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies. Renewable and Sustainable Energy Reviews 49 (2015) 1084–1099.

2. Solar Water Pumping A Handbook. World Bank, 1984.

3. Thomas MG. Water pumping: the solar alternative [Technical Report]. Sandia National Laboratories; 1987. ⟨www.snl.org⟩

4. Argaw N. Renewable energy water pumping systems handbook. NREL/SR-500-30481. 2004.

5. Solar pumping for irrigation: Improving livelihoods and sustainability, The International Renewable Energy Agency, 2016. 36 p.

6. Pullenkav Thomas. Solar water pumping for irrigation: opportunities in Bihar, Deutche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Indo-German Energy Programme. ⟨www.igenre.in⟩. ⟩; 2013.

7. Mahmoud M, Mahmoud MM, Kukhun WR, Daud A. Efficiency Improvement of a Dual PV Water Pumping System on a Desert Well by Solar Matched Load Control. Int J Energy Eng, 2013;3:151-7.

8. Deveci O, Onkol M, Unver HO, Ozturk Z. Design and development of a low-cost solar powered drip irrigation system using Systems Modeling Language. J Clean Prod 2015;102:529-44. doi:10.1016/j.jclepro.2015.04.124.

9. Sarkar MNI, Ghosh HR. Techno-economic analysis and challenges of solar powered pumps dissemination in Bangladesh. Sustain Energy Technol Assessments 2017;20:33-46. doi:10.1016/j.seta.2017.02.013.

10. Samson Sing’oei SOSHYO, Sameer Kamrudin BACHANI, Michael Juma SAULO, Lawrence Manyonge MUKHONGO. Adapted Irrigation Pump Load in Solar PV and Wind Energy Systems through Stepped Variable

11. Vick BD, Clark RN. Determining the Optimum Solar Water Pumping System for Domestic Use, Livestock Watering or Irrigation. 1992; 4: 34-42.

ГИДРОЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАР ВА УЛАРДАГИ ИНШООТЛАРНИНГ АСОСИЙ МУАММОЛАРИ: КАМЧИЛИКЛАР ВА ТАҲЛИЛЛАР

Палуанов Д.Т., Саидов Ф.С., Содиқжонов М., Сейидабуллаев М.М.
Тошкент давлат техника университети

Гидроэнергетика умумий энергетика тизимининг салмоқли қисмини ташкил этади ва қайта тикланадиган энергия манбалари қаторига киради. Гидроэлектр станциялар Ўзбекистонда энергетика тизимида, жумладан энергия ишлаб чиқариш тизимининг мослашувчанлиги ва электр энергияси нархи пастлиги туфайли муҳим рол ўйнайди. Ҳозирги кунда гидроэлектр станциялардаги асосий иншоотлар ва жиҳозларининг кўпчилиги ўзининг белгиланган хизмат қилиш муддатидан анча ўтиб кетган, баъзилари хизмат қилиш муддатидан икки баробар ортиқ ишлагани боис ҳозирда уларни модернизация ва реконструкция қилиш ҳамда таъмирлаш-тиклаш ҳолатига келган.

Замонавий гидроэлектр станцияларининг самарадорлигини ошириш, асосан, капитал харажатларни камайтириш, уларнинг энергия сифатини яхшилаш орқали амалга оширилиши мумкин. Гидроэлектр станцияларнинг самарадорлигини ошириш учун иншоотларнинг самарали компоновкаларини танлаш ва қўллаш, оқим қисми элементларига оптимал кўриниш ва ўлчамлар бериш муҳим аҳамиятга эга.

Республика ҳудудидаги узоқ вақтдан буён ишлатилаётган гидроэлектр станциялар ва улардаги гидротехника иншоотларига ташқи омиллар таъсир кўрсатиши натижасида кузатиладиган асосий муаммолар уларнинг ишончлилиги, чидамлилиги ва эксплуатация хавфсизлиги билан боғлиқ. Гидроэлектр станциялар иншоотлари хавфсизлигини таъминлаш ва ишончлигини ошириш борасида хориж давлатларда ва мамлакатимизда салмоқли натижаларга эришилган.

Ҳозирги вақтда гидроэлектр станциялардаги асосий муаммоларни ўрганишда техник, гидрологик, экологик, эксплуатацион ва иқтисодий гуруҳларга бўлиш мумкин (1-расм).

1-расм. Гидроэлектр станцияларда юзага келадиган муаммолар

Гидроэлектр станцияларда *техник муаммолар* қуйидагиларни ўз ичига олади:

1. Гидротехника иншоотлари ва жиҳозларнинг эскириши (гидроэлектр станцияларининг аксарияти 40-70 йил олдин қурилган):

турбиналар, генераторлар, затворлар, юритмалар, подшипникларнинг ейилиши;

турбина ва сув ўтказгичларнинг металл конструкцияларидаги ёрилишлар;

тўғон бетони физик-механик хоссаларининг ўзгариши (карбонизация, ёриқлар ҳосил бўлиши, ишқорланиш).

2. Гидротехника иншоотларининг авария хавфи:

тўғон заминининг ювилиши;

тўғон танаси ва грунт замини орқали фильтрация оқимлари;

сув чиқаргичлар ва турбиналарнинг кавитацион шикастланиши;

авария-таъмирлаш затворларининг ейилиши;

ҳарорат ва юкламалар фарқи натижасида тўғоннинг нотекис деформациялари.

3. Гидроагрегатларнинг ишончлилиги муаммолари:

резонанс вибрациялар;

напорнинг нотекислиги;

ишчи ғилдирак парракларининг шикастланиши;

подшипниклардаги мой сизиши;

автоматик ростлаш тизимидаги хатоликлар.

Гидрологик муаммолар қуйидагиларни ўз ичига олади:

1. Оқимнинг ўзгарувчанлиги:

иқлим цикллари таъсирида дарё оқимининг ўзгариши;

сув танқислиги – электр энергия ишлаб чиқаришнинг пасайиши;

кескин тошқинлар – сув ташламаларининг ортиқча юкланиши.

2. Сув омборларининг кўмилиши (лойқа босиши):

сув омборининг фойдали ҳажмини камайиши;

лойқалик даражасининг ошиши – турбиналар ейилишининг ошиши;

сув олиш жойларида аккумулятив ётқизиқларнинг ҳосил бўлиши.

Экологик муаммолар қуйидагиларни ўз ичига олади:

1. Экотизимларга таъсири:

балиқлар миграциясини тўсилиши;

ҳарорат режими ва кислород миқдорининг ўзгариши;

тўғондан пастда ўзаннинг саёзланиши.

2. Ижтимоий-экологик оқибатлар:

ҳудудларни сув босиши;
поймалар деградацияси;
қишлоқ хўжалиги ерларини сув босиши.
Эксплуатацион муаммолар қуйидагиларни ўз ичига олади:
1. Ҳолатнинг етарлича мониторинг қилинмаслиги:
эскирган назорат-ўлчов асбоблари;
фильтрация, деформация, вибрацияларни онлайн мониторинг қилишнинг етишмаслиги;
критик нуқсонларни ўз вақтида аниқламаслик.
2. Бошқарув ва хавфсизлик муаммолари:
операторлар ишидаги хатолар;
автоматика тизимидаги носозликлар;
замонавий хавфсизлик меъёрларига мос келмаслик (эски қурилган тўғон).
Иқтисодий муаммолар қуйидагиларни ўз ичига олади:
капитал таъмирлаш ишларини молиялаштиришнинг етарли эмаслиги;
турбиналар ва электротехник жиҳозларни модернизация қилиш харажатларининг юқорилиги;
фойдаланиш билан боғлиқ баъзи бир чекловлар;
малакали мутахассисларнинг етишмаслиги.

Юқоридагилардан ташқари, алоҳида ҳолларда қўшимча муаммолар қуйидагиларни ўз ичига олади:

1. Сейсмик хавфлар: зилзила пайтида сув омборларидаги тўлқин зарбалари; тўғонларнинг нотекис кучланганлик ҳолати.

2. Йирик авариялар хавфи: омиллар комбинациясида (фильтрация+ ходимлар хатоси + юқори сув) тўғоннинг ёрилиши; босимли сув ўтказгичлардаги гидравлик зарбалар; турбинанинг бузилиши ва кавитация ҳодисалари.

Юқорида қайд этилган муаммолар гидроэлектр станциялар ва улардаги иншоотлар ҳамда ускуналарнинг барқарор ва нормал ишлашига салбий таъсир кўрсатади. Шунинг учун гидроэлектр станциялардан фойдаланишда мазкур муаммоларга алоҳида эътибор қаратиш лозим.

ПАХТА ҒЎЗА ПОЯСИ АСОСИДА ҚУРИЛИШ МАТЕРИАЛЛАРИ ИШЛАБ ЧИҚАРИШДА УНИНГ СТРУКТУРАСИНИНГ ФИЗИК-ТЕХНИК АСПЕКТЛАРИ

Н.С.Холмирзаев (Turon University).

Аннотация: Ишда ғўза поясидан қурилиш ва саноатбоп материаллар ишлаб чиқаришда ғўза поясидан ташкил топган агрегатларнинг физик-кимёвий хусусиятлари тадқиқ этилган. Ғўза поя толасининг таркиби, иссиқлик ва намлик ўтказувчанлиги. Кам қаватли қурилишларда ғўзапоя асосидаги иссиқлик изоляциясига эга бўлган ташқи девор панелларидан фойдаланиш иқтисодий жиҳатдан самарадорлиги исботланган.

Калит сўзлар: Ғўза поя толаси, арболит, ғўзапоя парахали плита, девор панеллари, аралашманинг шиббаланишида (зичланиши) сезиларли эластиклик; гипс-тупроқ-ғўзапояли иссиқлик изоляцияли материал.

Аннотация. Изучены физико-химические свойства агрегатов стеблей хлопчатника при производстве строительных и технических материалов из стеблей хлопчатника. Изучены состав, тепло-и влагопроводность волокон стеблей хлопчатника. Использование наружных стеновых панелей с теплоизоляцией па основе хлопка в малоэтажных домах доказало свою рентабельность.

Ключевые слова: Хлопковое волокно, хлопчатобумажные лист, стеновые панели, значительная эластичность в гонт (плотность) смеси, гипсогрунтоватные теплоизоляционные материалы.

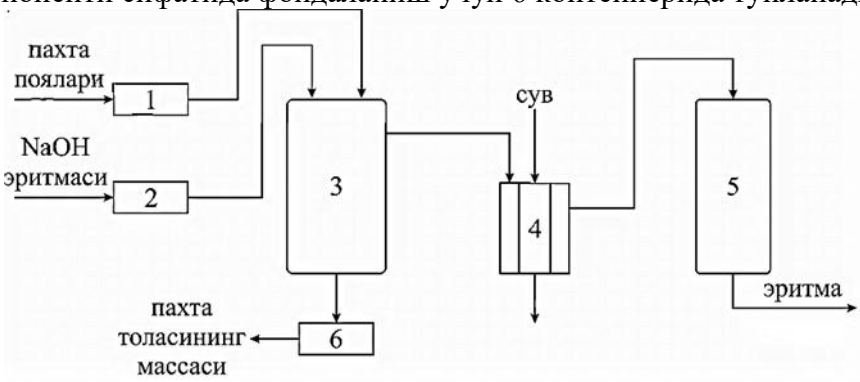
Annotation: Physicochemical properties of cotton-based aggregates in the production of construction and industrial materials from cotton stalks have been studied.The composition, heat and moisture conductivity of cotton stalk fibers. The use of exterior wall panels with cotton-based therminal insulation in low-rise buildings has been proven to be cost-effective.

Keywords: Cotton stalk fiber, arbolite, cotton stalk plate, wall panels, significant elasticity in the slip (density) of the mixture, gypsum-soil-cotton thermal insulation material.

Ғўза поясидан қурилиш ва саноатбоп материаллар ишлаб чиқаришда ғўза поясидан ташкил топган агрегатлар, уларнинг табиий қимматли хусусиятлари (ўртача зичлиги паст, яхши намланувчанлиги, қайта ишлов бериш қулайлиги) юқори қувватли материаллар олишда қатор қийинчиликлар юзага келтиради. Бу қийинчиликларни бартараф этиш учун ғўза поясининг таркибий тузилиш жараёнларига салбий таъсир кўрсатадиган целлюлозавий тўлдиргичларнинг ўзига хос хусусиятларини, поянинг нам олувчи таъсирларга мустаҳкамлиги ва чидамлилигини, шунингдек, ишлаб чиқаришнинг технологик жараёнларини тадқиқ этиш зарур бўлади.

Қурилиш материаллари ишлаб чиқаришда цемент тоши билан ўсимлик агрегатини адгезияси муаммоси ечими унинг таркибий қисмларининг биргаликда ишлашини таъминлашда муҳим аҳамиятга эга. Бу муаммони ҳал қилишнинг қийинлиги шундаки, иссиқлик ишлов беришда ва сувга тўйинган арматурани қўллаш пайтида, унинг атрофидаги бўшлиқнинг шаклланиши туфайли бетон ва ўсимлик хом ашёси ўртасидаги боғланишнинг бузилиш хавфи туғилади, қуруқ арматурадан фойдаланилганда ўсимлик хом ашёсининг шишиши натижасида бетонда ёриқлар ҳосил бўлади. Ғўзапоядаги металли арматура билан арболитнинг боғланиш кучи, металлни мустаҳкамлаш билан ғўзапоядаги адгезен кучи арболитнинг синфига қараб, 0.08-0.35 МПа, стерженларнинг профили (силлиқ, даврий) ва ҳимоя қопламаси; арболит билан 1:3 (цемент аралашмаси) цемент-қумли оҳак тўқимали қатламининг адгезияси 1.43-1.55 МПа атрофида бўлади [1].

1-расмда пахта пояларининг ишқорли экстрактини олиш технологик схемаси келтирилган. Ғўза поялари 1 дан 5 мм фраксиясигача майдалагичда (дробилкада) майдаланади ва реактор-3 орқали NaOH ишқори эритмаси кирадиган дозатор-2 га берилади. Реактор 3 да 100-105°С ҳароратида поялар таркибидаги компонентларни NaOH эритмаси билан чиқариш учун қайта ишланади. Пахта пояларининг экстрактив моддалар эритмаси совутгич 4 да совигандан кейин идиш 5 га йиғилади [2]. Олинган моддалар ажратилгандан сўнг, пахта толаси массаси цементли аралашмаларнинг мустаҳкамловчи компоненти сифатида фойдаланиш учун 6 контейнерида тўпланади.



1-расм

Бир йил давомида қадоқланган ҳолда ҳавода сақланаётган ғўзапоя намлигининг ўзгаришини ўрганиш бўйича ўтказилган тадқиқотлар натижалари шуни кўрсатдики, яроқлилик муддати ошиши билан унинг оғирлик намлиги камайиб, 7-8 ойга бориб барқарор қиймати 10-12% га етади. Ғўзапоянинг зичлиги (12% намликдаги майдалашнинг турли фракциялари) қобиғининг 5 баробар такрорланиши, эркин (қотиришсиз) 180-382 кг/м^3 тортиш билан белгиланган. Шуни таъкидлаш керакки, ғўза поясининг эзилган қобиқнинг фракциялари ҳажмининг пасайиши билан унинг масса зичлиги ортиб бориш тенденциясига эга.

Ғўзапоянинг сув шимиши 67% га яқин эканлиги аниқланди, унга асосланган иссиқлик изоляция материаллари мустаҳкамлигини таъминлаш мақсадида унинг антисептиклаш зарурлигини кўрсатади. Ёғоч қипиқлари ва тамаки поялари асосида иссиқлик изоляцияси ва структуравий материалнинг мустаҳкамловчи компоненти бўлиб хизмат қилган ғўзапоянинг сорбцияси ва десорбсиясини ўрганиш шуни кўрсатдики, $\varphi_в$= 97% нисбий намлигида ғўзапоянинг мувозанат намлиги (бу материал учун махсус гидрофоб қўшимчалар ишлатилганда) 0,80% ни ташкил этади. Бу ўсимлик чиқиндиларини гидрофоблаш бўйича олдинги тадқиқотлар асосида ташқи деворларни иссиқлик изоляцияси учун ғўзапоядан фойдаланиш имконини беради. Ғўзапоянинг сиқилувчанлиги 96,0% ва паст (1,6%) эластикликка эга.

Ғўзапоя-гипс таркибли арболитнинг иссиқлик ўтказувчанлигига намликнинг таъсири 1-жадвалда келтирилган β % қиймати билан аниқланади.

1-жадвал.

Материалларнинг ҳажмий намлигида 1% га ортиши билан иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентининг ортиши β_w,%.

Материал	Ҳажмдаги масса γ, кг/м^3			
	300	400	500	600
Майдаланган ғўзапоянинг Арболити	10,1	8,6	7,1	6,3
Ғўзапоя фибролити	9,8	7,5	6	5
Ғўзапоядан қилинган ёғоч толали плиталар	6	4,6	3,8	3,1

Ғўзапоянинг арболити учун иссиқлик ўтказувчанлик боғловчи тўлдирувчининг оғирлик нисбатига боғлиқдир. Бу нисбатнинг камайиши билан иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти ортади. Натижада, арболитнинг иссиқлик ўтказувчанлиги коэффициенти цемент сарфининг нисбати ошиши билан ортади.

Ҳисоб-китоблар шуни кўрсатдики, иссиқлик изоляцияси билан гипс-тўпроқ-ғўзапояли иссиқлик изоляцияли материал асосида уч қатламли панелни таклиф этилган бир қатламли керамзит-бетонли панелга алмаштирилиши 2.71 - 3.22 ш.ё./м^2 иқтисодий самарадорликни беради. Шундан келиб чиқадики, Республикамизнинг кам қаватли қурилишларида ғўзапоя асосидаги иссиқлик изоляциясига эга бўлган ташқи девор панелларидан фойдаланиш иқтисодий жиҳатдан самаралидир.

Адабиётлар

1. Кобулиев З. В. Физико-химические основы структурообразования и теплофизические свойства материалов на основе минерального и растительного сырья. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Душанбе 2017 г. С. 48-49.

2. Derbasova E.M., Mukanov R.V., Oleynikova M.A. Energy-efficient single-story frame houses with heat insulation from reed blocks. Engineering and construction herald of the Caspian Sea. 2014, no. 3 (9), pp. 25–28. (In Russian).

MOF-ASSISTED HYDROGEN PRODUCTION UNDER GAMMA IRRADIATION FOR ENERGY- AND RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES

Hokman Mahmudov, *Gunel Imanova, Fethullah Chichek, Bahar Mammadova, Seljan Hajiyeva, Samira Aliyeva-Chichek, Zumrud Sabzaliyeva, Kamala Azizova, Aqshin Abishov

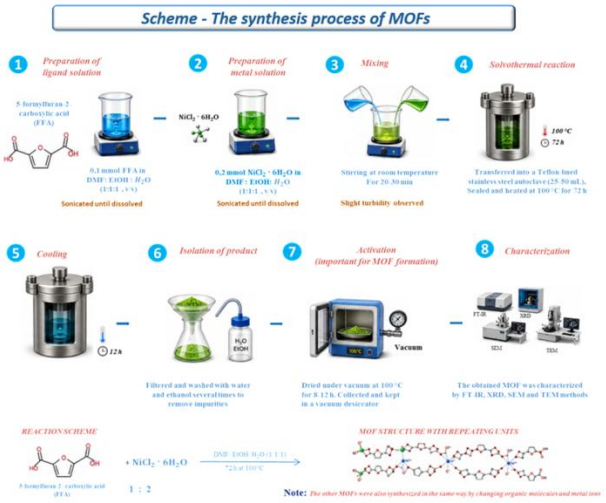
Institute of Physics, Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan
*Corresponding author: gunel_imanova55@mail.ru

Abstract: Metal–organic frameworks (MOFs) are a class of porous crystalline materials formed through the coordination of metal ions or clusters with organic ligands. Their high specific surface area, tunable pore structure, adjustable chemical functionality, and diverse metal centers make them promising materials for catalysis, gas storage, separation, sensing, and energy-related applications [1–3]. The structural and functional properties of MOFs can be controlled by varying the metal center, organic linker, solvent, temperature, reaction time, and other synthesis parameters. Hydrogen is widely recognized as a clean and sustainable energy carrier with significant potential to reduce dependence on fossil fuels. Among alternative hydrogen-production technologies, radiation-assisted water splitting is of particular interest because ionizing radiation can initiate water radiolysis and generate reactive species capable of contributing to hydrogen formation. In this work, the potential of MOFs as radiocatalytic materials for enhancing hydrogen production under gamma irradiation was investigated through a combination of experimental and theoretical approaches.Particular attention was given to the interaction of gamma radiation with MOF–water systems and to the behavior of primary radiolysis products, including hydrated electrons (e^-aq), hydrogen atoms ($H^\bullet$), and hydroxyl radicals (•OH). The high surface area and tunable porosity of MOFs can provide active interfaces for interactions with radiolysis products, while different metal centers can influence electron-transfer processes and proton reduction. The effects of catalyst composition, absorbed radiation dose, temperature, and structural characteristics on hydrogen generation were considered. The radiochemical hydrogen yield, $G(H_2)$, was evaluated as an important parameter for assessing the efficiency of radiation-assisted hydrogen production. Experimental investigations demonstrated that hydrogen was generated in the presence of all investigated MOF samples. Among the synthesized materials, samples A3, A5, and A14 exhibited the highest hydrogen yields under the applied irradiation conditions. These results indicate that MOF composition and structural characteristics have a significant influence on radiocatalytic hydrogen production. Overall, MOF-assisted water radiolysis represents a promising approach for the development of innovative low-carbon hydrogen-production technologies and energy- and resource-saving processes.

Keywords: Metal–organic frameworks (MOFs); gamma irradiation; water radiolysis; hydrogen production; radiocatalysis; $G(H_2)$; energy-saving technologies.

1. Introduction and MOF Synthesis.

Metal–organic frameworks are crystalline porous materials consisting of metal ions or metal clusters interconnected by organic ligands. Their structural diversity allows the preparation of materials with high surface areas, tunable pore sizes, and specific chemical functionalities. MOFs are commonly synthesized through solvothermal or hydrothermal self-assembly processes, although other synthesis routes can also be employed. Reaction temperature, solvent composition, reaction time, precursor concentration, and metal-to-ligand ratio can strongly influence the resulting crystal structure and physicochemical properties [1–3]. See the scheme below:



The combination of large internal surface area and chemically adjustable active sites makes MOFs attractive for catalytic and energy-related applications. In particular, their ability to interact with electrons, radicals, and molecular species makes them potentially useful in radiation-assisted chemical processes. Hydrogen production through water splitting is an important research direction in the transition toward sustainable energy systems. Conventional water radiolysis under ionizing radiation produces hydrogen together with other molecular and radical products. However, a significant fraction of the primary reactive species can undergo recombination or secondary reactions, limiting the efficiency of hydrogen formation. The introduction of a suitable porous catalytic material may alter these pathways and increase the probability of productive hydrogen-forming reactions [4-5].

2. Gamma-Irradiation-Assisted Hydrogen Production.

When water is exposed to gamma radiation, energy deposition produces reactive species through the radiolysis process. The primary products include hydrated electrons, hydroxyl radicals, and hydrogen atoms, which subsequently undergo a series of reactions leading to molecular products such as H_2 and H_2O_2. A simplified representation of water radiolysis can be expressed as:

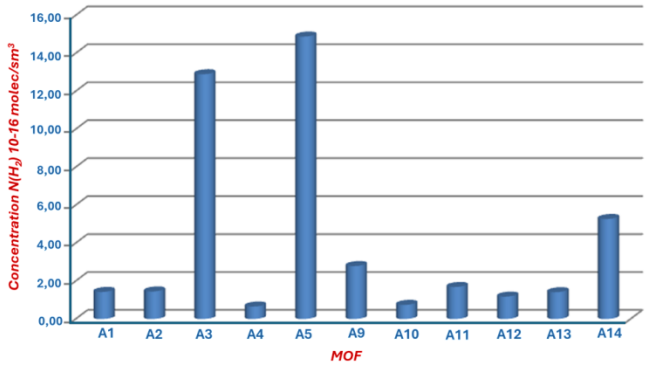
$$H_2O \rightarrow e^-_{aq} + \bullet OH + H\bullet + H_2 + H_2O_2 + \ldots$$

In the presence of MOFs, these radiation-induced species can interact with the porous framework and its metal centers. Such interactions may promote electron transfer, stabilize reactive intermediates, suppress recombination, and facilitate proton reduction to molecular hydrogen. Therefore, the radiocatalytic behavior of MOFs depends on their metal composition, pore structure, surface functionality, electronic properties, and radiation stability [6-7].

3. Results and Discussion

The scheme presents the hydrogen yield obtained from water splitting under gamma irradiation in the presence of different synthesized MOF samples.

Scheme - Dependence of the hydrogen yield from water splitting under the influence of radiation on the composition of the synthesized MOF samples (T = 24 °C, P = 1.028 Gy/s, τ = 5 h).



Hydrogen formation was observed for all investigated MOF samples, confirming that the presence of MOF materials can influence radiation-induced water decomposition. The hydrogen concentration varied depending on the composition and structural characteristics of the synthesized MOFs. Among the investigated samples, A3, A5, and A14 demonstrated the highest hydrogen yields, indicating a particularly favorable combination of structural and electronic properties for radiocatalytic hydrogen generation.

The differences in hydrogen production can be attributed to variations in metal centers, pore structure, surface area, electronic conductivity, and the availability of active sites. Metal centers may participate in electron-transfer reactions and influence the interaction of the framework with hydrated electrons and other radiolysis products. At the same time, the porous structure can provide an extended interface between water and the catalytic material, increasing the probability of interactions between radiation-induced species and active sites [8].

4. Radiocatalytic Mechanism and Kinetic Considerations.

The enhanced hydrogen production observed in the presence of MOFs can be associated with the interaction between radiation-induced species and catalytically active sites within the porous framework. Hydrated electrons and hydrogen atoms are particularly important for hydrogen formation because they can participate in proton-reduction pathways:

$$e^{-}aq + H^{+} \rightarrow H\bullet$$
$$H\bullet + H\bullet \rightarrow H_2$$

The hydroxyl radicals generated during water radiolysis may participate in competing oxidation and recombination reactions. Therefore, an effective radiocatalyst should promote productive charge-transfer pathways while limiting the recombination of reactive species.

The porous architecture of MOFs may provide favorable environments for these processes by increasing the contact area between water and catalytic sites. Furthermore, the nature of the metal center can influence electron mobility and redox behavior. Noble-metal-containing systems, particularly Pt-based MOFs, may provide highly active sites for proton reduction, while Ni-, Co-, and Fe-containing systems offer potential advantages associated with lower cost, greater abundance, and suitable redox properties. Hydrogen production is also dependent on the absorbed radiation dose and dose rate. Increasing the absorbed dose generally increases the concentration of radiolysis products and can therefore enhance hydrogen production. However, at sufficiently high radiation doses, secondary reactions and recombination processes may become significant. Consequently, optimization of irradiation conditions is necessary to achieve maximum hydrogen yield. Temperature is another important parameter because it can influence diffusion, reaction kinetics, radical recombination, and charge-transfer processes. Therefore, comparison of $G(H_2)$ values provides a useful basis for assessing the effectiveness of different MOF compositions and irradiation conditions [9].

5. Energy- and Resource-Saving Potential

MOF-assisted radiocatalytic hydrogen production combines the advantages of porous nanostructured materials with radiation-induced water decomposition. The high surface area, tunable porosity, and adjustable metal centers of MOFs provide opportunities for optimizing catalytic activity while minimizing material requirements.

The investigated MOF systems have potential applications in sustainable hydrogen production, radiation-assisted energy conversion, and advanced catalytic water-splitting technologies. The use of transition-metal-based MOFs may also provide a pathway toward reducing dependence on expensive noble metals.

However, the practical application of MOFs under ionizing radiation requires further investigation of their long-term radiation stability. Possible framework degradation, ligand decomposition, structural collapse, and changes in electronic properties may influence catalytic performance. Therefore, future studies should focus on the development of radiation-resistant MOFs and MOF-based hybrid materials with improved charge transport and catalytic stability [10].

6. Conclusion.

The investigation demonstrates that MOF materials can significantly influence hydrogen production during gamma-irradiation-assisted water decomposition. Hydrogen generation was observed for all investigated MOF samples, while A3, A5, and A14 exhibited the highest hydrogen yields under the applied experimental conditions. The observed differences demonstrate the importance of MOF composition and structural characteristics in controlling radiocatalytic activity.

The proposed mechanism involves interactions between MOF active sites and radiation-induced species such as hydrated electrons, hydrogen atoms, and hydroxyl radicals. The porous structure and tunable metal centers of MOFs can promote charge-transfer processes, facilitate proton reduction, and potentially suppress recombination reactions. The hydrogen yield is also influenced by absorbed radiation dose, dose rate, temperature, and catalyst stability.

Overall, MOF-assisted gamma-radiolytic hydrogen production represents a promising direction for innovative energy- and resource-saving technologies. Further optimization of MOF composition, pore structure, radiation resistance, and irradiation parameters may provide an effective basis for developing efficient and sustainable low-carbon hydrogen-production systems.

References

1. LaVerne, J. A. OH Radicals and Oxidizing Products in the Gamma Radiolysis of Water. *Radiation Research* 2000, *153*, 196–200.

2. Le Caër, S. Water Radiolysis: Influence of Oxide Surfaces on H_2 Production under Ionizing Radiation. *Water* 2011, *3*, 235–253.

3. Farrusseng, D. *Metal-Organic Frameworks: Applications from Catalysis to Gas Storage*. Wiley-VCH, Weinheim, 2011.

4. Furukawa, H.; Cordova, K. E.; O'Keeffe, M.; Yaghi, O. M. The Chemistry and Applications of Metal-Organic Frameworks. *Science* 2013, *341*, 1230444.

5. Kuppler, R. J.; Timmons, D. J.; Fang, Q. R.; Li, J. R.; Makal, T. A.; Young, M. D.; Yuan, D.; Zhao, D.; Zhuang, W.; Zhou, H. C. Potential Applications of Metal–Organic Frameworks. *Coordination Chemistry Reviews* 2009, *253*, 3042–3066.

6. Li, J. R.; Kuppler, R. J.; Zhou, H. C. Selective Gas Adsorption and Separation in Metal–Organic Frameworks. *Chemical Society Reviews* 2009, *38*, 1477–1504.

7. Wang, C.; Liu, D.; Lin, W. Metal–Organic Frameworks as a Tunable Platform for Designing Functional Molecular Materials. *Journal of the American Chemical Society* 2013, *135*, 13222–13234.

8. Férey, G. Hybrid Porous Solids: Past, Present, Future. *Chemical Society Reviews* 2008, *37*, 191–214.

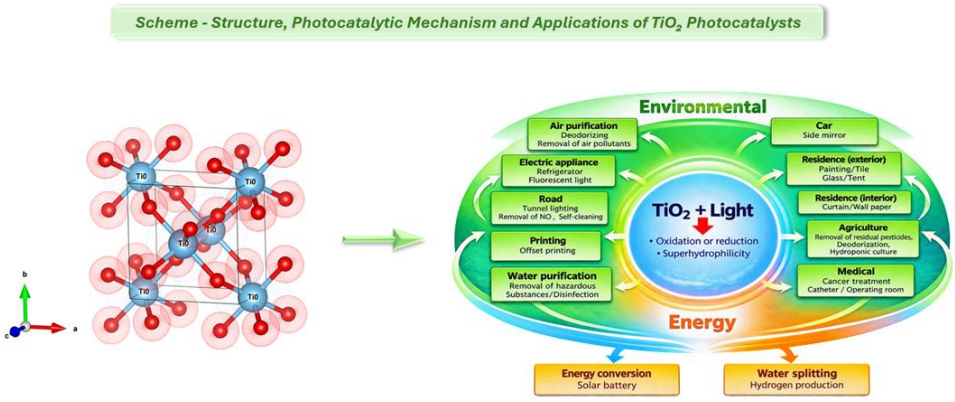
9. Rowsell, J. L. C.; Yaghi, O. M. Metal–Organic Frameworks: A New Class of Porous Materials. *Microporous and Mesoporous Materials* 2004, *73*, 3–14.

10. Kreno, L. E.; Leong, K.; Farha, O. K.; Allendorf, M.; Van Duyne, R. P.; Hupp, J. T. Metal–Organic Framework Materials as Chemical Sensors. *Chemical Reviews* 2012, *112*, 1105–1125.

CRYSTAL STRUCTURE, RADIATION-CATALYTIC PROPERTIES AND ELECTROCHEMICAL FORMATION OF TiO_2 NANOSTRUCTURES FOR ENERGY- AND RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES

*Gunel Imanova, Hokman Mahmudov, Bahar Mammadova, Seljan Hajiyeva
Institute of Physics, Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan,
Baku, Azerbaijan
*Corresponding author: gunel_imanova55@mail.ru

Abstract: Titanium dioxide (TiO_2) nanoparticles have attracted considerable scientific interest due to their unique physicochemical properties, high chemical stability, relatively low toxicity, and versatile catalytic activity. At the nanoscale, TiO_2 exhibits properties that differ significantly from those of its bulk counterpart, making it attractive for photocatalysis, environmental remediation, energy conversion, radiation-induced processes, and water treatment. Its catalytic performance strongly depends on crystal structure, particle size, surface characteristics, structural defects, and thermal effect [1-2]. See the scheme below:



The anatase and rutile polymorphs exhibit different structural and physicochemical characteristics, resulting in different photo- and radiation-catalytic activities. Thermal effect can modify the phase composition, crystallinity, particle size, and defect concentration of TiO_2 and consequently affect its catalytic performance [3,4]. Radiation-induced water decomposition in the presence of TiO_2 is particularly important because ionizing radiation generates highly reactive species, including hydroxyl radicals, hydrated electrons, and hydrogen-containing species. The kinetics of heterogeneous water radiolysis therefore depends on the crystal phase, temperature, water vapor pressure, surface structure, and defect concentration [5,6]. In this work, the influence of high-temperature annealing on nano-rutile and nano-anatase TiO_2 particles is considered in relation to their crystal structure and photoactivity. In addition, the mechanism of TiO_2 nanotube formation by electrochemical anodization is discussed. The combination of controlled crystal structure and nanostructured morphology provides opportunities for the development of

TiO_2-based materials for hydrogen production, water purification, environmental remediation, solar-energy conversion, and other energy- and resource-saving technologies.

Keywords: TiO_2 nanoparticles; anatase; rutile; crystal structure; thermal effect; radiation catalysis; water radiolysis; anodization; TiO_2 nanotubes; hydrogen production.

1. Crystal Structure and Radiation-Catalytic Properties of TiO_2:

The catalytic properties of nano-TiO_2 are closely related to its crystal structure and surface characteristics. Anatase and rutile differ in their crystal structures, surface energies, defect formation, and electronic properties. High-temperature annealing can cause changes in crystallinity, particle size, phase composition, and surface defect concentration, thereby modifying the photoactive and radiation-catalytic properties of TiO_2.

Radiation-induced decomposition of water involves the formation of reactive species through radiolysis. In the presence of TiO_2 nanoparticles, surface reactions and charge-transfer processes can modify the reaction pathways and kinetics. Therefore, the investigation of heterogeneous water radiolysis at different temperatures and water vapor pressures provides information about the role of environmental and structural parameters in radiation-catalytic water decomposition. Such processes are of interest for hydrogen generation and radiation-assisted energy conversion [1-2,5].

High-temperature annealing of nano-rutile and nano-anatase particles allows the relationship between crystal structure and photoactivity to be established. The observed structural changes demonstrate that thermal effect is an important parameter for controlling the functional properties of TiO_2-based catalytic materials.

2. Electrochemical Formation Mechanism of TiO_2 Nanotubes.

Electrochemical anodization of titanium is an effective method for producing highly ordered TiO_2 nanotube arrays. Nanotube formation is governed by the simultaneous processes of titanium oxidation, electric-field-assisted ion migration, oxide formation, and fluoride-assisted dissolution. During anodization, titanium is oxidized at the anode:

$$Ti \rightarrow Ti^{4+} + 4e^- \quad (1)$$

The generated Ti^{4+} ions migrate through the growing oxide under the applied electric field. Water dissociation provides OH^- and O^{2-} species, which participate in oxide formation:

$$Ti^{4+} + 4OH^- \rightarrow Ti(OH)_4 \quad (2)$$

$$Ti^{4+} + 2O^{2-} \rightarrow TiO_2 \quad (2a)$$

The hydrated oxide can subsequently undergo condensation:

$$Ti(OH)_4 \rightarrow TiO_2 + 2H_2O \quad (3)$$

The electric field across the oxide layer is expressed as:

$$F = \Delta U/d$$

where ΔU is the potential difference and d is the oxide thickness. As the oxide becomes thicker, the electric field decreases, which limits further ionic migration and contributes to the self-limiting character of oxide growth.

At the cathode, hydrogen is released:

$$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2 \quad (4)$$

The overall electrochemical reaction can be represented as:

$$Ti + 2H_2O \rightarrow TiO_2 + 2H_2 \quad (5)$$

The formation of nanotubes requires simultaneous dissolution of the oxide layer. Fluoride ions in the electrolyte react with TiO_2 and hydrated titanium oxide, producing soluble hexafluorotitanate complexes:

$$TiO_2 + 6F^- + 4H^+ \rightarrow TiF_6^{2-} + H_2O \quad (6)$$

$$Ti(OH)_4 + 6F^- \rightarrow TiF_6^{2-} + 4OH^- \quad (7)$$

Ti^{4+} ions can also react directly with fluoride ions:

$$Ti^{4+} + 6F^- \rightarrow TiF_6^{2-} \quad (8)$$

The formation of soluble $[TiF_6]^{2-}$ facilitates the removal of titanium-containing species from the oxide layer. The applied electric field further assists ionic migration and oxide dissolution. The high thermodynamic stability of $[TiF_6]^{2-}$, with a reported standard Gibbs free energy of formation of approximately −2118.4 kJ mol^{-1} compared with approximately −821.3 kJ mol^{-1} for TiO_2, favors the dissolution process [1-2].

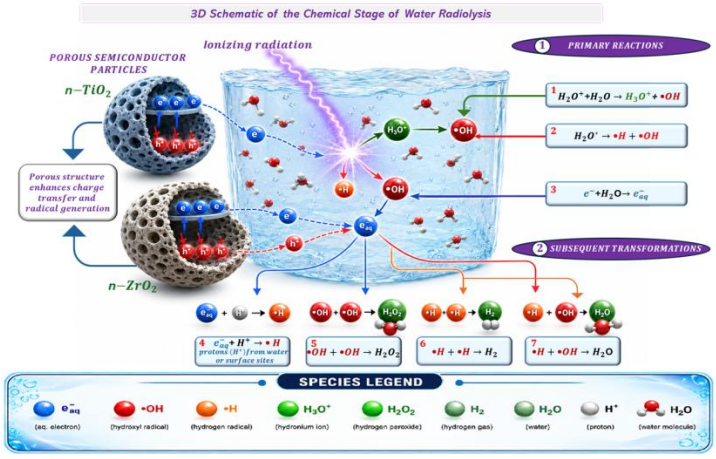
Oxygen evolution may occur as a secondary anodic reaction:

$$2H_2O \rightarrow O_2 + 4e^- + 4H^+ \quad (9)$$

Consequently, TiO_2 nanotube formation results from the dynamic balance between oxide growth at the Ti/TiO_2 interface and fluoride-assisted dissolution at the TiO_2/electrolyte interface. Localized dissolution, combined with field-assisted ion transport, promotes pore initiation and subsequent nanotube development. The morphology and dimensions of the nanotubes depend on the applied potential, anodization time, electrolyte composition, fluoride concentration, water content, and temperature.

3. Applications and Energy- and Resource-Saving Potential.

The resulting TiO_2 nanostructures possess high specific surface area, chemical stability, and favorable photocatalytic and photoelectrochemical properties. These characteristics make them promising for several energy- and resource-saving applications. See the scheme below:



In photocatalytic water treatment, TiO_2 generates electron–hole pairs under irradiation, leading to surface redox reactions and the formation of reactive oxygen species capable of degrading organic pollutants. TiO_2 nanotube arrays are particularly attractive because their immobilized structure facilitates catalyst recovery and reuse.

In hydrogen production, TiO_2 nanotubes can serve as photoelectrodes for photoelectrochemical water splitting. Their ordered morphology provides a large active surface area and can facilitate charge transport. Appropriate modification of TiO_2 can further improve light absorption and charge separation.

TiO_2 nanotubes are also promising for solar-energy conversion, environmental remediation, sensing, antibacterial surfaces, corrosion protection, and energy-storage systems. Their structural and surface properties can be tailored by thermal treatment, doping, surface modification, and control of anodization parameters.

4. Conclusion

The structural, thermal, radiation-catalytic, and electrochemical characteristics of TiO_2 demonstrate the strong relationship between material structure and functional performance. The photo- and radiation-catalytic activity of nano-TiO_2 is influenced by crystal phase, thermal history, surface structure, defects, temperature, and water vapor pressure. Meanwhile, electrochemical anodization provides a controllable route for producing highly ordered TiO_2 nanotube arrays through the coupled processes of oxidation, ionic migration, oxide formation, and fluoride-assisted dissolution.

The resulting TiO_2 nanostructures have significant potential for hydrogen production, photocatalytic water purification, environmental remediation, solar-energy conversion, and other sustainable technologies. Optimization of crystal structure and nanotube morphology can therefore contribute to the development of innovative energy- and resource-saving technologies with improved efficiency and reduced material consumption.

References

1. Ali, I.; Imanova, G.; Basheer, A. A. *Hydrogen Production by Water Splitting, Storage and Transportation: From Laboratories to Industries*. CRC Press, Boca Raton, USA, 2024.
2. Ali, I.; Imanova, G. T.; Mbianda, X. Y.; Alharbi, O. M. L. Role of the radiations in water splitting for hydrogen generation. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 2022, *51*, 101926.
3. Imanova, G. T. Kinetics of radiation-heterogeneous and catalytic processes of water in the presence of zirconia nanoparticles. *Advanced Physical Research* 2020, *2*, 94–101.
4. Imanova, G. T.; Agayev, T. N.; Jabarov, S. H. Investigation of structural and optical properties of zirconium dioxide nanoparticles by radiation and thermal methods. *Modern Physics Letters B* 2021, 2150050.
5. Imanova, G. T. Modeling defect formation in nano-ZrO_2 under He and H^+ irradiation. *Modern Physics Letters B* 2024, *38*, 2450206.
6. Imanova, G. Structural analysis of ZrO_2 and TiO_2 nanoparticles. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics* 2023, *23*(6), 1114–1121.

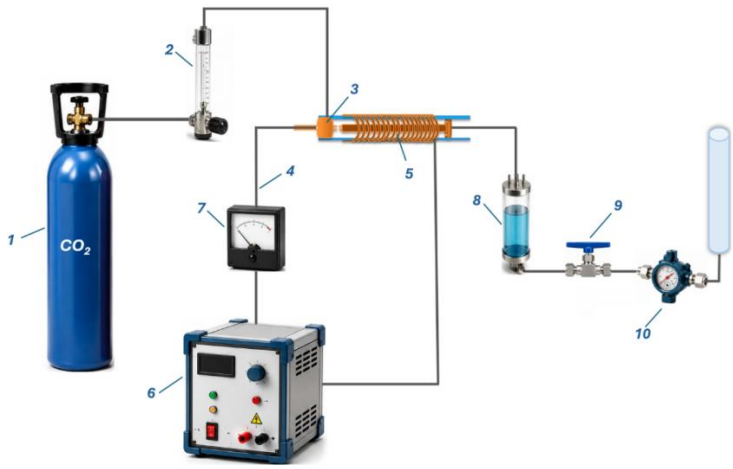
STUDY OF CARBON DIOXIDE ACTIVATION IN A DIELECTRIC DISCHARGE DEVICE

*Hokman Mahmudov, Gunel Imanova, Bahar Mammadova,
Fethullah Chichek, Bahar Mammadova, Seljan Hajiyeva,
Samira Aliyeva-Chichek, Zumrud Sabzaliyeva
Institute of Physics, Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan
*Corresponding author: hokman@mail.ru

This research work is devoted to the kinetic study of the ionization of CO_2 and its dissolution in water at low voltage and conductivity intervals of a high-voltage dielectric discharge device (HVDDD) in homo and hetero phases. The processes are carried out under flow conditions, the results are studied on the basis of the kinetics of the pH change of water in a comparative manner:

Preparation of samples: In the laboratory, a high-voltage dielectric discharge device (HVDDD) operating under multifunctional flow conditions was assembled (see scheme 1).

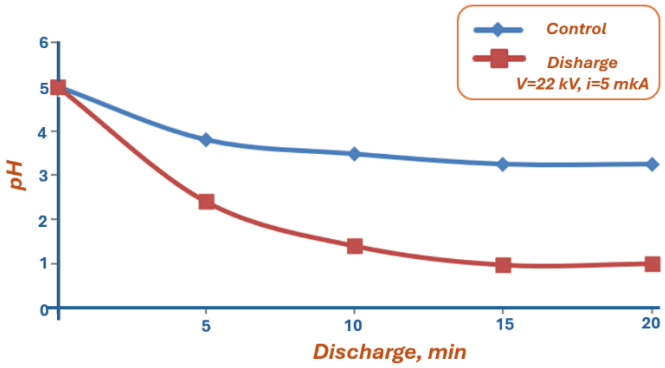
Schematic of a high-voltage dielectric discharge device



Carbon dioxide balloon (CO_2-98%), 2- regulator and speed measuring rotameter, 3- quartz reactor, 4- internal electrode, 5- external electrode, 6- high voltage pulse generator, 7- milliammeter, 8- liquid reservoir, 9-three-way tap and 10-gas speedometer

RESULTS: Scheme 2 shows the kinetic dependence of the change in the pH of the water, the main indicator of the solubility of carbon dioxide gas in water in the primary (control) and treated in the HVDDD under flow conditions. As it can be seen, the pH of the environment in the dissolution of primary untreated carbon dioxide gas varies from 5.7 to 4.3, while the pH of the gases treated in the HVDDD varies from 5.7 to 4.1, which is a 0.02 unit shift of the pH to an acidic environment and dissolution. is the main indicator of the acceleration of being.

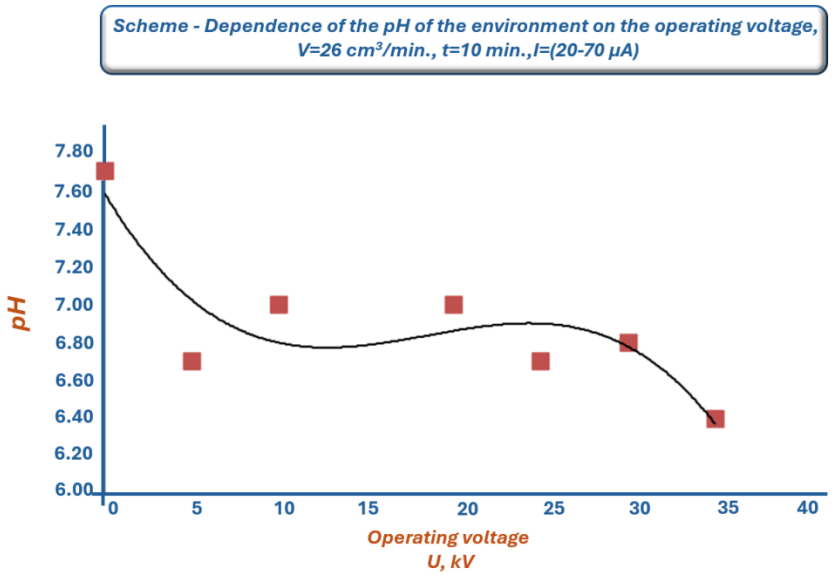
Scheme - Kinetic dependence of water pH change on the dissolution of carbon dioxide gas under flow conditions (initial control) and processed in HVDDD (V = 40 ml/sec, V = 22 kV, I = 5 μA)



Calculating a change in pH of 0.02 according to figure 2, it is equivalent to MH_2CO_3=0.02 mol, which means that CO_2 is already dissolved and the additional carbon dioxide formed is M=0.03 g (0.03 M $CaCO_3$). The amount of substance obtained is also determined gravimetrically.

The kinetic dependence of the change in the pOH of the environment during the passage of the carbon dioxide gas used in the initial (control) and HVDDD through a 0.1% CaO solution under flow conditions. As it can be seen, the pH of the environment during the dissolution of primary untreated carbon dioxide gas varies from 13 to 9, while the pH of the gases treated in the HVDDD varies from 13 to 6.7, which means that the lower pH value of 2.3 is more is an indicator of too much solubility, i.e. $CaCO_3$ formed.

The dependences of pH parameters on the effective operating voltage at constant effective energy consumption are shown in scheme 3 respectively.



As can be seen from scheme, if the pH of the medium decreases from 7.7 to 6.8 at $\Delta V \leq 10$ kV values of the operating effective voltage, it does not change stably in the $\Delta V = 10 \div 20$ kV range, and at $\Delta V \geq 20$ kV values, the pH decreases again, i.e. A decrease in pH from 6.8 to 6.4 is observed. Under flow conditions, at values of absorbed energy $P \leq 140$ kC/kg (absorbed dose $D \leq 140$ kGy) in a high-voltage dielectric discharge device (HVDD) the dissolution of carbon dioxide in water and the conversion of $CaCO_3$ in a 0.1% CaO solution occur more rapidly.

References: H. M. Mahmudov, M. A. Gurbanov, G. T. Imanova, T. Y. Suleymanov, Z. E. Sabzaliyeva, K. V. Azizova, S. A. Hasanova, B. M. Mammadova, G. E. Isayeva, and S. Z. Guliyeva /Application of radiation technologies, increase of catalysts surface activity/ J.Modern Physics Letters B, Condensed Matter Physics; Statistical Physics; Atomic, Molecular and Optical Physics, https://doi.org/10.1142/S0217984923502597

KUCHLANISHI 0,4 KV TARMOQLARDAGI NOSIMMETRIK HOLATLARNING QUYOSH FOTO ELEKTR STANSIYALAR ISH REJIMIGA TA’SIRI

Qarshi davlat texnika universiteti
t.f.f.d.,(PhD) dots., Umirov A.P., magistrantlar., Saodatov.D.B., Irisov.X.R.

Kuchlanishi 0,4 kV taqsimlash tarmoqlarida fazalar bo‘yicha kuchlanishlarning sezilarli nomutanosibligi muammosi mavjud. Yuklangan fazalarda kuchlanish 170 V gacha pasaysa, kam yuklangan fazalarda “nol” nuqtaning siljishi natijasida 240 V va undan yuqori qiymatlargacha oshishi mumkin. [1.]. Ortiqcha kuchlanish iste’molchilarning elektr jihozlari va qurilmalarining ishdan chiqishiga olib kelishi mumkin.

Kuchlanish nosimmetriyasi asosan bir fazali yuklamalarning notekis taqsimlanishi natijasida yuzaga keladi. Bu holatda liniya simlarida kuchlanish tushuvi fazalar bo‘yicha turlicha bo‘ladi. Natijada, to‘rt simli tarmoqning nol o‘tkazgichida fazalar toklarining geometrik yig‘indisiga teng tok paydo bo‘ladi. Ayrim hollarda (masalan, bir yoki ikki faza yuklamasi uzilganda) nol simdan o‘tayotgan tok fazadagi tokka teng bo‘lishi ham mumkin.

Bu jarayonlar quyidagi salbiy oqibatlarga olib keladi:

- 0,4 kV elektr uzatish liniyalarida qo‘shimcha energiya isroflari ortishi;
- 10/0,4 kV taqsimlash transformatorlarida qo‘shimcha yo‘qotishlar paydo bo‘lishi;

- yuqori kuchlanishli tarmoqlarda ham umumiy isroflarning ko‘payishi.

Bunday holatlar, ayniqsa, qishloq hududlarida keng tarqalgan bo‘lib, ko‘p qavatli turar joy binolarida ham uchraydi [2.]. Chunki amalda yuklamalarni fazalar bo‘yicha mutlaqo teng taqsimlash deyarli imkonsiz. Natijada nol o‘tkazgichda katta toklar paydo bo‘lib, guruh va ta’minot liniyalari o‘tkazgichlarida qo‘shimcha isroflarni keltirib chiqaradi. Shu sababli ko‘p hollarda nol ishchi sim kesimini faza simlari kesimiga tenglashtirish zarurati yuzaga keladi.

Kuchlanish nosimmetriyasi elektr jihozlari ishiga jiddiy ta’sir ko‘rsatadi. Masalan, asinxron dvigatel klemmalarida kuchlanish asimmetriyasi 2% bo‘lganda ham:

- statorda quvvat yo‘qotishlari 33% gacha,
- rotorda esa 12% gacha oshadi.

Bu esa cho‘lg‘amlarning qo‘shimcha qizishiga, izolyatsiya xizmat muddatining taxminan 10,8% ga qisqarishiga olib keladi. Agar nosimmetriya 5% gacha yetsa, umumiy yo‘qotishlar 1,5 barobarga oshadi va dvigatel tomonidan iste’mol qilinadigan tok ham ko‘payadi. Muhimi, ushbu qo‘shimcha isroflar dvigatel yuklamasiga bog‘liq emas.

Yoritish qurilmalarida ham kuchlanish o‘zgarishlari sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Masalan, cho‘g‘lanma lampalarda kuchlanish 5% ga oshganda:

- yorug‘lik oqimi 20% ga ortib,
- xizmat muddati ikki barobarga qisqaradi.

0,4 kV tarmoqlarda kuchlanish nosimmetriyasi elektr energiyasi sifatining yomonlashuviga, qo‘shimcha energiya isroflariga va elektr uskunalarining ishonchliligini pasayishiga olib keladi.

Kuchlanishli 0,4 kV elektr tarmoqlarida mavjud elektr tarmoqlari yuklamalari tahlil qilinmasdan ayniqsa bir fazali quyosh fotoelektr stansiyalar (FES) joriy qilinishi, nol o‘tkazgichdagi toklarning ortishiga, quvvat yo‘qotishlarining keskin ko‘payishiga (katta nosimmetriya holatida 75% gacha) va elektr energiyasi sifati ko‘rsatkichlarining yomonlashuviga olib keladi. Bu jarayonlarda kuchlanishning ortiqcha oshishi yoki pasayishi kuzatilib, transformatorlarning ortiqcha qizishi va elektr uskunalarining ishdan chiqishiga sabab bo‘ladi [3].

QFES joriy etilishi sharoitida nosimmetriyaning asosiy ta’sir jihatlari quyidagilardan iborat:

- Quvvat yo‘qotishlarining ortishi. FESning fazalar bo‘yicha notekis taqsimlanishi nol ketma-ketlik toklarining ortishiga olib keladi. Bu esa elektr uzatish liniyalari va transformatorlarda aktiv quvvat yo‘qotishlarini bir necha barobar oshiradi.
- Kuchlanish sifatining yomonlashuvi. FES generatsiyasi yuqori bo‘lgan fazalarda kuchlanish ortib ketadi, yuklama katta bo‘lgan fazalarda esa kuchlanish pasayishi kuzatiladi. Natijada kuchlanish parametrlari meyoriy hujjatlar (GOST) talablaridan chiqib ketadi.
- Kuch transformatorlarining ish rejimi. Nosimmetriya transformator magnit o‘zagida qo‘shimcha yo‘qotishlarni keltirib chiqaradi. Bu ortiqcha qizishga, xizmat muddatining qisqarishiga va favqulodda o‘chish xavfining oshishiga sabab bo‘ladi.
- Nol o‘tkazgichga tushadigan yuklama. Nol simdagi tokning ortishi uning ortiqcha yuklanishiga olib keladi. Ayniqsa, eski elektr tarmoqlarida bu holat jiddiy muammolarni keltirib chiqaradi.
- Tartibga solish zarurati. Nosimmetriya ta’sirini kamaytirish uchun uch fazali invertorlardan foydalanish, intellektual boshqaruv tizimlari (Smart Grid)ni joriy etish yoki FESlarni fazalar bo‘yicha qayta taqsimlash talab etiladi.

QFESlarni fazalar muvozanatini hisobga olmasdan joriy etish 0,4 kV tarmoqlardagi mavjud muammolarni, ayniqsa qishloq hududlarida, yanada kuchaytiradi [4.]. Shu sababli elektr taqsimlash tarmoqlarini holatlarini tahlil qilish va yuklamalarni qayta taqsimlash kabi mezonlarni hisobga olib quyosh foto elektr stansiyalarini joriy qilish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO’YXATI

1. Железко Ю. С. Потери электроэнергии; Реактивная мощность; Качество электроэнергии. М: Издательский НЦ ЭНАС. 2009. ISBN 978-5-93196-958-9.
2. Prakash K., Sydulu M. Particle Swarm Optimization Based Capacitor Placement on Radial Distribution System. IEEE Power engineering society general meeting. 2007. pp. 1-5.
3. Лежнюк П. Д., Комар В. А., Собчук Д. С. Определение оптимальной установленной мощности возобновляемых источников энергии в распределеной критериев сети по критерию минимума потерь активной мощности. НАЦІОНАЛЬНОГО НАУКОВІ ТЕХНІЧНОГО ПРАЦІ ДОНЕЦЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ. ЕЛЕКТРОТЕХНІКА І ЕНЕРГЕТИКА. 2014. №1 (16).
4. Dixit M., Kundu P., Jariwala H. R. Incorporation of Distributed Generation and Shunt Capacitor in Radial Distribution System for Techno Economic Benefits. Elsevier Ltd., Eng. Sci. Tech., Int. Journal 2017.
5. El-Fergany A. A., Abdelaziz A. Y. Cuckoo search-based algorithm for optimal shunt capacitors allocations in distribution networks. Electrical Power Components System. 2013. Vol. 41, pp. 1567-1581.

ДЕГРАДАЦИЯ ПОЛИЭТИЛЕНА В ПРОЦЕССЕ УСКОРЕННОГО СТАРЕНИЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КОНЦЕНТРИРОВАННОГО СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Ш.Р. Нурматов, М.Х. Руми, М.А. Зуфаров, Э.П. Мансурова, С.Х. Уролов,
Н. Кенжаев, Р. Оринбоев, С. Гулматов
Институт материаловедения Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан.
E-mail: nur1973@list.ru

Проблемы деградации полиэтилена, составляющего значительную часть пластиковых отходов в мире, являются предметом многочисленных исследований. Изучение влияния природных факторов на процессы окисления проводят как в лабораториях, так и в естественных климатических условиях. В данном материале представлены результаты ускоренных испытаний изделий из полиэтилена высокой плотности в условиях циклического комбинированного воздействия концентрированного солнечного излучения на БСП (г. Паркент) и естественных климатических факторов в течение 75 дней. Плотность лучистого потока в центре зоны облучения составляла 0,6 Вт/см^2, температура на поверхности около 60°C [1]. Изделия представляли собой трубу (Р-1) и геомембрану (Р-2) черного цвета, а также фитинг оранжевого цвета (Р-3). Методами ИК-спектроскопии и XRD определяли содержание продуктов окисления путем расчета кетонового и винильного индексов [2], а также сведения о кристаллической структуре и фазовом составе образцов.

Дифрактограммы всех образцов показывают типичную картину аморфно-кристаллического полиэтилена. На дифрактограмме образца Р-1отмечено наличие $CaCO_3$. В таблице 1 приведены данные о параметрах элементарной ячейки и размерах кристаллитов, рассчитанных по формуле Шерера

$$L_c = \frac{K*\lambda}{B*\cos\theta},$$

где: B -полуширина пика (FWHM), K – постоянная Шеррера (0,89), λ –длина волны излучения, а θ – угол Брэгга.

Таблица 1. Данные о структуре полиэтилена в образцах до и после испытаний.

Образцы		Параметры элементарной ячейки ПЭ				Размеры кристаллов, D, нм	
		a,Å	b, Å	c, Å	V, Å^3	D 110	D 200
Р-1	до	7,4394	4,9661	2,5558	94,42	21,1	17,9
	после	7,4300	4,9594	2,5515	94,02	25,3	22,5
Р-2	до	7,4722	4,9708	2,5528	94,82	17,0	14,9
	после	7,4658	4,9647	2,5512	94,56	20,0	16,7
Р-3	до	7,5048	4,9952	2,5603	95,98	15,4	13,6
	после	7,4827	4,9718	2,5549	95,05	20,0	18,0

Из приведенных в таблице данных видно, что размеры кристаллитов (областей когерентного рассеяния) во всех образцах после испытаний увеличивался, при этом их рост коррелировал с толщиной образца. Можно предположить, что в нашем случае причиной роста кристаллитов является термическая кристаллизация, вызванная длительным, хотя и не непрерывным, нагревом при температуре около 60°C [3]. Толстые образцы (Р-1 и особенно Р-3) при смене условий окружающей среды более долгое время сохраняют накопленное тепло, по сравнению с наиболее тонким образцом Р-2. Степень изменения параметров ячейки также пропорциональна толщине образца. Литературные данные весьма противоречивы в обосновании динамики изменений данных характеристик. Поэтому для более полного понимания такого поведения требуется проведение дополнительных, более глубоких исследований

ИК-спектры исходных образцов отражали типичную картину спектра полиэтилена. При этом было установлено наличие неоднородности исходного состава образца Р-1, выражающиеся в наличии или отсутствии полос поглощения, относящиеся к наполнителю $CaCO_3$. Также во всех образцах в исходном состоянии отмечали наличие слабой полосы поглощения карбонильных групп в области 1690-1770 см$^{-1}$, обусловленных наличием технологических добавок и первичного термоокисления в процессе производства, что было учтено при расчете карбонильного и кетонового индексов. После испытаний было отмечено увеличение интенсивности полос поглощения связей C=O (карбонильных групп) и связей C-O с максимумом при 1030 см$^{-1}$, что свидетельствовало о протекании окислительных процессов. Характер и степень деградации испытуемых образцов зависели от фазового состава, цвета, а также толщины изделий. Так в наиболее тонком образце Р-2, превалирующим являлось фотоокисление, что нашло отражение в форме кривой ИК - спектра в области карбонильных соединений, увеличении кетонового и винильного индексов. В образцах большей толщины (Р-1 и Р-3) рост кетонового индексов сохранялся, достигая максимального значения у образца Р-3. При этом в последнем отмечали только расход ненасыщенных винильных связей, вследствие более заметного влияния процесса термоокисления [4]. На уменьшение стабильность трубы также оказало влияние наличие в ее составе неравномерно распределенного $CaCO_3$ [5]. Кетоновый индекс, рассчитанный по пику 1718 см$^{-1}$, составлял 0,045-0,053. После завершения испытаний черные образцы сохранили исходный цвет, поверхность фитинга обесцветилась.

Полученные данные свидетельствуют о начальной или умеренной степени деградации изделий, прошедших ускоренные испытания.

Ключевые слова: полиэтилен, фотоокисление, термоокисление, кетон, винил.

1. Sobirov, Yu. B.,Makhmudov, S. Sh., Abdurakhimov, F. F. Determination of the Resistance of Polymeric Materials to Solar Radiation./ Applied Solar Energy. 2022; 58:6. https://doi.org/10.3103/S0003701X22060159
2. Jasmine Almond, Piriya Sugumaar, Margot N. Wenzel, Gavin Hill, and Christopher Wallis, Determination of the carbonyl index of polyethylene and polypropylene using specified area under band methodology with ATR-FTIR spectroscopy./e-Polymers 2020; 20: 369–381. https://doi.org/10.1515/epoly-2020-0041
3. Nabila Rouba, Tahar Sadoun, Naima Boutagrabet et al. Thermo-Oxidation and Biodegradation Study of Low-Density Polyethylene /Starch Films by IR Spectroscopy/ Iranian Journal of Chemistry & Chemical Engineering-international English Edition, 2015,Vol. 34, Issue 4 - Serial 76, Pp 69-78 DOI: 10.30492/ijcce.2015.15458
4. Mélanie Gardette , Anthony Perthue , Jean-Luc Gardette , Tünde Janecska ,
5. Eniko Földes , Béla Pukánszky , Sandrine Therias, Photo- and thermal-oxidation of polyethylene: Comparison of mechanisms and influence of unsaturation content, , Polymer Degradation and Stability. 2013;98: 2383-2390. DOI : 10.1016/j.polymdegradstab.2013.07.017
6. Paula A. Zapata , Humberto Palza , Boris Díaz , Andrea Armijo , Francesca Sepúlveda ,
7. J. Andrés Ortiz , Maria Paz Ramírez and Claudio Oyarzún, Effect of $CaCO_3$ Nanoparticles on the Mechanical and Photo-Degradation Properties of LDPE/ Molecules 2019, 24, 126; DOI:10.3390/molecules24010126

ҚУЁШЛИ ҲАВО ҚИЗДИРГИЧИНИНГ ИССИҚЛИК БАЛАНСИ

Ш.Х. Эргашев[1], Ш.Б.Хайриддинов[2] А.А. Жалилов[3]
[1]. Қарши давлат техника университети
[2]. Иқтисодиёт ва педагогика университети
[3]. Қарши давлат техника университети магистранти

Кириш. Қуёшли ҳаво қиздиргичлари (ҚҲҚ) ишлаб чиқариш-технологик камчиликка эга: суткалик узилишлар, об-ҳаво ва мавсумий шароитларда қуёш радиациясининг тушиши ўзгариши, уларнинг иш унумдорлигини сезиларли даражада пасайтиради. Кўплаб ҳолларда иссиқлик-технологик жараёнлар узлуксиз, сутка давомида амалга оширилади. Қуёш радиацияси мавжуд бўлмаган шароитларда (тунги вақт, юқори булутлилик) ҚҲҚ ишлаб чиқариш циклидан чиқарилади.

Ишлатилган иссиқлик ташувчининг (иссиқ ҳаво, қуритиш агенти, ёқилғи ёниш маҳсулотлари ва бошқалар) иссиқлигини утилизация қилиш иссиқлик-технологик жараённинг иссиқлик самарадорлигини оширишнинг энг самарали усули ҳисобланади. Бу жараён қуйидаги уч усул орқали амалга оширилади: рециркуляцион, регенератив ва рекуператив усуллар. Ишлатилган иссиқлик ташувчининг тўғридан-тўғри рециркуляцияси ҳар доим ҳам мақбул ҳисобланмайди, чунки ишлатилган иссиқлик ташувчи юқори даражада чангланган, намлик миқдори ошган, углерод диоксиди, аэрозоллар ва бошқа аралашмаларни ўз ичига олган бўлиши мумкин. Регенератив усуллар эса катта ҳажмли иссиқлик тўпловчи (аккумуляцияловчи) қурилмалар мавжудлигини талаб қилади.

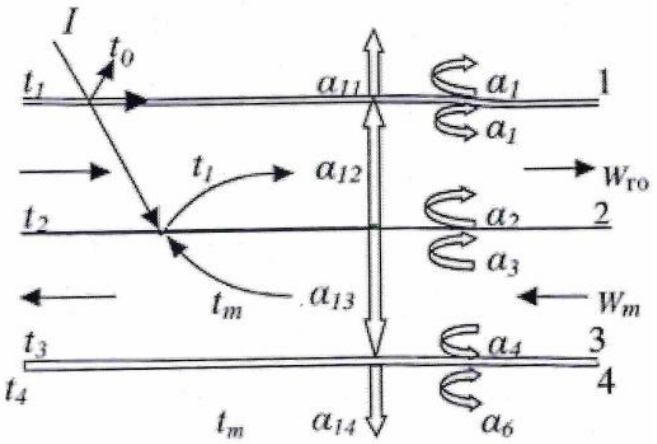
Конструктив ва технологик нуқтаи назардан энг мақбул ечим рекуператив усулни қўллаш ҳисобланади. Ушбу усул ҚҲҚни рекуператив иссиқлик алмаштиргич – иссиқлик утилизатори (РУИ) билан бирлаштириш имконини беради ҳамда ҚҲҚ конструкциясига катта ўзгартишлар киритишни талаб этмайди [1, 2].

Тадқиқот материаллари ва усуллари

Муаллифлар томонидан турли хил иссиқлик-технологик жараёнларда ҳосил бўладиган ва ишлатилган иссиқлик ташувчиларининг иссиқлигини утилизация қилиш мақсадида текис икки каналли қуёшли ҳаво қиздиргичидан рекуператив иссиқлик утилизатори сифатида (ҚҲҚ-РУИ) фойдаланиш таклиф этилмоқда [3]. Қуёш радиацияси мавжуд бўлган шароитда ҚҲҚнинг юқори канали анъанавий қуёшли ҳаво қиздиргич режимида ишлайди. Пастки канал рекуператив иссиқлик алмаштиргич ҳисобланиб, ишлатилган иссиқлик ташувчининг иссиқлигини утилизация қилиш ҳисобига ҳавони қўшимча равишда қиздиришни таъминлайди. Қуёш радиацияси мавжуд бўлмаган ҳолатда ҚҲҚ ишлатилган иссиқлик ташувчининг иссиқлигини рекуператив утилизация қилиш режимида ишлайди

ҚҲҚни РУИ билан бирлаштириш ҚҲҚнинг иссиқлик ишлаб чиқариш қувватини оширади ҳамда қуёш радиацияси мавжуд бўлмаган шароитда унинг «бекор туриш» ҳолатини бартараф этишни таъминлайди. Амалиётга йўналтирилган тадқиқот вазифаси ҚҲҚ-РУИ иш режимларини иссиқлик жиҳатидан асослашдан иборат.

ҚҲҚ-РУИнинг эни b = 1 м, узунлиги L = 5 м бўлиб, юқори қисми 1 – ойна билан қопланган. Туб қисми 3 ва ойна 1 орасига қорайтирилган иссиқлик алмаштиргич 2 ўрнатилган (1-расм). Ойна қопламаси 1 ва иссиқлик алмаштиргич 2 юқори канални ҳосил қилади, унинг баландлиги $h_в = 0{,}1$ м бўлиб, ушбу канал бўйлаб қиздирилаётган ҳаво ҳаракатланади. Иссиқлик алмаштиргич 2 ва туб қисми 3 эса пастки канални ҳосил қилади, унинг баландлиги $h_т = 0{,}1$ м бўлиб, ушбу канал бўйлаб совитилаётган ишлатилган иссиқлик ташувчи ҳаракатланади. Иссиқлик қабул қилгич (теплоприёмник) ўтган қуёш радиациясини ютиб олади, қизийди ва ўз юзаси билан бевосита контактда ҳаракатланаётган ҳаво оқимига иссиқлик узатади. Пастки канал бўйлаб ишлатилган иссиқлик ташувчи ҳаракатланади. Иссиқлик ташувчи сифатида технологик жараёнда ишлатилган иссиқ ҳаво ёки ёқилғи ёниш маҳсулотлари хизмат қилиши мумкин. Иссиқлик қабул қилгич 2 орқали иссиқлик ташувчининг иссиқлиги юқори канал бўйлаб ҳаракатланаётган ҳавога узатилади.



1-расм. Рекуператив иссиқлик утилизаторига эга қуёшли ҳаво қиздиргичининг иссиқлик баланси схемаси:

1 – ойна; 2 – иссиқлик қабул қилгич; 3 ва 4 – туб қисми.

Юқори ва пастки каналлардаги оқимлар ҳаракати қарши оқимли (противотокли) деб қабул қилинган, чунки рекуператив иссиқлик алмашинувда қарши оқимли схема энг самарали ҳисобланади.

Илмий амалий тадқиқотлар

ҚҲҚ-РУИнинг иссиқлик баланси қуйидаги кўринишда ифодаланиши мумкин:

$$Q_{np} + Q_m = Q_{nl} + Q_{mn} \quad (1)$$

Инсоляция мавжуд бўлмаган ҳолатда

$$Q_m = Q_{nl} + Q_{mn}. \quad (1a)$$

ҚҲҚ-РУИга ўтган жами радиация

$$Q_{np} = F_i \tau \kappa_i I. \quad (2)$$

Пастки канал бўйлаб ҳаракатланаётган ишлатилган иссиқлик ташувчи томонидан узатиладиган иссиқлик

$$Q_m = G_m C_m (t_{mo} - t_{ml}); \quad (3)$$

Юқори канал бўйлаб ҳаракатланаётган ташқи ҳавони қиздиришга сарфланадиган иссиқлик фойдали иссиқлик сифатида баҳоланади. Мазкур иссиқлик қуёш радиациясини ҳамда ишлатилган иссиқлик ташувчининг иссиқлигини утилизация қилиш натижасида ҳосил қилинади:

$$Q_{nn} = G_в C_в (t_{вl} - t_m); \quad (4)$$

Юқори канал бўйлаб ҳаракатланаётган ҳавонинг ўртача массавий ҳарорати $t_в$ ва пастки канал бўйлаб ҳаракатланаётган иссиқлик ташувчининг ўртача массавий ҳарорати t_m ўзаро тенг эмас. Шу сабабли юқори ва пастки каналлардаги иссиқлик йўқотишлари алоҳида ҳисобланади.

Тадқиқот натижалари ва мухокамаси

ҚҲҚ-РУИдаги жами иссиқлик йўқотишлари

$$Q_{mn} = Q_{mmв} + Q_{mmn}; \quad (5)$$

Ён деворлар орқали иссиқлик йўқотишларини ҳисоблаш мураккаб масала ҳисобланади. Етарлича юқори даражадаги иссиқлик изоляцияси шароитида ушбу иссиқлик йўқотишлари аҳамиятсиз бўлиб (3...5% дан ошмайди), баҳоловчи ҳисоб-китобларда уларни инобатга олмаслик мумкин. Агар ён деворларнинг иссиқлик изоляцияси конструкция туб қисми изоляциясига тенг даражада таъминланса, у ҳолда ён деворлар орқали иссиқлик йўқотишларини туб қисми орқали йўқотишлар билан тенг деб баҳолаш мумкин.

ҚҲҚнинг юқори каналидаги иссиқлик йўқотишлари

$$Q_{mmв} = K_в F_1 (t_в - t_m); \quad K = \frac{(\alpha_1 + \alpha_2)(\alpha_2 + \alpha_{12})}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_{11} + \alpha_{12}}. \quad (6)$$

Ойна қопламасининг ташқи юзасидан иссиқлик йўқотишлари осмон гумбази билан t_o ҳароратда нурланиш орқали иссиқлик алмашинув ҳамда атроф-муҳит билан t_h ҳароратда конвекция орқали иссиқлик алмашинув натижасида юзага келади.

Адабиётлар:

1. Даффи Дж.А., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. – М.: Мир. 1977. – 420 с.

2. Bensaci C.E., Moummi A., Lebed A. Experimental investigation on heat transfer coefficient and thermal efficiency of solar air heaters having different baffles // Green Energy and Technology, (Springer International Publishing), 2020. – P. 309-332.

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО БИОГАЗОВОГО ОТОПЛЕНИЯ И СОЗДАНИЯ МИКРОКЛИМАТА К ВОПРОСУ ПТИЧНИКА ПО ЭКОНОМИЧЕСКОМУ КРИТЕРИЮ

Мирзаев З.С.[1], Умарова С.[2], Хайриддинов Ш.Б[3].,
1. *Каршинский государственный технический университет*
2. *Каршинский государственный университет*
3. *Университет экономики и педагогики*

Введение. Для осуществления экономически оптимального управления гелио-биоэнергетической обогревательной технологией в помещениях птицеводства нужны датчики температуры. При управлении общим обогревом помещения птичника достаточно иметь датчик температуры внутреннего воздуха. При системе солнечного отопления и создания микроклимата получателями цыплят надо иметь еще как минимум датчик облученности или датчик лучистого теплового потока. При их наличии все равно необходимы математические модели, учитывающие вклад тепловых излучений в суммарный расчетный теплообмен птицы. Такие математические модели должны учитывать по возможности больше влияющих факторов среды, следовательно, быть либо чрезмерно сложными, либо оставаться недостаточно адекватными теплообмену живого организма. Тогда следует разработать специализированный датчик ощущаемой животным или птицей температуры помещения.

Известен способ автоматического управления температурным режимом в теплице [1]. Для повышения эффективности весь период выращивания растений делится на равные промежутки времени, для каждого вычисляется оптимальная из условия равенства нулю производной от экономического критерия температура внутреннего воздуха теплицы. Этот критерий эффективности (признак результативности) есть принятая авторами частичная прибыль, равная разности стоимости продукции в ценах реализации и стоимости затрат на обогрев теплицы, причем почему-то без учета температуры наружного воздуха, что при расчете теплообмена здания птичника-моноблока чревато большими ошибками. В соответствии со значением этой экономически оптимальной температуры автоматически устанавливается задание регулятора температуры внутреннего воздуха. Будущее сельскохозяйственной энергетики, электрификации, автоматизации и информатизации остается за экономически оптимально управляемым электрифицированным локальным и общим обогревом, процессами хозяйственно наилучшего управления кормлением, микроклиматом, многими другими технологиями сельского хозяйства [2].

Цель исследований — экономически оптимальное управление солнечным обогревом гелиоптичника, в том числе, например, с учетом вредного газа аммиака в воздушной среде помещения. Задачей являются непрерывный в реальном времени автоматизированный поиск положения экономического баланса между стоимостью эксплуатационных энергетических затрат на солнечный обогрев сельскохозяйственной птицы и расчетной стоимостью продукции в ценах ее реализации, достижение экономически оптимального и энергетически рационального режима обогрева птицеводческого помещения (рис. 1).

Также задачей является получение наивысшего из значений экономического критерия прироста прибыли при автоматизированном управлении обогревом. В результате устанавливается такое значение ощущаемой животным или птицей температуры помещения, при котором обеспечивается наивысший на данный момент времени прирост прибыли при обогреве животных или птицы и производственного помещения [3].

Материалы и методика исследований

От качества (точности) и количества (мощности) локального обогрева в птичнике существенно зависят технико-экономические показатели всей птицефабрики, связанные с сохранностью и темпами развития молодняка. Используются общеизвестные количественные отношения (математические модели) между энергетическими характеристиками внутренней и внешней среды (температурами внутреннего и наружного воздуха), потребляемыми мощностью и энергией для нагрева помещения, стоимостями биологической продукции птицеводства и израсходованной энергией. На рисунке 2 дана иллюстрация взаимного действия физических и экономических характеристик процесса управления обогревом:

Твн – температура внутреннего воздуха в гелиоптичнике, °С; *Тнар* – температура наружного воздуха, °С; *Пр*–продуктивность птицы, кг/ед.времени; *Цр* – стоимость произведенной продукции птицеводства в ценах ее реализации, руб./ед.времени; $P_{обогр}$ – мощность обогрева помещения, кВт; *Зэн* – затраты энергии на обогрев птичника, кВт·ч; С – стоимость затрат энергии на обогрев птичника, руб./ед.времени; *П = Цр – С* – расчётная прибыль с учётом стоимости затрат только энергии на обогрев теплицы, руб./ед.времени; $T_{вн}{}^{техн}{}_{орт}$ – технологически наилучшая (оптимальная) температура внутреннего воздуха в помещении (температурный режим наивысшей продуктивности птицы), °С; $T_{вн}{}^{экон}{}_{орт1} | T_{нар1}$ – экономически (хозяйственно) наилучшая (оптимальная) температура внутреннего воздуха в птичнике (температурный режим наивысшей прибыли от выращивания поголовья) при более низкой температуре наружного воздуха $T_{нар1}$, °С; $T_{вн}{}^{экон}{}_{орт2} | T_{нар2}$ – экономически (хозяйственно) наилучшая (оптимальная) температура внутреннего воздуха в теплице (температурный режим наивысшей прибыли от выращивания поголовья) при менее низкой (при более высокой) температуре наружного воздуха $T_{нар2}$, °С; где $T_{нар1} < T_{нар2}$, °С.

Пр. *кг/ед. времени; $Ц_р$, руб./ед. времени; $P_{обогр,}$ кВт; $З_{эн}$, квт·ч*

С, руб/ед. времени П=$Ц_р$-С руб/ед. времени

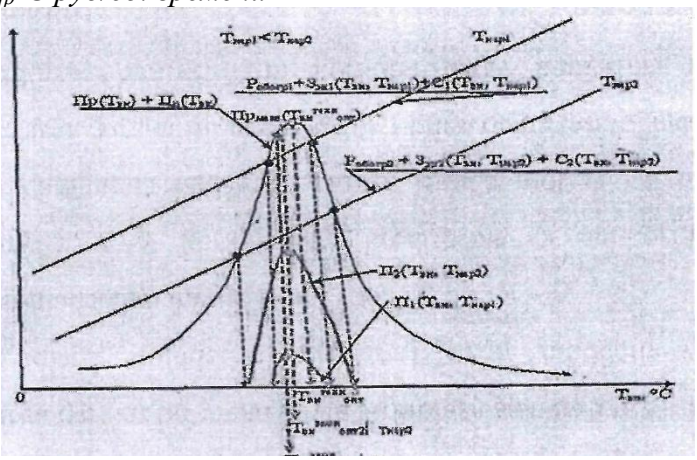


Рисунок 2. – Вид взаимосвязи физических и хозяйственных характеристик процесса обогрева гелиоптицеводческого помещения

На рисунке 3 приведена общая схема устройства: 1 – датчик ощущаемой температуры помещения; 2 – датчик температуры наружного воздуха; 3 – датчик температуры внутреннего воздуха помещения; 4 – датчик относительной влажности наружного воздуха; 5 – датчик относительной влажности внутреннего воздуха; 6 – вычислительный блок; 7 – блок управления; 8 – регулятор температуры; 9 – обогреватели (солнечные, биогазовые и т.п.); 10 – датчик концентрации аммиака; 11 – блок задатчиков возраста поголовья, заданных технологически допустимых

наименьшего и наибольшего значений ощущаемой температуры, времени опроса, сигнала сформированной величины ощущаемой температуры, констант; 12 – блок индикации стоимости потерь теплоты помещением с обогреваемой птицей $Э_0(t_в^{изм})$ [3].

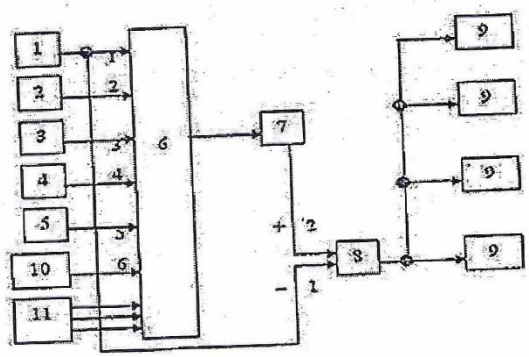


Рисунок 3. – Функциональная схема устройства управления солнечным и биогазовым обогревом

На рисунке 4 дана дополнительная иллюстрация оценки технико-экономической эффективности обогревательной технологии по критерию прироста прибыли в результате суммирования стоимостей затрат на энергоноситель и прогнозируемых потерь продукции (с отрицательным знаком) в искусственно формируемом диапазоне изменения теплового режима по величине ощущаемой температуры помещения: ΔП – прогнозируемый расчетный прирост прибыли в результате управления обогревом данной партии цыплят и данного птичника; $t_{он}$ – ощущаемая температура помещения в зоне обитания поголовья в результате действия обогревателей; $t_{оп}^{пт}$ – экономически оптимальное значение tоп при соответствующих наружных метеоусловиях, теплозащите помещения здания птичника и данной концентрации аммиака; $t_{оп}^{макс\ продукт}$ – биологически наилучшее значение для получения режима наивысшей продуктивности поголовья птицы данных породы, кросса и возраста; $ΔΔП_Т$ – изменение величины наивысшего прироста прибыли при изменении температуры наружного воздуха $t_н$; $ΔΔП_А$ – изменение величины наивысшего прироста прибыли при изменении (при увеличении) концентрации аммиака; $t_{оп}^{з}$ – искусственно сформированный сигнал величины ощущаемой температуры помещения в выбранном диапазоне между технологически допустимыми наименьшим $t_{оп}^{з\ мин}$ и наибольшим $t_{оп}^{з\ макс}$ ее заданными значениями.

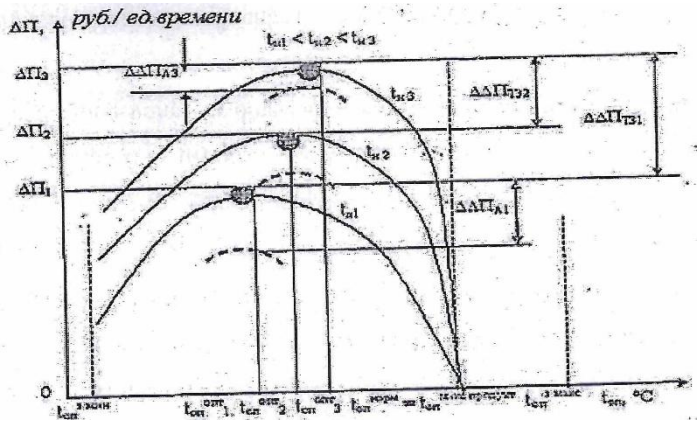


Рисунок 4. – Иллюстрация технико-экономической эффективности обогревательной технологии по критерию прироста прибыли в результате суммирования стоимостей затрат энергоносителя и

прогнозируемых потерь продукции в искусственно формируемом диапазоне изменения теплового режима

Результаты исследований

По результатам измерения и задания параметров климата, помещения, микроклимата, оборудования поголовья вычислительный блок 6 формирует значение $\Delta П(t_{on}^{з}, t_{on}^{nm})$ в диапазоне изменение $t_{on}^{з}$ за цикл опроса $T_{опр}$ системой автоматизации рассматриваемой биотехнической системы. Вычислительный блок 6 по данным формирования искусственной величины оптимизации $\Delta П(t_{on}^{з}, t_{on}^{nm})$ в выбранном диапазоне $(t_{on}^{з}, t_{on}^{nm})$. Блок управления 7 находит экстремальное (максимальное) ее значение расчетного прироста прибыли $\Delta П(t_{on}^{з}, t_{on}^{nm})$ и соответствующее ему значение аргумента функции $t_{on}^{макс\ продукт}$, и подает его в качестве задающего сигнала на задающий вход регулятора температуры 8. Одновременно вычислительный блок 6 рассчитывает ежесуточные затраты на обогрев производственного помещения и со второго выхода подает соответствующий им сигнал на блок индикации 12 для информирования персонала и для дополнительного контроля издержек.

Выводы

Технология обогрева и микроклимата идет по экономически наилучшей траектории. Обеспечивается экономически наилучшее решение как для энергетической технологии, так и для предприятия в целом между получаемой продукцией птицеводства и расходуемым на обогрев поголовья энергоносителем любого вида.

Литературы

1. Хайриддинов Б.Э., Холмирзаев Н.С., Халимов Ғ.Ғ., Рысбаев А.С., Эргашев Ш.Х. Муқобил энергия манбаларидан фойдаланиш. Т.: «ADABIYOT UCHQUNLARI», 2018. – 414 бет.

2. Namozov G.A., Xayriddinov B.E. CALCULATION OF TEMPERATURE FIELD IN HELIOGLASS POULTRYHOUSE FLAT WALL WATER TANK HEAT ACCUMULATOR BY ANALYTICAL AND NUMERICAL METHODS // Scientific-technical journal. – 2022. – V. 5, № 1. – pp. 66-71.

3. Способ экономичного обогрева сельскохозяйственных животных или птицы и устройство для его осуществления: пат. РФ 2297761 C1, МПК A01K29/00 (2006.01) / А.В. Дубровин, В.Р. Краусп, В.В. Борисов; заявитель ГНУ ВИЭСХ. – № 20051364006/12; заявл. 24.11.2005, опубл. 27.04.2007 // Изобретения. Полезные модели / Официальный бюллетень ФГУ ФИПС. – 2007. – № 12.

TAKRORIY EKINLARNI EKISHDA TUPROQQA ISHLOV BERISH TEXNOLOGIYALARINING TAHLILI

Tangirov Islom Urol o‘g‘li
Qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash ilmiy-tadqiqot instituti, tayanch doktorant
e-mail: tangirovislom7@gmail.com

Qishloq xo‘jaligida yer, suv, energiya va mehnat resurslaridan samarali foydalanish masalasi ekin yetishtirish texnologiyalarini takomillashtirishni talab etmoqda. Ayniqsa, asosiy ekin hosili yig‘ib olinganidan keyin takroriy ekinlarni qisqa muddatda ekish zarur bo‘lgan sharoitlarda tuproqni ekishga tayyorlash uchun bajariladigan texnologik operatsiyalarning soni katta ahamiyatga ega. Har bir qo‘shimcha mexanik ishlov agregatning daladan yana bir marta o‘tishini, yonilg‘i, mehnat va vaqt sarfini hamda tuproqdagi namlikning qo‘shimcha yo‘qotilishini yuzaga keltirishi mumkin.

Shu sababli jahon qishloq xo‘jaligida tuproqqa an’anaviy intensiv ishlov berishdan uning mexanik buzilishini kamaytirishga qaratilgan texnologiyalarga bosqichma-bosqich o‘tish kuzatilmoqda. FAO tuproqni muhofaza qiluvchi dehqonchilik - Conservation Agriculture tizimini uchta o‘zaro bog‘liq tamoyilga asoslaydi: tuproqni minimal mexanik buzish, tuproq yuzasini doimiy organik qoplama bilan saqlash hamda ekin turlarini almashlab ekish orqali diversifikatsiya qilish [1].

Tuproqqa ishlov berish darajasiga ko‘ra amaliyotda an’anaviy ishlov berish, kamaytirilgan yoki minimal ishlov berish, tasmasimon ishlov berish va No-till kabi texnologiyalar keng qo‘llaniladi.

An’anaviy tuproq ishlovi (*Conventional tillage*)

An’anaviy texnologiyada tuproq ekishdan oldin butun dala yuzasi bo‘yicha mexanik ishlovdan o‘tkaziladi. Bunda asosiy ishlov sifatida shudgorlash, undan keyin esa boronalash, kultivatsiya, tekislash kabi ikkilamchi operatsiyalar bajarilishi mumkin. FAO tavsifida conventional yoki full tillage tuproqning ustki qatlamini to‘liq qayta ishlash hamda ekish uchun mayda strukturali urug‘ yotqizish qatlamini yaratish maqsadida bir nechta mexanik operatsiyalar bajarilishi bilan tavsiflanadi [2].

An’anaviy ishlov berishning muhim afzalligi ekish oldidan bir xil va yumshatilgan qatlam hosil qilish imkoniyatidir. Shu bilan birga, asosiy va ikkilamchi ishlovlarni alohida bajarish ko‘p miqdorda mashina-traktor agregatlari harakatini talab qiladi. Takroriy ekinlar ekiladigan issiq va quruq davrda esa tuproqning ko‘p marta ag‘darilishi va maydalanishi uning yuzasini ochiq qoldirib, namlik yo‘qolishiga sharoit yaratishi mumkin.

Minimal ishlov berish (Minimum/Reduced tillage)

Minimum tillage yoki Reduced tillage texnologiyasining asosiy mohiyati ekin yetishtirish uchun zarur bo‘lgan eng kam tuproq ishlovini bajarishdan iborat. Bunda tuproqning butun haydov qatlamini chuqur ag‘darish o‘rniga ishlov berish chuqurligi, operatsiyalar soni yoki mexanik ta’sir intensivligi kamaytiriladi.

Ilmiy adabiyotlarda “minimum tillage” atamasi turlicha qo‘llanilishi sababli ba’zan “reduced tillage”, ya’ni kamaytirilgan ishlov berish tushunchasi aniqroq hisoblanadi. Uning asosiy belgisi an’anaviy texnologiyaga nisbatan mexanik operatsiyalar soni va intensivligining kamaytirilishidir [3].

Minimum tillage sharoitida sayoz kultivatsiya, chizel, diskli yoki boshqa ag‘darmasdan ishlov beruvchi ishchi organlardan foydalanish mumkin. Natijada tuproq profili an’anaviy shudgorlashga qaraganda kamroq buziladi va oldingi ekinning o‘simlik qoldiqlarining ma’lum qismi dala yuzasida qoladi.

Y. Li va hammualliflar tomonidan turli mamlakatlarda o‘tkazilgan tajribalar asosida bajarilgan global meta-tahlil tuproq qoldiqlarini saqlash bilan birgalikda qo‘llanilgan minimum yoki reduced tillage usullari tuproq agregatlarining barqarorligi va o‘simlik foydalanishi mumkin bo‘lgan suv miqdoriga ijobiy ta’sir ko‘rsatishini ko‘rsatgan [4].

Biroq minimal ishlov berish tuproqqa umuman ishlov berilmasligini anglatmaydi. Bu jihati bilan u No-till texnologiyasidan tubdan farq qiladi.

Tasmasimon ishlov berish (Strip-till)

Tuproqqa ishlov berish intensivligini yanada kamaytirish yo‘nalishlaridan biri Strip-till, ya’ni tasmasimon ishlov berish texnologiyasidir. Ushbu texnologiyada butun dala yuzasiga emas, faqat urug‘ ekiladigan tor tasmalarga ishlov beriladi. Qatorlar oralig‘idagi tuproq esa ishlov berilmagan va o‘simlik qoldiqlari bilan qoplangan holatda saqlanadi.

AQSh Qishloq xo‘jaligi vazirligining Natural Resources Conservation Service tasnifida Strip-till texnologiyasida tuproq va o‘simlik qoldiqlari asosiy maydonda buzilmasdan saqlanishi, ishlov esa faqat urug‘ ekiladigan tasmalarda bajarilishi qayd etilgan. Ushbu tasma o‘simlik qoldiqlaridan tozalanishi, tuproqni isitish va quritish hamda o‘g‘itni qator bo‘ylab joylashtirish uchun yumshatilishi mumkin [5].

Strip-till amalda an’anaviy ishlov berish va No-till orasidagi texnologik yechim sifatida qaralishi mumkin. Chunki urug‘ ekiladigan qatorda sifatli urug‘ yotqizish muhiti yaratiladi, qator oralig‘idagi tuproq esa deyarli buzilmaydi [6].

2024-yilda S. Dou va hammualliflar 53 ta ilmiy ish va 290 ta juft taqqoslashni qamrab olgan meta-tahlilda Strip-till hosildorligi an’anaviy ishlov berish bilan umumiy hisobda yaqin bo‘lganini, No-till bilan solishtirganda esa o‘rtacha 4,81 % yuqori hosil qayd etilganini ko‘rsatgan. Mualliflar natija ekin turi va iqlim sharoitiga bog‘liqligini ham ta’kidlaganlar [7].

Bu Strip-tillni, ayniqsa, ekish qatorida tuproq holatini yaxshilash zarur bo‘lgan, lekin butun dala yuzasini ishlash maqsadga muvofiq bo‘lmagan sharoitlar uchun istiqbolli texnologiya sifatida ko‘rsatadi.

Tuproqqa ishlov bermasdan ekish (No-till)

Tuproqni muhofaza qiluvchi texnologiyalar ichida tuproqqa eng kam mexanik ta’sir ko‘rsatadigan tizimlardan biri No-till, ya’ni nol ishlov berish yoki to‘g‘ridan-to‘g‘ri ekish texnologiyasidir.

FAO No-till sharoitida ekish oldidan mexanik urug‘ yotqizish qatlami tayyorlanmasligini qayd etadi. Maxsus seyalka dala yuzasidagi o‘simlik qoldiqlari orasidan tuproqqa kirib, faqat tor urug‘ egatini ochadi, urug‘ni unga joylashtiradi va egatni yana yopadi. Bunda ekish bilan bog‘liq tuproq siljishi imkon qadar kichik bo‘lishi kerak [8].

No-till texnologiyasida o‘simlik qoldiqlari dala yuzasida mulch sifatida saqlanishi muhimdir. Bunday qoplama tuproq yuzasiga yomg‘ir tomchilari va shamolning to‘g‘ridan-to‘g‘ri ta’sirini kamaytiradi hamda suvning bug‘lanishiga qarshi himoya qatlamini hosil qiladi. USDA-NRCS No-tillning asosiy maqsadlari qatorida suv va shamol eroziyasini kamaytirish, tuproq organik moddasini saqlash yoki oshirish, o‘simlik uchun mavjud namlikni ko‘paytirish hamda energiya sarfini kamaytirishni keltiradi [9].

No-tillning xalqaro miqyosda rivojlanishida Rolf Derpsch, Theodor Friedrich, Amir Kassam va Hongwen Li kabi olimlarning ishlari muhim o‘rin egallaydi. R. Derpsch va hammualliflarning ma’lumotlariga ko‘ra, No-till maydoni 1999-yildagi taxminan 45 mln gektardan 2009-yilda 111 mln gektargacha kengaygan va uning jadal rivojlanishi, ayniqsa, Janubiy Amerika mamlakatlarida kuzatilgan [10].

Keyingi ma’lumotlarda A. Kassam, T. Friedrich va R. Derpsch Conservation Agriculture tizimi qo‘llanilgan maydon 2018/2019-yillarda 205,4 mln gektarga, ya’ni jahon ekin maydonlarining taxminan 14,7 % iga yetganini bildirgan. Mazkur tizim 102 mamlakatda qayd etilgan [10].

Shuni ta’kidlash kerakki, No-tillning o‘zi har doim to‘liq Conservation Agriculture tizimi degani emas. FAO talqiniga ko‘ra Conservation Agriculture uchun minimal tuproq buzilishi bilan birgalikda tuproq yuzasida doimiy organik qoplama va ekinlar diversifikatsiyasi ham ta’minlanishi kerak [1].

Xulosa

Xorijiy ilmiy tadqiqotlar va amaliy tajribaning tahlili tuproqqa ishlov berish tizimlari an’anaviy chuqur va yoppasiga ishlov berishdan tuproqni minimal buzishga asoslangan texnologiyalar tomon rivojlanayotganini ko‘rsatadi. Minimum tillage tuproqqa mexanik ishlov berish soni va intensivligini kamaytirsa, Strip-till faqat urug‘ ekiladigan tasmalarga ishlov berishga, No-till esa urug‘ni tuproqqa yoppasiga ishlov bermasdan bevosita ekishga asoslangan.

Takroriy ekinlarni ekishda agrotexnik muddatning qisqaligi va tuproqdagi mavjud namlikni saqlash zaruriyati Minimum tillage, Strip-till va No-till kabi resurstejamkor texnologiyalarning ahamiyatini oshiradi. Biroq ularning samaradorligi mahalliy tuproq-iqlim va agrofon sharoitlariga bog‘liq. Shu sababli ishlov berilmagan tuproqqa takroriy ekinlarni ekishda xorijiy tajribalardan foydalanish bilan bir qatorda, texnologik jarayon va uni amalga oshiradigan ishchi organlarni mahalliy sharoitga moslashtirish bo‘yicha tadqiqotlar olib borish zarur.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. FAO. Conservation Agriculture principles. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/conservation-agriculture/overview/conservation-agriculture-principles/en/

2. FAO. Conservation Agriculture: Minimum mechanical soil disturbance. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/conservation-agriculture/in-practice/minimum-mechanical-soil-disturbance/en/

3. USDA-NRCS. Agronomy: residue and tillage management systems (mulch till, no till, strip-till). Natural Resources Conservation Service. https://www.nrcs.usda.gov/state-offices/north-dakota/agronomy

4. Li Y., Li Z., Cui S., Jagadamma S., Zhang Q. Residue retention and minimum tillage improve physical environment of the soil in croplands: A global meta-analysis. Soil & Tillage Research. 2019. Vol. 194. 104292. DOI: 10.1016/j.still.2019.06.009.

5. USDA-NRCS. Residue and Tillage Management, No Till/Strip-till and Reduced-till. Natural Resources Conservation Service.

6. Licht M.A., Al-Kaisi M. Strip-tillage effect on seedbed soil temperature and other soil physical properties. Soil & Tillage Research. 2005. Vol. 80, Issues 1–2. P. 233–249. DOI: 10.1016/j.still.2004.03.017.

7. Dou S., Wang Z., Tong J., Shang Z., Deng A., Song Z., Zhang W. Strip tillage promotes crop yield in comparison with no tillage based on a meta-analysis. Soil & Tillage Research. 2024. 106085. DOI: 10.1016/j.still.2024.106085.

8. FAO. Minimum mechanical soil disturbance: Direct seeding or planting. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

9. USDA-NRCS. Conservation Practice Standard: Residue and Tillage Management, No Till (Code 329). Natural Resources Conservation Service.

10. Derpsch R., Friedrich T., Kassam A., Li H. Current Status of Adoption of No-till Farming in the World and Some of Its Main Benefits. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2010. Vol. 3(1). P. 1–25.

ISHLOV BERILMAGAN TUPROQQA TAKRORIY EKINLAR URUG‘LARINI EKISHDA QO‘LLANILADIGAN TEXNIKA VOSITALARINING TAHLILI

Tangirov Islom Urol o‘g‘li
Qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash ilmiy-tadqiqot instituti, tayanch doktorant
e-mail: tangirovislom7@gmail.com

Qishloq xo‘jaligida energiya va resurslarni tejashga yo‘naltirilgan texnologiyalarni rivojlantirishda tuproqqa ishlov bermasdan urug‘larni to‘g‘ridan-to‘g‘ri ekish alohida ahamiyatga ega. No-Till texnologiyasida an’anaviy shudgorlash va ekish oldidan tuproqni yoppasiga tayyorlash operatsiyalari bajarilmaydi. Bunda maxsus seyalka yordamida urug‘ uchun tor egat hosil qilinadi, urug‘ belgilangan chuqurlikka joylashtiriladi, so‘ngra egat ko‘milib, tuproq ma’lum darajada zichlanadi. Shu sababli seyalkaning ko‘muvchi va zichlovchi ishchi organlarining konstruksiyasi ekish sifatiga bevosita ta’sir etadi.

Urug‘ uyasini sifatli ko‘mish jarayoni ekish texnologiyasining muhim bosqichlaridan biridir. Ko‘mgichning vazifasi ekkich tomonidan ochilgan egatga tuproqni qaytarib, urug‘ni to‘liq yopishdan iborat. Zichlagich esa urug‘ ustidagi tuproqni me’yorida zichlab, urug‘ bilan nam tuproq orasida zarur kontakt hosil qiladi. Yetarli kontakt bo‘lmaganda havo bo‘shliqlari paydo bo‘lishi, ortiqcha zichlashda esa urug‘ ustidagi qatlamning qarshiligi ortishi mumkin. Shu bois zamonaviy seyalkalarda ko‘mish va zichlash jarayonlarini boshqarishga alohida e’tibor beriladi [1].

Xorijiy texnikalarda bu vazifani bajarish uchun turli konstruktiv yechimlar mavjud. Case IH Early Riser seyalkalarida urug‘ uyasini ko‘mish ikki bosqichli tizim asosida bajariladi. Birinchi bosqichda teskari burchak ostida joylashgan yopuvchi disklar namroq tuproqni urug‘ ustiga qaytaradi. Ikkinchi bosqichda

press g‘ildirak tuproqni tekislab va zichlab, urug‘ bilan tuproq orasidagi kontaktni ta’minlaydi [2]. Ishlab chiqaruvchi ushbu ikki bosqichli tizim urug‘ning bir tekis unib chiqishiga sharoit yaratishini qayd etadi.

Shunga o‘xshash ikki bosqichli prinsip Ag Focus FastTrac tizimida ham qo‘llanilgan. Birinchi ishchi organ sifatida qiya joylashtirilgan yopuvchi disklar urug‘ egatining yon devorlarini yumshatib, nam tuproqni urug‘ atrofiga yo‘naltiradi. Keyingi press g‘ildirak esa hosil bo‘lgan havo bo‘shliqlarini kamaytirib, ekish qatlamini tekislaydi [3]. Ushbu konstruktiv yechim ko‘mish va zichlash jarayonlarini alohida ishchi organlar yordamida bajarishga asoslangan.

No-Till seyalkalarida keng tarqalgan konstruksiyalardan yana biri V-simon joylashtirilgan ikki ko‘muvchi g‘ildirak hisoblanadi. Ushbu g‘ildiraklar urug‘ egatining ikki tomonidan tuproqni markazga tomon surib, egatni yopadi. Biroq quruq yoki zich tuproqda g‘ildiraklarning ortiqcha bosimi egat devorlarining zichlanishiga olib kelishi mumkin. Shu bois turli tuproq sharoitlariga moslashish uchun ko‘muvchi g‘ildiraklarning bosimi, o‘rnatilish burchagi va o‘zaro joylashishini to‘g‘ri tanlash talab qilinadi [2, 3].

Avstraliyaning Agrowplow kompaniyasi tomonidan ishlab chiqilgan prujinali press g‘ildiraklarda har bir ishchi organ alohida tayanchga o‘rnatilgan. Bu g‘ildiraklarning dala yuzasidagi kichik notekisliklarni kuzatib borishiga imkon beradi. Press g‘ildirak tuproqni urug‘ atrofida bosib, egatni yopadi va urug‘-tuproq kontaktini yaxshilaydi. Bundan tashqari, umumiy bosimni sozlash imkoniyati turli tuproq sharoitlariga moslashishga xizmat qiladi [4].

Finlyandiyaning Tume Super Nova Combi seyalkasi bevosita ekish, minimal ishlov berish va an’anaviy ekish sharoitlarida foydalanishga mo‘ljallangan ko‘p funksiyali mashina hisoblanadi [5]. Ushbu seyalkada g‘ildiraklar nafaqat tayanch vazifasini, balki ekilgan qatorni zichlash vazifasini ham bajaradi. Tume konstruksiyasida tayanch g‘ildirakning ekkich bilan o‘zaro ishlashi ekish chuqurligini barqaror saqlash hamda urug‘ egatini yopish imkonini beradi.

No-Till va minimal ishlov berilgan tuproqlarda Yetter kompaniyasi ham turli ko‘muvchi g‘ildiraklarni ishlab chiqqan. 6200 Paddle Closing Wheel konstruksiyasida barmoqli elementlar tuproqni siljitish va egat yon devorlarini yumshatish uchun mo‘ljallangan [6]. Kompaniya hozirda boshqa takomillashtirilgan yopuvchi g‘ildiraklarni ham taklif qiladi. Bunday ishchi organlarning asosiy maqsadi egatni ishonchli yopish bilan birga tuproqning ortiqcha zichlanishini kamaytirishdir.

Seyalka ko‘muvchi va zichlovchi qurilmalarining konstruktiv parametrlarini ilmiy asoslash xorijiy tadqiqotchilar tomonidan ham keng o‘rganilgan. Q. Lu va hammualliflar ekish mashinalari uchun tuproqni ko‘muvchi va zichlovchi qurilmani ishlab chiqib, uning ish jarayonini nazariy va eksperimental jihatdan tadqiq etganlar. Tadqiqotlarda ko‘muvchi elementlarning geometrik parametrlari, harakat sharoiti va tuproq bilan o‘zaro ta’sirining ish sifatiga ta’siri ko‘rib chiqilgan [7].

H. Guo va hammualliflar esa konussimon g‘ildirak tuzilishiga ega ko‘muvchi-zichlovchi qurilmani ishlab chiqib, uning parametrlarini tajribaviy asoslaganlar. Mualliflarning ta’kidlashicha, urug‘ ekish mashinasida ko‘mish va zichlash jarayonlarining sifatli bajarilishi urug‘ yotqizilgan qatlamning holati va keyingi unib chiqish jarayoniga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi [8].

Ko‘rib chiqilgan xorijiy texnik vositalarning tahlili shuni ko‘rsatadiki, urug‘ egatini ko‘mish va zichlash uchun yagona universal konstruksiya mavjud emas. Turli seyalkalarda tuproqni urug‘ ustiga suruvchi disklar, V-simon g‘ildiraklar, barmoqli g‘ildiraklar, prujinali press g‘ildiraklar va kombinatsiyalashgan tizimlardan foydalaniladi [1–8]. Ularning samaradorligi tuproqning namligi, zichligi, mexanik tarkibi, dala yuzasidagi o‘simlik qoldiqlari va agregatning harakat tezligiga bog‘liq.

Ayniqsa, g‘alladan bo‘shagan ishlov berilmagan maydonlarda takroriy ekinlar urug‘larini ekishda ushbu omillar muhim ahamiyat kasb etadi. Bunday maydonlarda o‘simlik qoldiqlarining mavjudligi ishchi organlarning tiqilib qolmasdan ishlashini talab qiladi. Shu bilan birga, ko‘mgich urug‘ni to‘liq yopishi,

zichlagich esa tuproqni haddan tashqari zichlamasdan urug‘ bilan tuproq orasida ishonchli kontakt hosil qilishi lozim.

Xorijiy konstruksiyalar muayyan tuproq-iqlim sharoitlariga moslab ishlab chiqilganligi sababli ularning geometrik va texnologik parametrlarini O‘zbekiston sharoitida to‘g‘ridan-to‘g‘ri qabul qilish maqsadga muvofiq emas. Mahalliy sharoitda ishlov berilmagan tuproqning fizik-mexanik xossalari, takroriy ekinlarni ekish muddati, o‘simlik qoldiqlarining miqdori hamda qo‘llaniladigan agregatlarning ish rejimi hisobga olinishi kerak.

Shu jihatdan, ishlov berilmagan tuproqqa takroriy ekinlar urug‘larini ekadigan seyalka ko‘mgichi va zichlagichining maqbul konstruktiv va texnologik parametrlarini asoslash nafaqat ekish sifatini oshirish, balki agregatning tortishga qarshiligini kamaytirish, energiya sarfini pasaytirish va texnologik jarayonning barqarorligini ta’minlash nuqtai nazaridan ham muhim hisoblanadi.

Xulosa

Xorijiy No-Till seyalkalarining tahlili urug‘ uyasini ko‘mish va tuproqni zichlash uchun turli konstruktiv yechimlardan foydalanilishini ko‘rsatdi. Ikki bosqichli diskli-press g‘ildirakli tizimlar, V-simon g‘ildiraklar, prujinali hamda barmoqli ko‘muvchi ishchi organlarning har biri ma’lum tuproq va agrofon sharoitlariga mos xususiyatlarga ega.

Takroriy ekinlarni ishlov berilmagan tuproqqa ekishda xorijiy konstruksiyalarning samarali texnik yechimlaridan foydalanish bilan birga ko‘mgich va zichlagich parametrlarini O‘zbekiston tuproq-iqlim sharoitlariga mos ravishda asoslash zarur. Bu esa energiya va resurslarni tejovchi innovatsion ekish texnologiyalarini rivojlantirishga xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Li Y.L., Wang J.L. Analysis of Research Status of Soil Covering Device for Precision Seeder // *Agricultural Technology*. – 2016. – Vol. 36. – P. 42–44.

2. Case IH. *Early Riser Planter. Two-Stage Closing System and Agronomic Design*. Case IH Agricultural Equipment, USA.

3. Ag Focus LLC. *FastTrac™ Advanced 2-Stage Closing System*. Lexington, Illinois, USA.

4. Agrowplow. *Agrowdrill Presswheels: Seed-to-Soil Contact and Seedbed Finishing*. Australia.

5. Tume-Agri Oy. *Super Nova Combi – Multipurpose Seed and Fertilizer Drill*. Finland.

6. Yetter Manufacturing Co. *6200 Series Closing Wheels and Paddle Closing Wheel*. USA.

7. Lu Q., Zhao J., Liu L., Liu Z., Wang C. Design and Experiment of a Soil-Covering and Pressing Device for Planters // *Agriculture*. – 2024. – Vol. 14(7). – 1040. DOI: 10.3390/agriculture14071040.

8. Guo H., Chen Z., Jia H., Zheng T., Wang G., Wang Q. Design and Experiment of Soil-Covering and Soil-Compacting Device with Cone-Shaped Structure of Wheel // *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. – 2017. – Vol. 33(12). – P. 56–65. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.12.008.

ENERGIYA VA RESURSLARNI TEJOVCHI CHANG USHLAGICH

Badalova D. A.
Toshkent davlat texnika universiteti, katta o’qituvchi
badalova3314@gmail.com

Ilmiy-texnik taraqqiyotning jadallashishi, sanoat ishlab chiqarishining o'sishi hamda atrof-muhitga antropogen ta'sirlarning kuchayishi tabiatning o'zini o'zi tartibga solish qobiliyatiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli atrof-muhitni muhofaza qilish, binobarin, insonlarning hozirgi va kelajak avlodlari salomatligini muhofaza qilish masalalari eng muhim masalalardan hisoblanadi [1].

Atmosfera havosi tarkibida ko'p miqdorda ifloslantiruvchi moddalar mavjud. YUNEP (BMTning Atrof-muhit bo'yicha dasturi) ma'lumotlariga ko'ra, har yili atmosferaga 25 mlrd tonnagacha ifloslantiruvchi moddalar chiqariladi. Asosiy ifloslantiruvchilar orasida oltingugurt dioksidi va chang zarrachalari yetakchi o'rinlardan birini egallaydi, ularning hissasiga 200 mln t/yil to'g'ri keladi [1, 2].

Atmosferaga chang chiqarilishining sabablari ham tabiiy jarayonlar — chang bo'ronlari, tuproq eroziyasi, vulqonlar, dengiz suvining sachrashi, ham antropogen yoki texnogen jarayonlar — qurilish materiallari ishlab chiqarish, tog'-kon sanoatida tog' jinslarini maydalash, sement ishlab chiqarish va qurilish ishlari bilan bog'liq. Antropogen va texnogen jarayonlar hissasiga atmosferadagi changning umumiy miqdoridan taxminan 15–20 % to'g'ri keladi. Masalan, Fransiyada ishlab chiqariladigan sement umumiy hajmining taxminan 3 % qismi atmosferaga chiqariladi (yiliga taxminan 100 t). Sanoat changi tarkibiga ko'pincha qurum (5 %), kul, kremniy oksidlari (15 %), temir oksidlari (20 %) hamda boshqa metallar va nometallarning oksidlari kiradi. Ularning ko'pchiligi zaharlidir (marganes, qo'rg'oshin, molibden, vanadiy, surma va tellur oksidlari) [2].

Qurum yoqilg'ining to'liq yonmasligi natijasida hosil bo'ladigan, 90–95 % qismi uglerod zarrachalaridan iborat yuqori dispersli zaharsiz kukundir. Qurum og'ir uglevodorodlarni, shu jumladan benz(a)pirenni adsorbsiyalash qobiliyatining yuqoriligi bilan ajralib turadi, bu esa uni inson uchun o'ta xavfli qiladi.

Changlarning dispers tarkibi ularning inson organizmiga kirib borish qobiliyatini belgilaydi. Zarrachalarining o'lchami 0,5–10 mkm bo'lgan zaharli mayda dispersli changlar ayniqsa xavfli bo'lib, ular nafas olish a'zolariga oson kirib boradi. Atmosferadagi ayrim turdagi qattiq va suyuq aralashmalar zarrachalarining xarakterli o'lchamlarini (mkm) keltiramiz:

Sanoat tutuni	<1,0
Sanoat changi	0,01–4000
Sublimasiya mahsulotlari	1–5

Atmosferada changning mavjudligi, yuqorida keltirilgan salbiy oqibatlardan tashqari, Yer yuzasiga ultrabinafsha nurlarning yetib kelishini kamaytiradi. Shuningdek, chang zarrachalari quyosh nurlanishini qaytaradi va Yerdan issiqlikning chiqib ketishini qiyinlashtiradi.

Ushbu sabablarga ko'ra, ishlab chiqarishdan chiquvchi gazlarni atmosferaga chiqarishdan oldin tozalash zarur.

Gazlarni ho'l va quruq chang ushlagichlar yordamida tozalash mumkin.

Hozirgi vaqtda gazlarni changdan quruq usulda tozalashga mo'ljallangan qurilmalarning bir necha yuz xil konstruksiyasi ma'lum. Xilma-xilligiga qaramay, ularning barchasi muallaq fazani cho'ktirish yoki ushlab qolishning bir nechta asosiy tamoyillariga tayangan apparat yechimlarining turli ko'rinishlaridir.

Chang zarrachalarini gaz oqimidan ajratish uchun chang ushlash qurilmalarida qo'llaniladigan kuchlarning tabiatiga qarab, ular to'rtta asosiy guruhga bo'linadi: chang cho'ktirish kameralari va siklonlar; uyurmali chang ushlagichlar; g'ovakli filtrlar; elektr va yengli filtrlar [3,4].

Keng qo'llaniladigan chang ushlagichlarga siklonlar va qarama-qarshi burama oqimli chang ushlagichlar kiradi.

So'nggi yillarda sanoatning turli tarmoqlarida qarama-qarshi burama oqimli chang ushlagichlar (VZP) joriy etilmoqda. Ular siklonlarga nisbatan havoni samaraliroq tozalashi bilan tavsiflanadi. Uyurmali chang ushlagichlarning siklonlardan asosiy farqi — yordamchi burama gaz oqimining mavjudligidir [5, 6, 7].

Qarama-qarshi burama oqimli chang ushlagichning (VZP) ishlash tamoyili quyidagicha. Ushlanadigan dispers material kameraga uzatilayotgan havo bilan gaz-zarracha aralashmasini hosil qiladi. Ushbu aralashma kurakchali yoki tangensial uyurma hosil qilgich yordamida burama harakatga keltiriladi. Bunda gaz-zarracha aralashmasining birlamchi burama oqimi qurilmaning markaziy qismi bo'ylab yuqoriga, aylanish yo'nalishi bir xil bo'lgan ikkilamchi oqim esa pastga yo'naladi. Dispers material zarrachalari markazdan qochma kuchlar ta'sirida ichki oqimdan qurilmaning chetki qismiga uloqtiriladi va ikkilamchi

oqim bilan kameraning quyi qismiga olib borilib, u yerdan bunkerga chiqariladi. Gazning changdan ajralishi gaz oqimi qaytaruvchi shayba yonida 180° ga burilganda sodir bo'ladi. Changdan xoli bo'lgan gaz oqimi uyurma hosil qilib chiqadi va qurilmani chiqish quvuri orqali tark etuvchi gaz uyurmasiga asos bo'ladi. Ikkita qarama-qarshi burama oqimning o'zaro ta'siri dispers va gaz fazalarini ajratish uchun qulay sharoit yaratadi, bu esa mazkur qurilmalarda chang ushlashning yuqori samaradorligini ta'minlaydi.

Sellyuloza asetati zarrachalarini ushlash samaradorligi (% hisobida) quyidagi formula bo'yicha aniqlandi:

$$\eta = G_{yd} / G_{obsh} \cdot 100\ \%$$

bu yerda G_{yd} — qurilmada ushlangan material massasi, kg; G_{obsh} — qurilmaga berilayotgan material massasi, kg.

Qurilmaning fraksiyalar bo'yicha ushlash samaradorligi tuzilgan quyidagi tenglama bo'yicha hisoblanadi [6,9,10]:

$$d\eta = \left(\frac{3}{2\pi S}\right)\sqrt{\left(\frac{\mu}{\rho_{ch}}\right)\tau\ ln\left[\frac{1}{1-\eta}\right]\left[1+\frac{Q_2}{Q_1}\right]} \qquad (1)$$

bu yerda d_η — belgilangan ushlash samaradorligi darajasida ushlanadigan zarrachalarning eng kichik o'lchami;

S = 4 — qurilmadagi aralash gaz oqimi aylanishlarining maqbul soni;

μ — gazning dinamik qovushqoqligi;

ρ_{ch} — zarrachalar materiali zichligi;

Q_2, Q_1 — mos ravishda ikkilamchi va birlamchi gaz oqimlarining sarflari;

τ — aralash gaz oqimining qurilmada bo'lish vaqti;

Ayrim matematik va algebraik hisoblashlardan so'ng tenglamani zarrachalar diametriga nisbatan yechib, quyidagi ifodani olamiz. Ushbu diametrning η ko'rsatkichi bilan bog'liqligini ta'kidlash uchun keyingi o'rinlarda uni d_η bilan belgilaymiz:

$$d_\eta = \frac{4{,}15R_0^2}{Q_1+0{,}5\,Q_2}\sqrt{\frac{\mu Q_2\ \ln\left(\frac{1}{1-\eta}\right)}{\rho H\ ln\left(1+\frac{Q_2}{Q_1}\right)}} \qquad (2)$$

Zarrachalarni ushlash butunlay to'xtaydigan kritik diametr d_0 quyidagi tenglama bo'yicha aniqlanadi:

$$d_0 = \frac{4{,}15R_0^2}{Q_1+0{,}5\,Q_2}\sqrt{\frac{\mu Q_2}{\rho_{ch}\ H}} \qquad (3)$$

Sanoat VZP qurilmalarida qattiq mayda dispersli zarrachalarni ushlash samaradorligini hisoblash bo'yicha ishlab chiqilgan usulning to'g'riligini tekshirish uchun fraksiyalar bo'yicha ushlash samaradorligining eksperimental egri chiziqlaridan foydalanildi [8,11,12]. Tekshirish ushbu egri chiziqlarni (3) tenglama bo'yicha hisoblangan egri chiziqlar bilan taqqoslash orqali o'tkazildi.

Chang ushlash samaradorligiga bir qator omillar ta'sir qiladi: qurilmaning konstruktiv yechimi, ish rejimi tavsiflari, changning fizik-mexanik xossalari (dispers tarkibi, zichligi, oqimdagi konsentrasiyasi, shakli, yopishuvchanligi, ho'llanuvchanligi, kimyoviy tarkibi, abrazivligi va boshqalar). Ushbu omillarning barchasi ta'sirini to'g'ri aniqlash VZP chang ushlagichlarini loyihalash, ularni tanlash va muhandislik hisoblash uslubiyatini ishlab chiqish, shuningdek, laboratoriya qurilmalaridan sanoat qurilmalariga o'tish (masshtabni o'zgartirish masalalari) uchun eng muhim vazifadir.

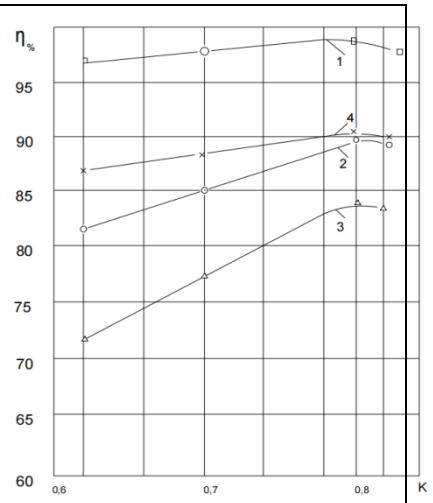
1-rasmdan ko'rinib turibdiki, siklonli chang ushlagichlarda amalda ushlanmaydigan, o'lchami 10 mkm dan kichik zarrachalar mazkur qurilmada to'liq ushlanadi.

Qurilmaning ish rejimi (umumiy sarf va kanallar bo'yicha oqim sarflarining nisbati) belgilandi. Pnevmatik naycha yordamida chiqarish patrubkasida gaz oqimining tezligi o'lchandi.

Namunalar AFA-VP-20 filtri joylashtirilgan allonjga ulangan NIIOGAZ namuna olish naychasi orqali olindi.

Umumiy ushlash samaradorligi va moddiy balans boshlang'ich chang hamda chang ushlagich bunkerida to'plangan changning og'irligi bo'yicha tekshirildi.

VZP qurilmasi orqali o'tuvchi gaz fazasi bo'yicha umumiy yuklama Q_{max} = 1000 m³/soatni tashkil etdi, bu 8,85 m/s tezlikka mos keladi. Changli havo bo'yicha yuklama kamayganda ushlash samaradorligining pasayishini oqimning buralish darajasi kamayishi bilan izohlash mumkin (ya'ni tangensial tezlik pasayadi va, natijada, chang zarrachalariga ta'sir etuvchi markazdan qochma kuch kamayadi).



1-rasm. Zarrachalarni ushlash samaradorligining sarflar nisbatiga bog'liqligi, % (massa bo'yicha). Sarflar nisbati: $K = Q_2/Q$ (Q = 760 m³/soat)

Chang ushlagichlarning takomillashtirilgan konstruksiyalarini qo'llash gazlarni tozalash jarayonlariga sarflanadigan energiyani kamaytirish va qattiq zarrachalarni ushlash samaradorligini oshirish imkonini beradi.

Shunday qilib, tayyorlanishi oddiy bo'lgan qarama-qarshi burama oqimli qurilma atmosferaga chiqariladigan tashlamalarni sezilarli darajada kamaytirish va qimmatli materiallarning katta miqdorini ishlab chiqarishga qaytarish imkonini beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Sajin B. S., Kochetov O. S., Yelin A. M., Chunayev M. V. To'qimachilik sanoatida mehnat muhofazasi. Oliy o'quv yurtlari uchun o'quv qo'llanma. — M.: A. N. Kosigin nomidagi MGTU, 2004. — 433 b.

2. Bersnev, S. A. Atmosfera aerozollari fizikasi [Matn] / S. A. Beresnev, V. I. Gryazin. — Yekaterinburg: Ural universiteti nashriyoti, 2008. —

3. Sugak A. Markazdan qochma chang ushlagichlar va tasniflagichlar. Modellashtirish, hisoblash, loyihalash / A. Sugak, Ye. Sugak. — Yaroslavl: YAGTU, 2012. — 19 b.

4. Changdan tozalash jarayonlari va qurilmalari / Vetoshkin A. G.: o'quv qo'llanma. — Penza, 2005. — 210 b.

5. Misulya D. I., Kuzmin V. V., Markov D. A. Siklonli chang ushlagichlarning texnik tavsiflarini qiyosiy tahlil qilish // BGTU ilmiy ishlari. — Noorganik moddalar kimyosi va texnologiyasi. 2012. — № 3. — 154–163-b.

6. 227 b. Mualliflik guvohnomasi 703143, 1979 y. (SSSR).

7. Qarama-qarshi burama oqimli chang ushlagichlar / NII TEXIM; tuzuvchilar: Sajin B. S., Gudim L. I. — M., 1982. — («Atrof-muhitni muhofaza qilish va tabiiy resurslardan oqilona foydalanish» turkumi: sharhli axborot.) — 47 b.: rasmlar.

8. Sajin B. S., Gudim L. I. Qarama-qarshi burama oqimli chang ushlagichlar // Kimyo sanoati. 1985. — № 8. — 50–54-b.

АСИНХРОН МОТОРНИ ЧАСТОТА ЎЗГАРТИРГИЧ ОРҚАЛИ БОШҚАРИШНИНГ ЭНЕРГИЯ ТЕЖАМКОРЛИК ХУСУСИЯТЛАРИ.

Саъдуллаев Аловиддин Бобакулович – Қарши давлат техника университети
Жиянқулов Лазиз Акром ўғли - Қарши давлат техника университети
Саодатов Достонбек Бозор ўғли - Қарши давлат техника университети, магистр.
e-mail: sadullayevalaviddin@gmail.com.

Аннотация: *Мақолада асинхрон моторларда частота ўзгартиргичларни қўллаш орқали истеъмол қилинадиган электр энергияси сарфини ва энергия йўқотишларини камайтириш масалалари тадқиқ қилиниб, асинхрон моторнинг юкланиш даражасига боғлиқ ҳолатда кучланиш ҳамда частота параметрларини оптимал бошқариш усуллари таҳлил этилди. Тадқиқот ишида частота ўзгартиргич қурилмасини самарали қўлланилиши ва олинган экспериментал натижалар асосида ортиқча энергия сарфини 10-15% гача қисқартириш, асинхрон моторни ишга туширишдаги катта токлар ва иссиқлик йўқотишларини камайтириш усуллари илмий жиҳатдан асосланди.*

Бугунги кунда дунё миқёсида энергия ресурсларидан оқилона фойдаланиш билан бир вақтда энергия тежамкор иновацион технологияларни самарали қўлланилиши долзарб масалалардан ҳисобланади. Маълумки, ишлаб чиқариш саноатида катта қувватли асинхрон моторлар электр энергияси истеъмолининг асосий манбаларидан ҳисобланиб [1-4], уларни ҳозирги вақтда йирик ишлаб чиқариш саноат корхоналарида жуда кенг қўлланилаётганлигини ҳисобга олган ҳолда, ушбу тадқиқот ишида электр тармоқда энергия исрофини камайтириш ва тизимнинг энергия тежамкорлик хусусиятларига асинхрон моторларни частота ўзгартиргич қурилмаси орқали бошқариш жараёнининг таъсирлари батафсил ўрганилди. Илмий манбаларда ёритилган маълумотлар шуни кўрсатадики, ишлаб чиқариш саноатида йил давомида истеъмол қилинадиган электр энергиясининг умумий миқдорини 60-70% улуши асинхрон моторларга тўғри келади [5-11]. Шу сабабли уларнинг иш режимларини оптималлаштириш нафақат иқтисодий фойда, балки экологик барқарорликни ҳам таъминлашга сезиларли даражада ўзининг ижобий таъсирини кўрсатади.

Мазкур мақолада, ишлаб чиқариш саноат корхонаси сув таъминоти цехида насос агрегатида ўрнатилган асинхрон моторни иш режимларини частота ўзгартиргич қурилмаси орқали бошқариш натижасида истеъмол қилиган энергия сарфини камайтириш ва электр энергиясидан самарали фойдаланишни таъминловчи иш режимларини аниқлаш асосий мақсад сифатида белгилаб олинди. Сув таъминоти цехида истеъмол қилинган электр энергиясини дастлабки ва частота ўгартиргич қурилмаси қўлланилган ҳолатлардаги асосий параметрларини экспериментал ўлчаш ва назарий ҳисоб ишлари асосида аниқланган натижалар қуйидаги 1-жадвалда келтирилган.

1-жадвал.

Сув таъминоти цехида ўрнатилган асинхрон моторни асосий параметрлари ва истеъмол қилинган электр энергияси.

Асинхрон моторнинг қуввати	Суткада истеъмол қилинган электр энергияси	Ойлик истеъмол қилинган электр энергияси	Йиллик истеъмол қилинган электр энергияси
Дастлабки ҳолат			
22 кВт	**494,1 кВт·соат**	**14824,1 кВт·соат**	**177889,3 кВт·соат**
Частота ўзгартиргич қўлланилгандан кейинги ҳолат			
22 кВт	**377,1 кВт·соат**	**11313,9 кВт·соат**	**135767,2 кВт·соат**

Юқоридаги 1-жадвалда келтирилган маълумотларнинг таҳлиллари шуни кўрсатдики, сув таъминоти цехида насос агрегатида ўрнатилган асинхрон моторни иш режимларини частота ўзгартиргич орқали бошқариш ва параметрларини оптималлаштириш натижасида қуввати 22 кВт бўлган асинрон моторни бир суткада ишлаш вақти давомида сарфланган электр энергиясини 117 кВт·соатгача камайтириш, яъни электр энергиясини тежаш мумкин экан. Ушбу кўрсаткич бир йил давомида асинхрон моторнинг ишлаш вақтида ўртача 42122 кВт·соатни ташкил этади.

Асинхрон моторнинг иш режимларини частота ўзгартиргич орқали бошқариш ва параметрларини оптималлаштиришни ушбу ҳолатда тизимнинг энергия тежамкорлиги хусусиятига таъсирларини қуйидаги омиллар асосида тушунтириш мумкин:

- асинхрон моторнинг ротори тезлигини частота ўзгартиргич орқали юкламага мос ҳолатда ўзгартирилиши;
- асинхрон моторнинг юкламага боғлиқ ҳолатда фақат талаб этиладиган қувватда ишлашини, яъни ортиқча қувват билан ишламаслигини таъминланиш;
- частота ўзгартиргич орқали асинхрон моторни кескин ток зарбаларисиз силлиқ ишга туширилиши;
- частота ўзгартиргич орқали асинхрон моторнинг иш режимларини юкламага мос равишда ўзгартирилиши.

Тадқиқот ишида олинган экспериментал ва назарий ҳисоб ишларининг натижалари асосида сув таъминоти цехида қўлланилган асинхрон моторни иш режимларини ва параметрларини частота ўзгартиргич орқали бошқариш ҳисобига электр энергияси сарфини сезиларли даражада камайтириш мумкинлиги аниқланди. Ҳисоб ишларининг якуний натижалари шуни кўрсатдики, ишлаб чиқариш корхонаси сув таъминоти тизимининг бир иш мавсуми давомида электр энергияси истеъмолини 42122 кВт·соатга қисқариб, энергия тежамкорлиги таъминланиши билан бир вақтда иқтисодий самарадорлик бир йил давомида ўртача ҳисобда 38 млн. сўмни ташкил этади.

Хулоса

Тадқиқот ишида олинган натижалар шуни кўрсатдики, қуввати 22 кВт бўлган асинхрон моторни частота ўзгартиргич орқали ишга туширилиши ва иш режимларини бошқариш натижасида йилига 42122 кВт·соат электр энергиясини тежашга имконият яратилади ва асинхрон моторнинг ишлаш вақти давомида фаза токи ҳамда кучланишларининг симметрияси яхшиланиб, электр моторнинг барқарор ва текис ишлаши таъминланади. Натижада электр юритманинг энергия самарадорлиги ошади, техник хизмат кўрсатиш оралиғи узаяди ҳамда қурилманинг ишончли ва узоқ муддатли ишлашига эришилади.

Foydalanilgan adabiyotlar.

1. Q. Wang, Y. Li, R. Li. “Integrating artificial intelligence in energy transition: A comprehensive review”. //*Energy Strategy Reviews.* 2025.
2. W.F. Mbasso. “Digital twins in renewable energy systems: A comprehensive review of concepts, applications, and future directions”. //*Energy Strategy Reviews.* 2025, Volume 61, Article 101814.
3. M.S. Eltohamy. “Enhancing Electric Grid Flexibility for the Integration of Variable Renewable Energy: Challenges, Innovations, and Future Directions”. //*IEEE Access*. 2026, Volume 14, pp. 23080-23109.
4. L.Ba, F.Tangour, I.El Abbassi, R.Absi. “Analysis of Digital Twin Applications in Energy Efficiency: A Systematic Review”. //*Sustainability.* 2025, 17(8), 3560.
5. W.A. Khan. “Digital twin role for sustainable and resilient renewable power plants: A systematic literature review”. //*Sustainable Energy Technologies and Assessments.* 2025, Volume 75, Article 104197.
6. Т.М. Черникова, В.В. Дабаров, А.К. Каченков. Повышение энергоэффективности асинхронных двигателей. //*Техника и технология горного дела*. 2024. № 1(24). С. 77-86.

7. П.А. Бабенко. Исследование влияния конструктивных вариаций асинхронных электродвигателей на энергоэффективность их работы. //*Вестник науки*. 2024. № 1 (70) том 3. С. 1051 - 1055.

8. А.Ф. Бурков, В.Н. Юрин, В.Р. Аветисян. исследование возможностей повышения энергоэффективности асинхронных двигателей. //*Проблемы энергетики.* 2018. 20 (9-10). С.92-100.

9. Р.Г. Мугалимов, Р.А. Закирова, А.Р. Мугалимова. Энергоэффективные асинхронные двигатели, технико-экономические преимущества и оптимизация себестоимости их создания. //*Электротехнические системы и комплексы.* 2016. №2(31). С. 1-5.

10. А.Т. Паноев, М.Б. Бобомуродова, Ж.М. Зоиров, А.Ш. Шарипов. Энергосбережение на асинхронных моторах на примере текстильного предприятия «Ark eko tekstil». //*International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (IJIRSET).* 2021. Volume 10, Issue 5.

11. А.А. Герасименко. Оптимальная компенсация реактивной мощности в системах распределения электрической энергии. //*Монография.* Красноярск. Сиб. федер. ун-т, 2012, 218 с.

РЕАКТИВ ҚУВВАТ КОМПЕНСАЦИЯСИНИ АСИНХРОН МОТОРНИНГ ЭНЕРГИЯ ТЕЖАМКОРЛИГИГА ТАЪСИРИ.

Саъдуллаев Аловиддин Бобакулович – Қарши давлат техника университети
Жиянқулов Лазиз Акром ўғли - Қарши давлат техника университети
Саттарова Махбуба Кучар қизи - Қарши давлат техника университети, магистр.
e-mail: sadullayevalaviddin@gmail.com.

Замонавий энергетика тизимида энергия тежамкор инновацион технологияларни самарали қўлланилиши долзарб масалалардан ҳисобланади [1-3]. Маълумки, ишлаб чиқариш саноат корхоналари электр энергиясининг катта қисми асинхрон моторлар томонидан истеъмол қилинади. Асинхрон моторларни актив қувват билан бир вақтда электр тармоқдан реактив қувват ҳам истеъмол қилиши натижасида электр тармоғида ток ортади, ўтказгич симлар ҳамда трансформаторларда энергия йўқотиш ва кучланиш тушуви даражаси белгиланган меъёрларга нисбатан ортиб кетиши кузатилади [4-11].

Тадқиқот ишида номинал актив қуввати 75 кВт бўлган уч фазали асинхрон моторни электр таъминоти тармоғида ҳосил қилинган реактив қувватни компенсациялаш натижасида тизимнинг энергия тежамкорлиги ҳамда самарадорлигини экспериментал тадқиқот натижаларига мувофиқ ҳолда илмий асослаш мақсад қилиб олинди. Электр тармоғида содир этилган ΔW - энергия исрофларининг ҳисоб ишлари ΔU - кучланиш исрофи коэффициенти усулида амалга оширилди. Назарий ҳисоб ишларини амалда қўлланиладиган усулларда бажаришга қулайлик яратиш мақсадида тадқиқот объектига тегишли бошланғич маълумотлар қуйидаги 1-жадвалда келтирилди.

1-жадвал.

Истеъмолчиларнинг тавсифловчи параметрлари ва сон қийматлари.

№	Параметрлари	Сон қийматлари	№	Параметрлари	Сон қийматлари
1	Электр моторнинг актив қуввати	75 кВт	7.	Kabelning aktiv qarshiligi	0,258 Ω/км
2	Номинал кучланиш	380 В	8.	Kabel uzunligi	50 м
3	Номинал ток	143 А	9.	Kompensator	40 кВАр

				quvvati	
4.	Тармоқ частотаси	50 Гц	10.	Yillik ishlsh vaqti	5310 соат
5.	Трансформатор қуввати	400 кВА	11.	Kabelning induktiv qarshiligi	0,075 Ω/км
6.	Ўтказгич кабель русуми	АВВ(А) LS4x120 мм^2	12.	Sutkalik o‘rtacha ishlash vaqti	14 соат

Асинхрон маторнинг бир сутка давомида $\mathbf{t_s}$ - ўртача ишлаш вақти 14 соатлигини эътиборга олиб, бир йил давомида $\mathbf{t_y}$ - ишлаш вақти қуйидагича аниқланди:

$$\mathbf{t_й = 365 \cdot t_c \rightarrow \quad t_й = 365 \cdot 14 \text{ соат} = 5110 \text{ соат.}}$$

Маълумки, ўзгарувчан ток истеъмолчиларининг энергия самарадорлиги кўрсаткичлари қурилманинг $\boldsymbol{Cos\varphi}$ - қувват коэффициенти билан аниқланади.

Дастлабки ҳолат:

$$\boldsymbol{Cos\varphi_1 = \frac{P}{S_1} \rightarrow S_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = \sqrt{3} \cdot 380 \text{ В} \cdot 143\ A \approx 94{,}2 \text{ кВА.}}$$

$$\boldsymbol{Cos\varphi_1 = \frac{P}{S_1} = \frac{75 \text{ кВт}}{94{,}2 \text{ кВА}} \approx 0{,}796.}$$

$$\boldsymbol{Q_1 = P \cdot Sin\varphi_1 \rightarrow Sin\varphi_1 = \sqrt{1 - Cos^2\varphi_1} = \sqrt{1 - (0{,}796)^2} \approx 0{,}604.}$$

$$\boldsymbol{Q_1 = P \cdot Sin\varphi_1 = 75 \text{ кВт} \cdot 0{,}604 \approx 56{,}9 \text{ кВАр.}}$$

Ҳисоб ишларининг натижалари шуни кўрсатдики, дастлабки ҳолатда асинхрон мотор тармоқдан $\approx \mathbf{56{,}9}$ кВАр реактив қувват олади.

Реактив қувватни компенсацияловчи қурилма улангандан кейинги ҳолат:

Elektr tarmoqqa ulangan kompensatsiyalovchi qurilmaning $\boldsymbol{Q_k}$ - reaktiv quvvati $\boldsymbol{Q_k = 40}$ кВАр бўлганлиги сабабли реактив қувватни компенсациясидан кейин тармоқдан олинадиган $\boldsymbol{Q_2}$ - реактив қувват қуйидаги тартибда аниқланди:

$$\mathbf{Q_2 = Q_1 - Q_k \rightarrow Q_2 = Q_1 - Q_k = 56{,}9 \text{ кВАр} - 40 \text{ кВАр} \approx 16{,}9\ kVAr.}$$

$$\mathbf{S_2 = \sqrt{P^2 + Q_2^2} \rightarrow S_2 = \sqrt{P^2 + Q_2^2} = \sqrt{75^2 + 16{,}9^2} \approx 76{,}9\ kVA.}$$

$$\boldsymbol{Cos\varphi_2 = \frac{P}{S_2} \rightarrow Cos\varphi_2 = \frac{P}{S_2} = \frac{75\ kW}{76{,}9\ kVA} \approx 0{,}976.}$$

Реактив қувватни компенсациялаш бўйича амалга оширилган ҳисоб ишларининг натижалари шуни кўрсатдики, электр тармоғида компенсацияловчи қурилмани қўлланилиши натижасида қувват коэффициенти $\boldsymbol{Cos\varphi_1 \approx 0{,}797}$ дан $\boldsymbol{Cos\varphi_2 \approx 0{,}976}$ катталикка ўзгариши ҳисобига сезиларли даражада яхшиланди. Ушбу натижа электр тармоқларида конденсаторли компенсацияловчи қурилма ёрдамида реактив қувватни компенсациялаш ҳисобига реактив токни юкламага яқин манба орқали амалга оширилишини ва тармоқда содир этиладиган энергия исрофларини сезиларли даражада камайишини таъминлайди.

Хулосалар.

Тадқиқот ишида экспериментал олинган ва назарий ҳисоб ишларининг натижалари шуни кўрсатадики, реактив қуввати 40 кВАр бўлган конденсаторли реактив қувватни компенсацияловчи қурилмани электр тармоққа қўлланилиши ҳисобига қуйидаги самарали натижаларга эришилди:

- асинхрон моторнинг қувват коэффициенти $Cos\varphi_1 \approx 0,797$ дан $Cos\varphi_2 \approx 0,976$ гача оширилиб, тармоқдаги ток кучини 18,4% камайтирилиши натижасида энергия исрофини $\Delta W_{Y\%} \approx 33,7\ \%$ га камайиши таъминланди;
- тармоқдаги реактив қувват, компенсацияловчи қурилмани уланиши ҳисобига дастлабки $56,9$ кВАр ҳолатига нисбатан $\approx 16,9$ кВАр гача камайтирилди;

ADABIYOTLAR RO‘YXATI.

1. Q. Wang, Y. Li, R. Li. “Integrating artificial intelligence in energy transition: A comprehensive review”. //*Energy Strategy Reviews.* 2025.

2. W.F. Mbasso. “Digital twins in renewable energy systems: A comprehensive review of concepts, applications, and future directions”. //*Energy Strategy Reviews.* 2025, Volume 61, Article 101814.

3. M.S. Eltohamy. “Enhancing Electric Grid Flexibility for the Integration of Variable Renewable Energy: Challenges, Innovations, and Future Directions”. //*IEEE Access.* 2026, Volume 14, pp. 23080-23109.

4. L.Ba, F.Tangour, I.El Abbassi, R.Absi. “Analysis of Digital Twin Applications in Energy Efficiency: A Systematic Review”. //*Sustainability.* 2025, 17(8), 3560.

5. W.A. Khan. “Digital twin role for sustainable and resilient renewable power plants: A systematic literature review”. //*Sustainable Energy Technologies and Assessments.* 2025, Volume 75, Article 104197.

6. Т.М. Черникова, В.В. Дабаров, А.К. Каченков. Повышение энергоэффек-тивности асинхронных двигателей. //*Техника и технология горного дела*. 2024. № 1(24). С. 77-86.

7. П.А. Бабенко. Исследование влияния конструктивных вариаций асинхронных электродвигателей на энергоэффективность их работы. //*Вестник науки*. 2024. № 1 (70) том 3. С. 1051 - 1055.

8. А.Ф. Бурков, В.Н. Юрин, В.Р. Аветисян. исследование возможностей повышения энергоэффективности асинхронных двигателей. //*Проблемы энергетики.* 2018. 20 (9-10). С.92-100.

9. Р.Г. Мугалимов, Р.А. Закирова, А.Р. Мугалимова. Энергоэффективные асинхронные двигатели, технико-экономические преимущества и оптимизация себестоимости их создания. //*Электротехнические системы и комплексы.* 2016. №2(31). С. 1-5.

10. А.Т. Паноев, М.Б. Бобомуродова, Ж.М. Зоиров, А.Ш. Шарипов. Энергосбережение на асинхронных моторах на примере текстильного предприятия «Ark eko tekstil». //*International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (IJIRSET).* 2021. Volume 10, Issue 5.

11. Н.А. Фрозинов, Т.Ю.Чернова. Компенсация реактиное мощности в асинхронном электроприводе. //Известея ТулГУ. 2010. Вып.3. С. 214-216.

FOTOELEKTRIK/ISSIQLIK VA FOTOELEKTRIK SUV CHIQARUVCHI QURILMALARNING ELEKTROFIZIK KO’RSATKICHLARI ASOSIDA IQTISODIY KO’RSATKICHLARINI TAQQOSLASH

[1]Eshmatov M.M., [2.1]Xolov U.R., [3]Eshmatov A.M., [1]Eshmuratov M.R.
1.Turon universiteti
2.Qarshi davlat texnika universiteti
3.Chirchiq davlat pedogogika unuversiteti

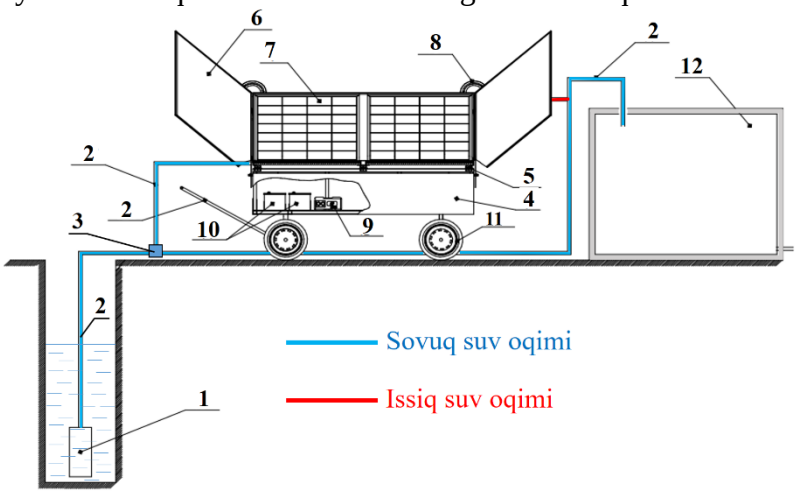
Elektr energiyasiga bo'lgan global talabning ortishi va an'anaviy qazilma yoqilg'iga asoslangan energiya tizimlari bilan bog'liq ekologik muammolar yanada barqaror va ishonchli energiya manbalariga o'tishni taqozo etdi. Ushbu o'zgarish Parij kelishuvi tomonidan belgilangan xalqaro iqlim maqsadlariga rioya qilish zarurati bilan kuchayadi, bu esa global haroratning ko'tarilishini 2 °C dan pastga cheklashni, 2100 yil

oxiriga kelib sanoatgacha bo'lgan darajadan 1,5 °C yuqoriroq maqsadni belgilashni talab qiladi. Birlashgan Millatlar Tashkilotining Iqlim o'zgarishi bo'yicha xalqaro paneli (IPCC) bu masalaning dolzarbligini ta'kidlab, ushbu maqsadlarga erishish 2030 yilga kelib 2010 yildagi darajadan CO_2 chiqindilarini 45% ga kamaytirishni talab qilishini ko'rsatdi [1-2].

Mazkur muammolarni hal etishda qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish, integratsiyalashgan boshqaruv asosida boshqarish muhim ahamiyat kasb etadi. Suv va energiya resurslaridan samarali foydalanish hamda ularning o‘zaro bog‘liqligini chuqur o‘rganish zamonaviy ilmiy tadqiqotlarning ustuvor yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi.

Tadqiqotning maqsadi suv chiqarish ishlarida samarali foydalanish, harorat va chang ta’sirini minimallashtirish hisobiga samaradorlikni oshirish uchun ishlab chiqilgan suv chiqaruvchi mobil fotoelektrik-issiqlik qurilmasining asosiy parametrlari va texnik - iqtisodiy ko’rsatkichlarini tahlil qilishdan iborat.

Fotoelektrik-issiqlik (Photovoltaic-Thermal) tizimi quyosh energiyasidan bir vaqtning o‘zida elektr energiyasi va issiqlik energiyasi ishlab chiqarish uchun fotoelektrik va issiqlik yig‘ish texnologiyalarini birlashtiradi. U odatda fotovoltaik modullar, issiqlik kollektorlari va sovitish tizimidan iborat bo‘ladi [3]. Ushbu suv chiqarish uchun samarali mobil fotoelektri-issiqlik qurilmasida ham fotoelektrik va issiqlik yig‘ish texnologiyalarini birlashtiradi va fotoelektrik massivni sovitishda qo‘shimcha quvvat talab qilinmaydi. Suv chiqaruvchi FEIB asosidagi avtonom qurilma va uning tuzilishi 1-rasmda ko‘rsatilga.



1 Suv nasosi
2. Polietilen(rezina) quvurlar
3. Maxsus taqsimlagich
4. Tirkama kuzovi
5. Biriktiruvchi sharnirlar
6. Fotoelektrik batareya
7. Reflektorlar
8. Kronshteynlar
9. Invertor
10. Akkumulyatorlar
11. Tirkama g’ildiragi
12. iste’molchi yoki zaxira idishi

1-rasm. Suv chiqaruvchi FEIB asosidagi avtonom qurilma va uning tuzilishi

Qurilmaning iqtisodiy ko’rsatkichlarini hisoblash metodlari. Fotoelektrik tizimning xizmat qilish muddati davomidagi narxi (LCC) (1) ifoda yordamida aniqlanadi. Fotoelektrik tizimning xizmat qilish muddati FEB larining kafolat muddati bo‘lgan 20 yil muddat ishlatiladi.

$$LCC = C + TXKX + R_{PV} \quad (1)$$

bu yerda, C - Qurilmalarning har bir qismi, ya’ni fotoelektrik massiv, inverter, akkumulyatorlar, shuningdek elektr kabellari, qadoqlash, tashish va o‘rnatishning yig‘indi qiymati bo‘lgan boshlang‘ich kapital qiymati (1-jadval).

1-jadval

Qurilmalarning dastlabki kapital qiymati

Asosiy vosita va materiallar	soni	Fotoelektril-Issiqlik qurilma	Fotoelektrik qurilma
Tirkama	1	2 700 000	2 700 000
FEB (300 Vt)	2	2 209 500	2 209 500
Invertor (1,6 kVt)	1	2.550 000	2.550 000

Akkumulyator 100 A soat	2	3 400.000	3 400.000
Palikorbanat (Leksan)	-	850 000	-
Suv nasosi (370 Vt)	1	800 000	800 000
Alyukobond	3	2 000 000	-
Rezina quvur (20 metr)	-	450 000	450 000
Polimer Quvur (4 metr)	1	56 000	-
Metal profil 40*40 (3 m)	-	90 000	90 000
To‘g‘ri burchakli metal plastinka 40*40 (8 m)	-	320 000	320 000
Metal profil 10*10(12m)	-	60 000	-
Boshqa xarajatlar	-	2 000 000	1 250 000
Jami		**15 485 000**	**12 389 000**

TXKX - Foydalanish va texnik xizmat ko‘rsatish xarajatlari. R_{PV} - Qurilmaning ishlash muddati davomida akkumulyatorlarni almashtirishni o‘z ichiga olgan umumiy almashtirish narxi. Akkumulyatorlarning xizmat qilish muddati 10 yil ekanligi hisobga olinsa qurilmaning 20 yillik xizmat muddati davomida 1 marta almashtirish ta’lab qilinadi ya’ni 3 400 000 so‘m (1-jadvaldagi akkumulyatorning dastlabki sotib olingan narxi) sarflanadi. Foydalanish va texnik xizmat ko‘rsatish (TXK) bo‘yicha joriy sanoat stavkalari tizim narxining 10% ni tashkil qiladi.

Fotoelektrik qurilmanig yillik haqiqiy ishlab chiqargan elektr energiyasi Q (kW·soat) adabiyotlarda FES ning kun davomida ishlash vaqti 6 soat qilib belgilanganligi uchun (2) formulaga asosan hisoblanadi.

$$Q = 6 \text{ soat} \times 365 \text{ kun} \times P_q \quad (2)$$

Bu yerda P_q- qurilmaning elektr quvvati.

Yillik ishlab chiqarilgan chiqarilgan elektr energiyasi qiymati (C_{yil}), yillik haqiqiy ishlab chiqargan elektr energiyasi Q (kW·soat) ning elektr energiyasi birligi narxi hozirgi kunda yuridik tashkilotlarga sotilayotgan elektr energiyasi narxi (1100 so’m)ga (UZS kWsoat) ko‘paytmasiga teng (3).

$$C_{yil} = e \cdot Q \quad (3)$$

Bu o‘zini qoplash muddatini hisoblash uchun muhim omil hisoblanadi. (investitsiyaning dastlabki qiymatini qoplash uchun zarur bo‘lgan vaqt).

Qurilmaning o’ziga qilingan xarajatlarni qoplash muddati (PBP) (4) ifoda yordamida hisoblanadi.

$$PBP = LCC / Q \cdot e \quad (4)$$

bu yerda, e - elektr energiyasi birligining narxi (UZS/kWsoat).

Qurilmalarning 20 yil xizmat qilish muddati davomida ishlab chiqargan energiyalari (E_T), (5) ifoda orqali hisoblanadi.

$$E_T = Q \times 20 \text{ yil} \quad (5)$$

An’anaviy fotoelektrik qurilmaning 20 yildagi ishlab chiqargan elektr energiyasi 26280 kW soat, FIB asosidagi qurilmaniki esa 44 000 kW soatga teng ekanligi kelib chiqadi.

Qurilmalar tomonidan ishlab chiqarilgan elektr energiyasini 20 yillik xizmat qilish muddati davomida sotishdan olinadigan foydani quyidagi (6) ga asosan hisoblash mumkin.

$$\text{Sof kumulyativ foyda} = (C_{yil} \cdot 20 \text{ yil}) - LCC \quad (6)$$

Qurilmalar tomonidan ishlab chiqarilgan elektr energiyasi birligining narxi (7) ifoda bo‘yicha hisoblanadi.

$$N_q = LCC/E_T \quad (7)$$

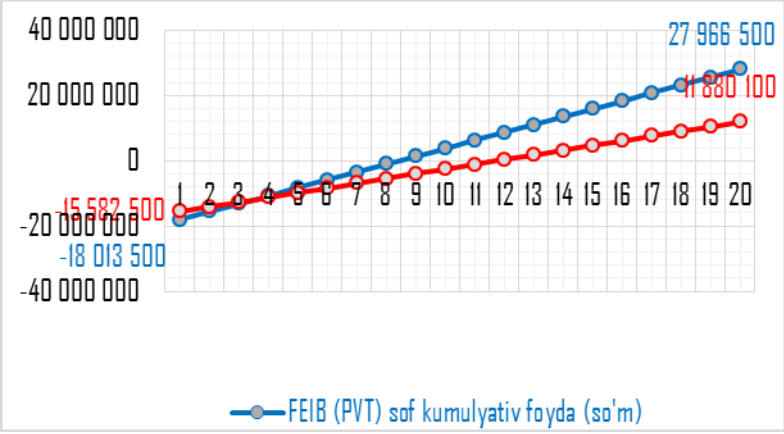
Qurilmaning texnik ko’rsatkichlaridan kelib chiqib iqtisodiy ko’rsatkichlarini hisoblash yuqorida keltirilgan tegishli formulalar yordamida hisoblandi hisoblash natijalari quyidagi 2-jadvalda keltirilgan

2-Jadval

Qurilmalarning iqtisodiy ko’rsatkichlari

Ko’rsatkichlar	Fotoelektrik-isiqlik (PVT) qurilma	Fotoelektrik (PV) qurilma
LCC	20 433 500 UZS	17 027 900 UZS
Q	2200 kW·soat	1314 kW·soat
C_{yil}	2 420 000 UZS	1 445 400 UZS
PBP	8,4 yil	11,8 yil
E_T	44 000	26280

Qurilmalar tomonidan 20 yil xizmat muddati davomida mablag’lar harakati dinamikasi 2-rasmda keltirilgan.



2-rasm. FEIB va FEB asosidagi suv chiqaruvchi qurilmalarning 20 yil xizmat qilish muddati davomida mablag’lar harakati dinamikasi

Qurilmalar ko’rsatkichlaridan kelib chiqib Fotoelektrik-issiqlik batareya asosidagi qurilma an’anaviy fotoelektrik qurilma tan narxidan qimmat bo’lsada o’ziga qilingan xarajatlarni 3.4 yil tezroq qoplaydi. 20 yilda 2,35 baravar ko’proq sof foyda beradi. Uzoq muddatli investitsiya sifatida ancha foydali hisoblanadi**.**

Adabiyotlar

1. S. Das, R. Dutta, S. De, S. De. Review of multi criteria decision making for sustainable decentralized hybrid energy systems. Renew Sustain Energy Rev, 202 (January) (2024), Article 114676, https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114676

2. Bashar Shboul, Mohamed E. Zayed, Muhammad Usman, Rasikh Tariq, Mohammad Alrbai, Fares Almomani. Show moreTechno-economic and environmental assessment of a photovoltaic thermal collector integrated with a horizontal axis wind turbine: Combined heat and power generation application. Energy 338 138718 (2025). https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.138718

3. R.A.Muminov, M.N.Tursunov, X.Sabirov, T.Z. Akhtamov, M.M.Eshmatov. Comprehensive Improvement of the Efficiency of a Mobile Photovoltaic Installation for Water Lifting Throughthe Use of Photothermal Batteries, Side Reflectors of Solar Radiation and Cooling Water from Deep Underground Aquifer. Applied Solar Energy.Vol. 58, No. 2, pp. 238–243. https://doi.org/10.3103/S0003701X22020128

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОСВЕННОГО ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Хайрулла С. Исаходжаев[1],Жамшид Ю. Усмонов[2] Хазратов А. Ганиевич[3]

1) [1] PhD., Доцент, Ташкентский государственный технический университет; x.isaxodjayev1965@yandex.ru

2) [2] Доктарант, Ташкентский государственный технический университет; usmonovjamshid819@gmail.com

3) [3] Асс. Ташкентский государственный технический университет.

В статье рассматриваются вопросы энергосбережения в системах вентиляции и кондиционирования воздуха за счёт применения косвенного испарительного охлаждения. Показано, что данный способ позволяет снизить энергопотребление, уменьшить холодильную нагрузку и в ряде случаев отказаться от использования искусственного холода. Приведены принципиальные схемы систем кондиционирования воздуха с косвенным испарительным охлаждением, рассмотрены особенности их работы, а также процессы обработки воздуха на I–d-диаграмме. Отмечено, что условный холодильный коэффициент таких систем может достигать 12–15 кВт/кВт.

Снижение энергопотребления системами вентиляции и кондиционирования воздуха является актуальной задачей при проектировании и выборе схем вентиляции общественных и административных зданий. Основными потребителями электроэнергии в тёплый период года и потребителями теплоты в холодный период года являются именно системы кондиционирования воздуха.

Испарительное охлаждение в системах вентиляции и кондиционирования воздуха применяется в зданиях и помещениях, не требующих точного поддержания тепловлажностных параметров. Это в основном здания различных отраслей промышленности. В тех случаях, когда параметры внутреннего воздуха нельзя получить прямым испарительным охлаждением, в системах кондиционирования воздуха применяется косвенное испарительное охлаждение [1–4].

1. Принципиальные схемы косвенного испарительного охлаждения. Охлаждение приточного воздуха в схеме с косвенным испарительным охлаждением осуществляется в теплообменном аппарате рекуперативного либо регенеративного типа, контактирующего со вспомогательным потоком воздуха, охлаждаемым испарительным охлаждением, а также в теплообменниках схемы с промежуточным теплоносителем.

Некоторые варианты схем систем кондиционирования воздуха с косвенным испарительным охлаждением представлены на рис. 1-а, 1-б.

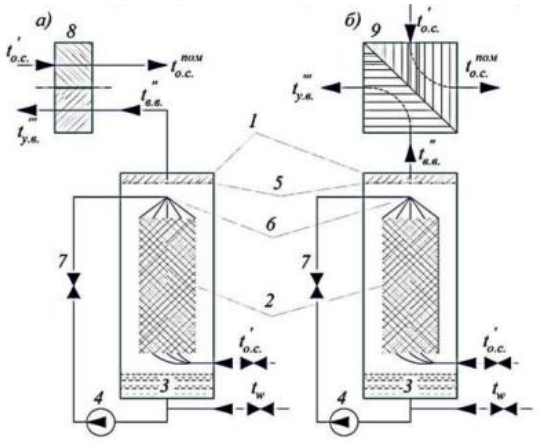


Рис. 1. Принципиальная схема системы кондиционирования воздуха с косвенным испарительным охлаждением с вращающимся регенеративным теплоутилизатором (а) и рекуперативным теплообменником (б).
1 – испаритель; 2 – насадка; 3 – поддон; 4 – водяной насос; 5 – каплеуловитель; 6 – водораспределитель; 7 – регулятор; 8 – вращающийся регенеративный теплоутилизатор; 9 – рекуперативный теплообменник.

2. Условия применения и особенности работы. Системы кондиционирования воздуха с косвенным испарительным охлаждением применяют, если требуется подавать приточный воздух без осушки. Поддержание нормируемых параметров внутренней среды осуществляется местными доводчиками, установленными в помещении. Расход приточного воздуха определяется по санитарным нормам либо по воздушному балансу помещений.

В системах с косвенным испарительным охлаждением применяется вспомогательный поток, в качестве которого используется либо наружный, либо вытяжной воздух. Вытяжному воздуху при наличии местных доводчиков отдаётся предпочтение, так как он повышает энергетическую эффективность процесса. Наружный воздух в качестве вспомогательного потока воздуха используется в случаях, когда по нормам не допускается перетекания вытяжного воздуха в приточный через неплотности теплообменника-утилизатора. Не допускается использование в качестве вспомогательного потока вытяжного воздуха с ядовитыми, взрывоопасными примесями, а также со значительным содержанием взвешенных частиц, загрязняющих поверхность теплообмена. Вспомогательный поток воздуха перед подачей на увлажнение следует очищать в фильтрах.

3. Работа систем в холодный период года. При расчётах и выборе схем системы кондиционирования воздуха с регенеративными и пластинчатыми теплообменниками при использовании вытяжного воздуха в качестве вспомогательного потока необходимо проверять на работоспособность в холодный период года.

Необходимо учесть мероприятия, исключающие обмерзание теплообменников, это такие как:

обвод части обрабатываемого приточного воздуха в пластинчатом теплообменнике;

подогрев вытяжного воздуха перед утилизатором;

регулирование частоты вращения роторного утилизатора.

4. Процесс обработки воздуха. Процесс обработки воздуха в системах кондиционирования с косвенным испарительным охлаждением изображён на диаграмме рис. 2.

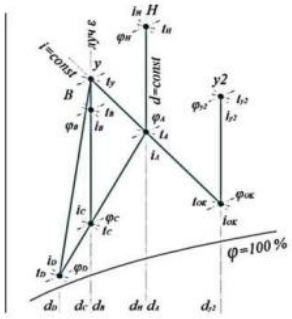


Рис. 2. Процесс обработки воздуха на I – d-диаграмме систем кондиционирования воздуха с косвенным испарительным охлаждением.

5. Энергоэффективность. Энергоэффективность в системах вентиляции и кондиционирования воздуха с косвенным испарительным охлаждением достигается за счёт использования вспомогательного потока воздуха.

Применение схем с косвенным испарительным охлаждением позволяет в некоторых случаях отказаться от использования искусственного холода или значительно снизить холодильную нагрузку,

что позволяет получить значение условного холодильного коэффициента до 12–15 кВт/кВт, т.е. на один киловатт затраченной мощности получить 12–15 кВт холода, что недостижимо при использовании даже лучших холодильных машин.

Литература

1. Захидов Р.А., Усмонов Н.О. Обзор испарительного охладителя в системах кондиционирования воздуха // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – Ташкент. – 2020. – №3-4. – С. 133–137.
2. Тарабанов М.Г., Копышков А.В., Королева Н.А. Энергоэффективные системы вентиляции и кондиционирования воздуха крупного торгового центра // АВОК. – 2013. – №1. – С. 24–29.
3. Хомутский Ю. Расчет косвенно-испарительной системы охлаждения // Мир климата. – 2012. – №71. – С. 174–182.
4. Кокорин О.Я. Современные системы кондиционирования воздуха. – М.: Физматлит, 2003. – 272 с.

ЭСКИЗНАЯ СХЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ РАБОТЫ ОСВЕТЛИТЕЛЕЙ ВПУ ТАШТЭС

Хайрулла С. Исаходжаев[1], Зохид Ё. Хасанов[2], Хазратов А. Ганиевич[3], Жамшид Ю. Усмонов[4]

1) [1] PhD., Доцент, Ташкентский государственный технический университет; x.isaxodjayev1965@yandex.ru
2) [2] (PhD)., Ташкентский государственный технический университет; zohid6356363@gmail.com.https://orcid.org/0009-0005-3869-5738
3) [3] Асс. Ташкентский государственный технический университет.
4) [4] Доктарант, Ташкентский государственный технический университет; usmonovjamshid819@gmail.com

Исследование технологических процессов ВПУ ТашТЭС с помощью автоматизированной системы [1], разработанной авторами, позволили выработать рекомендации по оптимизации процессом управления и контроля осветлителями ВПУ ТашТЭС.

Осветление воды на ВПУ ТашТЭС осуществляется коагуляцией в осветлителях и фильтрацией на механических фильтрах. На рис.1 приведены значения удельной электропроводности (УЭП) сырой воды с канала Боз-Су и осветлителей воды с выхода механических фильтров.

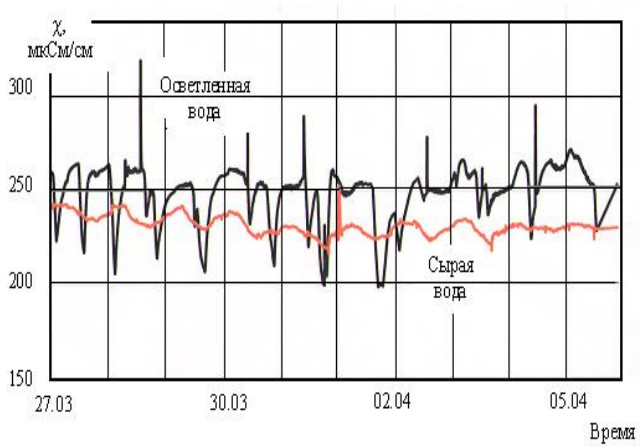


Рис.1 График изменения УЭП за период с 27.03.2010 по 06.04.2010г.

Из рисунка видно, что УЭП сырой воды в течение длительного времени изменяется незначительно и ее средняя величина равна $\chi = 235 \pm 15$ мкСм/см. Несколько иначе изменяется во времени УЭП осветленной воды на входе Н-I катионитовых фильтров. Во-первых, среднее значение УЭП в основном больше, чем у сырой воды, что вполне объяснимо из-за введения в осветленную воду коагулянта и раствора серной кислоты для корректировки значения pH. Во-вторых, из-за неравномерной подачи реагентов в осветлитель наблюдаются резкие колебания УЭП осветленной воды и отклонения от среднего значения могут достигать 20%. Такие изменения во времени УЭП осветленной воды на входе Н-I катионитовых фильтров не позволяют применять для контроля состояния Н-I катионитовых фильтров промышленный сигнализатор СИФ-031, т.к. УЭП осветленной воды на входе Н-I катионитового фильтра может кратковременно превысить значение УЭП на выходе Н-I катионитового фильтра еще до момента истощения загрузки фильтра.

Резкие колебания УЭП осветленной воды указывают на то, что происходит чрезмерный неконтролируемый расход дорогостоящего коагулянта в осветлителе, кроме этого нестабильности степени осветления начальной стадии влияют на всю технологическую линейку ВПУ.

Предлагаемая эскизная схема приведена на рис. 2.

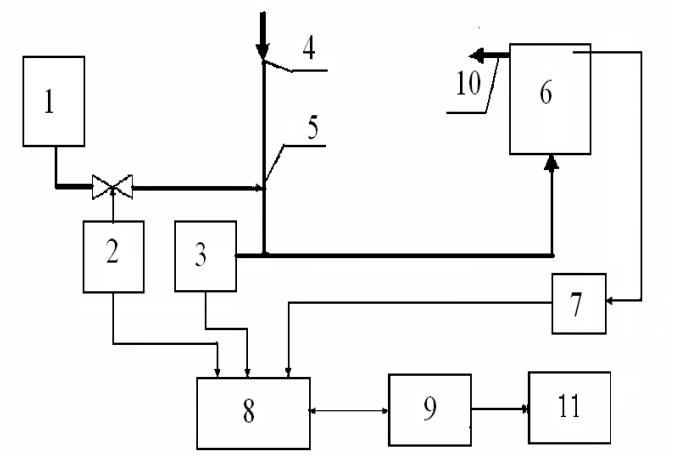


Рис.2 Эскизная схема автоматизированной системы управления и контроля работы осветлителей ВПУ ТашТЭС

1 – Мерник раствора коагулянта.2- Электроуправляемый клапан подачи раствора коагулянта. 3 – Кондуктометрический датчик УЭП на входе в осветлитель. 4 – Трубопровод подачи воды с канала Боз-су. 5- Эжектор. 6-осветлитель. 7– Оптический мутномер.8- Дозатор коагулянта. 9- Многоканальная система сбора информации на основе ПЭВМ. 10- Выход осветленной воды. 11- Кондуктометрический датчик УЭП воды с канала Боз-Су.

По этой схеме сигнал с оптического мутномера 7 поступает на дозатор коагулянта 8 и в зависимости от степени осветления воды дозатор коагулянта с помощью электроуправляемого клапана 2 подачи раствора коагулянта регулирует концентрацию коагулянта в обрабатываемой воде на входе в осветлитель 6.

Значение концентрации коагулянта в воде, поступающей в осветлитель, определяется в дозаторе коагулянта по разности показаний кондуктометрических датчиков УЭП воды на входе в осветлитель 3 и воды с канала Боз-Су 11.

В разрабатываемой автоматизированной системе используется внедренная авторами на ВПУ ТашТЭС многоканальная система сбора информации на основе ПЭВМ 9. Автоматизация работы осветлителей ВПУ ТашТЭС позволит значительно улучшить работу обессоливающей установки,

экономить дорогостоящий коагулянт, существенно увеличить фильтроцикл ионообменных фильтров и ликвидировать остановы оборудования из-за недостаточного осветления воды.

Литература

1. Б.И. Исламов, В.Н., Кадушкин, М.С. Арзуметова, А.И. Савинов, С.Н. Литвинов, М.М. Саматов. Разработка автоматизированной системы мониторинга водно - химического режима на водоподготовительной установке ТашТЭС. Узбекский журнал Проблемы информатики и энергетики АН РУ, № 5, 2009г.

HOZIRGI ENERGIYA TANQISLIGI DAVRIDA ENERGIYA RESURSLARIDAN UNUMLI FOYDALANISH

Assistent, **Abdubannobov Mo‘ydinjon Iqboljon o‘g‘li**
Fargona davlat texnika universiteti
Moydinjonabdubannobov976@gmail.com

Annotatsiya: Ushbu maqolada hozirgi davrda energiya resurslariga bo‘lgan talabning ortishi, energiya tanqisligining asosiy sabablari hamda mavjud energiya resurslaridan samarali va oqilona foydalanish masalalari yoritilgan. Energiya ishlab chiqarish va iste’molining iqtisodiy hamda ekologik jihatlari tahlil qilinib, energiya samaradorligini oshirish, qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish, energiya tejamkor texnologiyalarni joriy etish va aholining energiya madaniyatini rivojlantirishning ahamiyati ko‘rsatib berilgan. Shuningdek, quyosh, shamol, gidroenergetika va boshqa qayta tiklanuvchi manbalardan foydalanish imkoniyatlari, ishlab chiqarish va maishiy sohalarda energiyani tejash usullari ko‘rib chiqilgan. Maqolada energiya resurslaridan unumli foydalanish nafaqat iqtisodiy samaradorlikni oshirishi, balki atrof-muhitga salbiy ta’sirni kamaytirishga ham xizmat qilishi asoslab berilgan.

Kalit so‘zlar: energiya, energiya resurslari, energiya tanqisligi, energiya samaradorligi, energiya tejamkorligi, qayta tiklanuvchi energiya, quyosh energiyasi, shamol energiyasi, gidroenergetika, ekologiya, yashil texnologiyalar.

Kirish: Energiya insoniyat taraqqiyotining asosiy omillaridan biridir. Sanoat, transport, qishloq xo‘jaligi, aloqa, ta’lim, tibbiyot va kundalik hayotning deyarli barcha sohalari energiya resurslaridan foydalanishga bevosita bog‘liq. Aholi sonining ko‘payishi, urbanizatsiya, sanoat ishlab chiqarishining kengayishi va yangi texnologiyalarning rivojlanishi natijasida energiyaga bo‘lgan talab tobora ortib bormoqda.

An’anaviy energiya manbalari, xususan, neft, tabiiy gaz va ko‘mir cheklangan tabiiy resurslar hisoblanadi. Ularni qazib olish va iste’mol qilishning ortishi resurslarning kamayishi bilan bir qatorda atrof-muhitga ham salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Yonilg‘ining yoqilishi natijasida atmosferaga turli gazlar chiqariladi, bu esa ekologik muammolarni kuchaytiradi.

Shu sababli bugungi kunda energiya resurslaridan oqilona foydalanish, energiya samaradorligini oshirish va qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirish muhim vazifalardan biriga aylanmoqda.

1. ENERGIYA TANQISLIGINING ASOSIY SABABLARI

Energiya tanqisligi bir nechta omillar ta’sirida yuzaga kelishi mumkin. Ularning eng asosiylari quyidagilardan iborat:

- energiyaga bo‘lgan talabning tez sur’atlarda oshishi;
- qazilma yoqilg‘i zaxiralarining cheklanganligi;
- energiya ishlab chiqarish quvvatlarining yetarli darajada yangilanmasligi;
- elektr tarmoqlaridagi texnik yo‘qotishlar;
- energiya ishlab chiqaruvchi qurilmalarning eskirishi;

- energiya resurslaridan samarasiz foydalanish;
- transport va sanoat sohalarida energiya sarfining yuqoriligi;
- aholining energiya tejash madaniyati yetarli darajada shakllanmaganligi.

Energiya tanqisligini faqat yangi elektr stansiyalarini qurish orqali hal qilish yetarli emas. Energiya ishlab chiqarish bilan bir qatorda undan foydalanish samaradorligini oshirish ham muhimdir.

2. QAYTA TIKLANUVCHI ENERGIYA MANBALARIDAN FOYDALANISH

Energiya tanqisligini kamaytirishning muhim yo‘nalishlaridan biri qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanishni kengaytirishdir.

Quyosh, shamol, suv, biomassa va geotermal energiya qayta tiklanuvchi manbalarga kiradi. Ularning asosiy xususiyati shundaki, ular tabiiy jarayonlar orqali doimiy yoki davriy ravishda qayta tiklanib turadi.

3.1. Quyosh energiyasi

Quyosh energiyasi katta salohiyatga ega qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan biridir. Quyosh panellari yordamida quyosh nuri elektr energiyasiga aylantiriladi.

Quyosh panellaridan:

- xonadonlarda;
- ta’lim muassasalarida;
- korxonalarda;
- qishloq xo‘jaligida;
- chekka hududlarda

foydalanish mumkin.

Quyosh energiyasining afzalligi — yoqilg‘i talab qilmasligi va foydalanish jarayonida to‘g‘ridan-to‘g‘ri yoqilg‘i yoqilmasligidir. Biroq quyosh energiyasi ishlab chiqarish ob-havo va quyosh nurlanishiga bog‘liq bo‘lishi mumkin. Shu sababli energiyani saqlash tizimlari bilan birgalikda qo‘llash muhim.

3.2. Shamol energiyasi

Shamol turbinalari shamolning kinetik energiyasini elektr energiyasiga aylantiradi. Shamol energetikasidan foydalanish uchun shamol tezligi va hududning geografik sharoitlari muhim hisoblanadi.

Shamol energetikasini rivojlantirish energiya manbalarini diversifikatsiya qilishga yordam beradi. Shu bilan birga, shamol elektr stansiyalarini joylashtirishda ekologik, texnik va iqtisodiy omillar hisobga olinishi kerak.

3.3. Gidroenergetika

Suv oqimining mexanik energiyasidan elektr energiyasi ishlab chiqarishda foydalanish gidroenergetikaning asosini tashkil qiladi.

Gidroelektr stansiyalar elektr energiyasi ishlab chiqarishda muhim o‘rin tutadi. Ularning samaradorligi suv resurslarining mavjudligi va gidrologik sharoitlarga bog‘liq.

3. SANOATDA ENERGIYADAN UNUMLI FOYDALANISH

Sanoat sohasi energiyaning yirik iste’molchilaridan biridir. Shuning uchun ishlab chiqarish korxonalarida energiya samaradorligini oshirish katta iqtisodiy natija beradi.

Buning uchun:

- energiya tejamkor elektr dvigatellaridan foydalanish;
- ishlab chiqarish uskunalarini modernizatsiya qilish;
- avtomatlashtirish tizimlarini joriy etish;
- issiqlik yo‘qotishlarini kamaytirish;
- chiqindi issiqlikdan qayta foydalanish;
- energiya sarfini muntazam monitoring qilish

zarur.

Masalan, ishlab chiqarish jarayonida hosil bo‘ladigan ortiqcha issiqlikni boshqa texnologik jarayonlarda foydalanish uchun qayta yo‘naltirish energiya sarfini kamaytirishi mumkin.

4. QISHLOQ XO‘JALIGIDA ENERGIYA RESURSLARIDAN FOYDALANISH

Qishloq xo‘jaligida sug‘orish nasoslari, traktorlar, issiqxonalar, sovitish va saqlash tizimlari katta miqdorda energiya talab qilishi mumkin.

Energiya samaradorligini oshirish uchun:

- energiya tejamkor nasoslardan foydalanish;
- sug‘orish tizimlarini optimallashtirish;
- issiqxonalarda issiqlik yo‘qotishlarini kamaytirish;
- quyosh energiyasidan foydalanish;
- qishloq xo‘jaligi chiqindilaridan biogaz olish

mumkin.

Biogaz texnologiyasi organik chiqindilarni qayta ishlash bilan birga energiya olish imkonini ham beradi.

5. ENERGIYA TEJAMKOR TEXNOLOGIYALARNING IQTISODIY AHAMIYATI

Energiya samaradorligini oshirish nafaqat energiya resurslarini tejaydi, balki iqtisodiy xarajatlarni ham kamaytiradi.

Korxona yoki xonadon kamroq energiya sarflaganda energiya uchun to‘lanadigan xarajat kamayadi. Uzoq muddatda energiya tejamkor uskunalarga kiritilgan investitsiya o‘zini qoplashi mumkin.

Shuningdek, energiya samarador texnologiyalar yangi ish o‘rinlari yaratish, texnologik innovatsiyalarni rivojlantirish va mahalliy ishlab chiqarishni kengaytirishga ham xizmat ilishi mumkin.

6. ENERGIYANI TEJASHDA RAQAMLI TEXNOLOGIYALARNING O‘RNI

Raqamli texnologiyalar energiya iste’molini nazorat qilish va boshqarish imkoniyatlarini kengaytirmoqda.

Aqlli hisoblagichlar yordamida energiya iste’molini real vaqtga yaqin rejimda kuzatish mumkin. Sensorlar va avtomatik boshqaruv tizimlari esa energiya talabiga qarab yoritish, isitish yoki sovitish tizimlarini boshqarishi mumkin.

Masalan, xonada odam bo‘lmagan vaqtda avtomatik yoritish tizimining o‘chishi elektr energiyasining behuda sarflanishini kamaytiradi.

Kelajakda “aqlli uy”, “aqlli bino” va “aqlli tarmoq” texnologiyalarining rivojlanishi energiya resurslaridan samarali foydalanish imkoniyatlarini yanada kengaytirishi mumkin.

7. AHOLINING ENERGIYA MADANIYATINI SHAKLLANTIRISH

Energiya resurslaridan unumli foydalanishda texnologiyalar bilan bir qatorda inson omili ham katta ahamiyatga ega.

Aholi quyidagi oddiy qoidalarga amal qilishi mumkin:

- keraksiz chiroqlarni o‘chirish;
- energiya tejamkor lampalardan foydalanish;
- elektr jihozlarini bekor ishlatmaslik;
- isitish va sovitish tizimlaridan oqilona foydalanish;
- energiya sarfini nazorat qilish;
- imkon qadar energiya samarador maishiy texnikalarni tanlash.

Maktab, oliy ta’lim muassasalari va boshqa ta’lim tashkilotlarida energiya tejamkorligi bo‘yicha targ‘ibot ishlarini olib borish yosh avlodda ekologik va energetik madaniyatni shakllantirishga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. International Energy Agency (IEA). *Energy Efficiency 2023*. Paris: IEA.

2. International Energy Agency (IEA). *World Energy Outlook*. Paris: IEA.
3. IPCC. *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. Cambridge University Press, 2022.
4. O‘zbekiston Respublikasi Energetika vazirligi. Energetika sohasi va qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirishga oid materiallar.
5. O‘zbekiston Respublikasining energiya samaradorligi va qayta tiklanuvchi energiya manbalariga oid normativ-huquqiy hujjatlari.
6. Boyle, G. *Renewable Energy: Power for a Sustainable Future*. Oxford University Press.

FAZA O‘ZGARUVCHAN MATERIALLAR ASOSIDA BINO QOBIG‘IDA ISSIQLIK ENERGIYASINI AKKUMULYATSIYALASH VA ENERGIYA TEJAMKORLIGINI OSHIRISH

Axmadjonov Mexriddin Faxridinovich
mexriddinaxmadjonov@gmail.com

Energiya va resurslarni tejashda binolarning issiqlik rejimini passiv usullar bilan barqarorlashtirish alohida ahamiyatga ega. Tashqi harorat va quyosh nurlanishining sutkalik tebranishlari bino qobig‘i orqali ichki muhitga uzatiladi va sovitish yoki isitish tizimlariga tushadigan yukni oshiradi. Faza o‘zgaruvchan materiallar (Phase Change Materials, PCM) ma’lum harorat oralig‘ida katta miqdordagi yashirin issiqlikni yutishi va keyinchalik qaytarishi sababli binoning issiqlik inertligini oshirishga xizmat qiladi. Zamonaviy sharhlarda PCM lar devor, tom, pol, deraza, gips, sement qorishmalari va boshqa qurilish elementlariga integratsiya qilinayotgani ko‘rsatilgan [1–4]. Mazkur tezis adabiyotlar tahliliga asoslangan bo‘lib, unda sun’iy eksperimental natijalar keltirilmaydi.

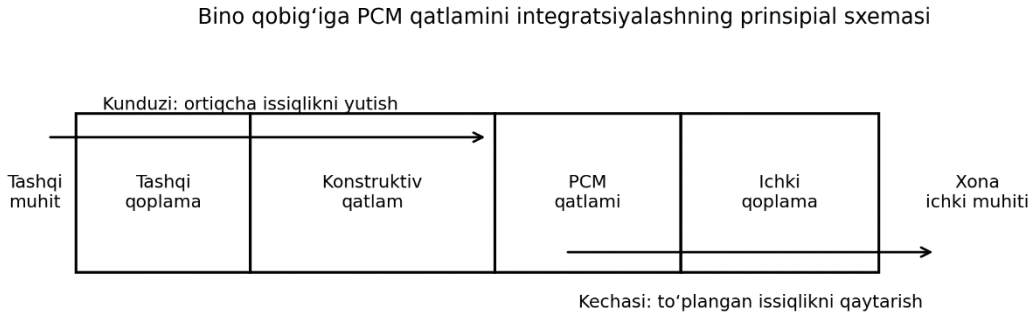
Oddiy material qizdirilganda energiya asosan haroratni oshirishga sarflanadi. Bunda sezilarli issiqlik miqdori Qs quyidagi munosabat bilan aniqlanadi:

$$Q_s = m\, c_p\, \Delta T$$

Bu yerda m – material massasi, c_p – solishtirma issiqlik sig‘imi, ΔT – harorat o‘zgarishi. PCM ning asosiy afzalligi shundaki, erish yoki qotish jarayonida harorat nisbatan kichik oraliqda o‘zgarib, sezilarli energiya faza o‘zgarishining yashirin issiqligi ko‘rinishida yutiladi yoki chiqariladi:

$$Q_l = m\, L$$

Bu yerda L – faza o‘zgarishining solishtirma yashirin issiqligi. Demak, PCMli tizimning umumiy issiqlik saqlash qobiliyati sezilarli va yashirin issiqlik komponentlarining yig‘indisi bilan belgilanadi. Aynan shu xususiyat bino ichki haroratining keskin tebranishlarini yumshatish va eng katta sovitish/isitish yukini vaqt bo‘yicha siljitish imkonini beradi [1, 3].

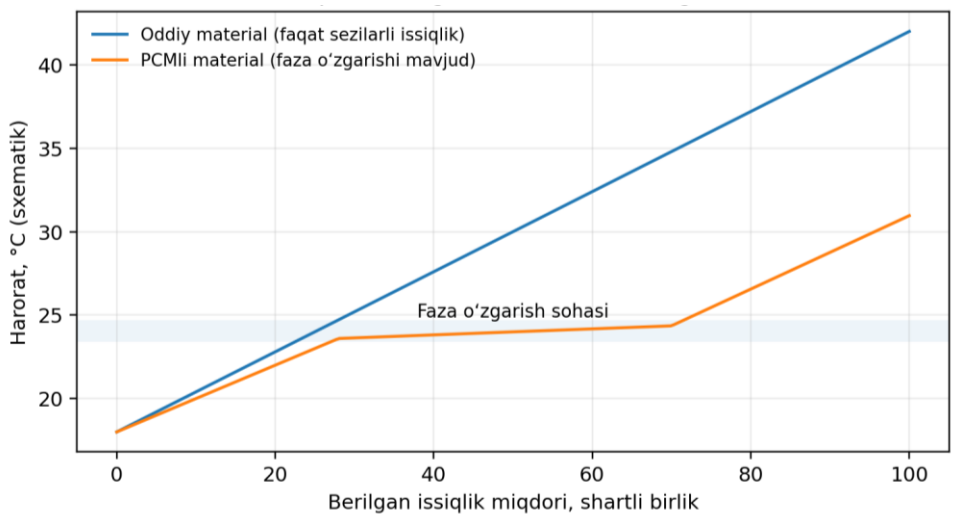


1-rasm. Bino qobig‘iga faza o‘zgaruvchan material qatlamini integratsiyalashning prinsipial sxemasi (mualliflik sxemasi).

PCMni bino qobig‘iga kiritishning fizik ma’nosi issiqlik oqimini “to‘sib qo‘yish” bilangina cheklanmaydi. Oddiy qatlam orqali statsionar issiqlik uzatish soddalashtirilgan holda quyidagi ifoda bilan baholanadi:

$$q = \lambda A \Delta T / \delta$$

Bu yerda q – issiqlik oqimi, λ – materialning issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti, A – issiqlik almashinish yuzasi, δ – qatlam qalinligi. PCMning vazifasi doimo λ ni kamaytirish emas; uning muhim samarasi termik inertsiya va yashirin issiqlik hisobiga issiqlik oqimining maksimumini kechiktirishdir. Shuning uchun faqat issiqlik o‘tkazuvchanlik qiymatiga qarab PCM samaradorligi haqida xulosa qilish to‘liq emas.



1-grafik. Oddiy va PCMli materiallarda issiqlik berilganda harorat o‘zgarishining nazariy-sxematik taqqoslanishi. Grafik muayyan tajriba ma’lumotlarini ifodalamaydi.

PCM tanlashda faza o‘zgarish harorati binoning real ishchi harorat diapazoniga yaqin bo‘lishi kerak. Sharshir va hammualliflar noto‘g‘ri tanlangan PCM yoki uni noto‘g‘ri joylashtirish energiya samaradorligini kutilgan darajada bermasligi, hatto ayrim sharoitlarda salbiy natija keltirib chiqarishi mumkinligini ta’kidlaydi [4]. Zhao va hammualliflar PCMni devor, tom, pol, shift va deraza kabi turli qobiq elementlariga integratsiyalashni tahlil qilib, material turi, miqdori va joylashuvi termik samaradorlikka sezilarli ta’sir ko‘rsatishini ko‘rsatgan [2]. Demak, “PCM mavjud” degan faktning o‘zi yetarli emas; material tanlovi bino iqlimi va foydalanish rejimi bilan uyg‘unlashtirilishi lozim.

Amaliy tizimlarda organik, noorganik va evtektik PCMlarga murojaat qilinadi. Organik PCMlarga parafinlar va yog‘ kislotalari, noorganik PCMlarga esa tuz gidratlari misol bo‘ladi. Qurilish materiallariga kiritishda mikroinkapsulyatsiya, makroinkapsulyatsiya, g‘ovak tashuvchiga singdirish va shakl-barqaror kompozit hosil qilish usullari qo‘llanadi [1, 3]. Inkapsulyatsiya erigan fazaning sizib chiqishini cheklaydi, sirt maydonini oshiradi va materialni qurilish qorishmasiga aralashtirishni osonlashtiradi. Biroq kapsula qobig‘ining mustahkamligi, ko‘p siklli termik barqarorlik va issiqlik almashinish tezligi alohida nazorat talab qiladi.

PCM texnologiyasining asosiy cheklovlaridan biri ko‘plab organik materiallarning nisbatan past issiqlik o‘tkazuvchanligidir. Natijada katta miqdorda energiya saqlash qobiliyatiga ega bo‘lsa ham, zaryadlanish va razryadlanish tezligi yetarli bo‘lmasligi mumkin. So‘nggi tadqiqotlarda grafit, uglerodli qo‘shimchalar, metall yoki keramik yuqori issiqlik o‘tkazuvchi komponentlar bilan kompozit hosil qilish, issiqlik almashinish yuzasini ko‘paytirish va nano-kuchaytirilgan PCMlarga o‘tish kabi yechimlar ko‘rib chiqilmoqda [1, 3]. Shu bilan birga, qo‘shimcha komponentlar narx, massa, yong‘in xavfsizligi va mexanik xossalarga ta’sir qilishi mumkinligi sababli optimallashtirish ko‘p mezonli bo‘lishi kerak.

Resurs tejamkorligi nuqtai nazaridan PCMlarning eng muhim afzalligi elektr yoki issiqlik energiyasini ishlab chiqarmasdan turib, mavjud issiqlik oqimlarini vaqt bo‘yicha qayta taqsimlashidir. Kunduzi quyosh nurlanishidan yoki tashqi issiq havodan kelgan ortiqcha energiya PCMda saqlanishi, tashqi harorat pasayganda esa qayta chiqarilishi mumkin. Shu tariqa sovitish tizimining eng yuqori yuklanishi kamaytiriladi yoki kechiktiriladi. Qishki rejimda ham mos faza o‘zgarish harorati tanlansa, quyoshdan tushgan issiqlikning bir qismini kechki soatlarda chiqarish imkoniyati paydo bo‘ladi. Bu yondashuv qayta tiklanuvchi energiya manbalari bilan birgalikda qo‘llanganda yanada samarali issiqlik boshqaruviga xizmat qilishi mumkin [2, 3].

PCM samaradorligini to‘g‘ri baholash uchun faqat bir kunlik harorat grafigi yetarli emas. Hisoblash yoki tajribada bir necha mezonni parallel kuzatish maqsadga muvofiq: ichki sirt haroratining maksimal qiymati, maksimumning kechikish vaqti, sutkalik harorat amplitudasi, isitish-sovitish energiyasi va PCMning qanchalik to‘liq erib-qotishi. Energiya tejamkorligi nisbiy ko‘rsatkich bilan $\eta = (Eref - EPCM)/Eref \cdot 100\%$ tarzida aniqlanishi mumkin. Bu yerda Eref – PCM qo‘llanmagan etalon holat energiya sarfi, EPCM – PCM integratsiyalangan holat sarfi. Ushbu formula metodik mezon sifatida keltirilmoqda; mazkur tezisda real obyekt bo‘yicha hisoblanmagan foizlar berilmaydi.

Issiq-kontinental iqlim uchun PCM tanlashda kunduzgi va tungi harorat farqi, quyosh radiatsiyasi, fasad yo‘nalishi va xonadan foydalanish vaqti alohida ahamiyatga ega. Agar faza o‘zgarish harorati juda past bo‘lsa, material kun boshidayoq erib, eng yuqori issiqlik yuklanishi paytida qo‘shimcha akkumulyatsiya qila olmaydi; juda yuqori bo‘lsa esa kun davomida umuman faza o‘zgarishiga kirmasligi mumkin. Xuddi shuningdek, PCM qatlamining tashqi yoki ichki tomonga yaqin joylashuvi issiqlik oqimining fazasi va amplitudasiga turlicha ta’sir qiladi. Shu sababli bir iqlimda samarali bo‘lgan konstruktiv yechimni boshqa iqlimga bevosita ko‘chirish ilmiy jihatdan asosli emas [2, 4].

Ko‘p siklli ekspluatatsiyada materialning faza ajralishi, supercooling, kapsula degradatsiyasi, yong‘in xavfsizligi va qurilish materiallari bilan kimyoviy mosligi ham hisobga olinishi kerak. Ali va hammualliflar PCM texnologiyalarining amaliy cheklovlari qatorida past issiqlik o‘tkazuvchanligi, termik barqarorlik, sizib chiqish va uzoq muddatli ishonchlilik masalalarini ajratadi [3]. Demak, laboratoriyada katta L qiymatiga ega bo‘lgan material real bino qobig‘ida avtomatik tarzda eng samarali variant bo‘la olmaydi; texnologik va ekspluatatsion mezonlar ham yakuniy tanlovga kiradi.

PCMli qobiqni raqamli modellashtirishda faza o‘zgarish sohasi oddiy issiqlik sig‘imi bilan ifodalansa, yashirin issiqlikning ta’siri yo‘qolib qoladi. Shu sababli ko‘pincha “samarali issiqlik sig‘imi” yondashuvi qo‘llanadi: $c_{eff} = c_p + L(df/dT)$, bu yerda f – erigan fazaning ulushi. Faza o‘zgarish oralig‘ida df/dT katta bo‘lgani uchun model materialning ko‘p issiqlik yutishini haroratning kichik o‘zgarishi bilan bog‘lay oladi. Bunday hisoblashlar qatlam qalinligi, PCM miqdori va joylashuvini tajribadan oldin taqqoslash imkonini beradi. Biroq model parametrlarini DSC kabi termik tahlil ma’lumotlari va real chegara shartlari bilan moslashtirish zarur; aks holda hisoblash natijasini eksperimental haqiqat sifatida qabul qilish mumkin emas.

Xulosa qilib aytganda, faza o‘zgaruvchan materiallarni bino qobig‘iga integratsiyalash issiqlik energiyasini yashirin issiqlik shaklida akkumulyatsiyalash, ichki harorat amplitudasini kamaytirish va pik issiqlik yuklarini vaqt bo‘yicha siljitish imkonini beradigan innovatsion energiya tejovchi texnologiyadir. Samaradorlikni belgilovchi asosiy omillar – faza o‘zgarish haroratini to‘g‘ri tanlash, yetarli yashirin issiqlik sig‘imi, optimal joylashuv, siklik barqarorlik, xavfsizlik va issiqlik uzatish tezligidir. Shuning uchun kelgusidagi tadqiqotlarda PCMning o‘zini emas, balki “material – qobiq konstruksiyasi – iqlim – foydalanish rejimi” tizimini kompleks optimallashtirish maqsadga muvofiq.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Reddy V.J., Ghazali M.F., Sudhakar K. Advancements in phase change materials for energy-efficient building construction: A comprehensive review. Journal of Energy Storage. 2024. Vol. 81. Art. 110494. DOI: 10.1016/j.est.2024.110494.

2. Zhao S., Ming T., Wu Y., Cai C., Yin K., de Richter R., Fang Y., Chen Y., Zhou N. Application research and effectiveness analysis of phase change materials in building envelope: A review. Energy and Buildings. 2024. Vol. 324. Art. 114923. DOI: 10.1016/j.enbuild.2024.114923.

3. Ali S.A., Habib K., Younas M., Rezakazemi M. Advancements in Thermal Energy Storage: A Review of Material Innovations and Strategic Approaches for Phase Change Materials. Energy & Fuels. 2024. Vol. 38, No. 20. P. 19336–19392. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.4c03634.

4. Sharshir S.W., Joseph A., Elsharkawy M., Hamada M.A., Kandeal A.W., Elkadeem M.R., Thakur A.K., Ma Y., Moustapha M.E., Rashad M., Arıcı M. Thermal energy storage using phase change materials in building applications: A review of the recent development. Energy and Buildings. 2023. Vol. 285. Art. 112908. DOI: 10.1016/j.enbuild.2023.112908.

QARSHI DAVLAT UNIVERSITETI QUYOSH ELEKTR STANSIYASINING QUVVATI VA ISHLAB CHIQARISH KO'RSATKICHLARI

[1]Prof. A. A. Vardiyashvili, [2]J. R. Farmonov, [3]D. U. Panayev, [4]A.A. Jalilov
[1,2,3] Qarshi Davlat Universiteti, [4]G'uzor tuman 3-son politexnikumi o'qituvchisi

Annotatsiya: Maqolada Qarshi davlat universiteti hududidagi quyosh elektr stansiyasining umumiy quvvati, yerga o'rnatilgan qismining tarkibi va qayd etilgan elektr energiyasi ishlab chiqarishi yoritiladi. Universitetdagi quyosh qurilmalarining jami quvvati 1545 kW, shundan yerga o'rnatilgan qismi 510 kW ni tashkil etadi. Beshta yer usti punktining 2023-yil avgustidan 2026-yil sentabrigacha bo'lgan mavjud kunlik qaydlarida jami 2,09 mln kWh elektr energiyasi qayd etilgan. Yillik va oylik ko'rsatkichlar, yozgi ishlab chiqarish hamda eng yuqori kunlik natija umumlashtiriladi. Monitoring qaydlarining stansiya faoliyatini kuzatishdagi amaliy ahamiyati ko'rsatiladi.

Kalit so`zlar: quyosh elektr stansiyasi, Qarshi davlat universiteti, o'rnatilgan quvvat, elektr energiyasi, yer usti quyosh panellari, ishlab chiqarish, monitoring

Kirish.

Quyosh energiyasidan foydalanish ta'lim muassasalarining elektr ta'minotida qo'shimcha mahalliy manba yaratadi. Fotoelektrik panellar quyosh nurlanishini elektr energiyasiga aylantiradi, invertorlar esa hosil bo'lgan doimiy tokni foydalanishga mos o'zgaruvchan tokka o'zgartiradi [1]. Universitet hududida bunday qurilmalarning mavjudligi qayta tiklanuvchi energiyaning amaliy qo'llanishini ko'rsatish va ishlab chiqarish ko'rsatkichlarini muntazam kuzatish imkonini beradi.

Stansiyani tavsiflashda o'rnatilgan quvvat va ishlab chiqarilgan energiyani farqlash lozim. Quvvat kW da, ma'lum vaqt davomida ishlab chiqarilgan elektr energiyasi esa kWh da ifodalanadi. Bir xil nominal quvvatga ega tizimlarning kunlik yoki oylik energiyasi turlicha bo'lishi mumkin. Shuning uchun umumiy quvvat bilan birga amaldagi ishlab chiqarish qaydlari ham stansiya faoliyati haqida muhim ma'lumot beradi.

Ushbu maqolaning maqsadi Qarshi davlat universiteti quyosh elektr stansiyasi haqida umumiy ma’lumot berish va uning yerga o‘rnatilgan beshta punktidagi mavjud ishlab chiqarish ko‘rsatkichlarini yoritishdan iborat. Maqolada 2023-yil avgustidan 2026-yil sentabrigacha bo‘lgan qaydlar asosida yillik jamilar va ajralib turadigan oylik hamda kunlik natijalar keltiriladi [3].

Stansiyaning umumiy tavsifi

Taqdim etilgan quvvat ma’lumotlariga ko‘ra, universitet hududidagi quyosh elektr qurilmalarining jami o‘rnatilgan quvvati 1545 kW, ya’ni 1,545 MW ni tashkil etadi. Ushbu umumiy quvvatning 510 kW yoki 0,510 MW qismi yerga o‘rnatilgan quyosh elektr punktlariga tegishli. Demak, yer usti qismi universitetdagi jami quyosh quvvatining taxminan 33 foizini tashkil qiladi; qolgan qurilmalarga 1035 kW quvvat to‘g‘ri keladi.

Yerga o‘rnatilgan qism beshta punktdan iborat. Taqdim etilgan fotosuratlarda panellar, ularni tutib turuvchi metall konstruksiyalar, Huawei invertorlari va elektr taqsimlash shkaflari ko‘rinadi. Bunday tuzilishda panellar energiya hosil qiladi, invertorlar elektr energiyasini o‘zgartiradi, taqsimlash va himoya qurilmalari esa elektr zanjirlarining ishlashiga xizmat qiladi. Alohida punktlardan iborat joylashuv ularning qaydlarini alohida va umumiy ko‘rinishda kuzatish imkonini beradi.

Ishlab chiqarish ma’lumotlari Huawei FusionSolar platformasidan saqlangan monitoring qaydlariga asoslanadi. Arxivda kun ichidagi besh daqiqalik quvvat yozuvlari, kunlar bo‘yicha energiya jamilarini beruvchi oylik eksportlar va oylar bo‘yicha umumlashtirilgan yillik eksportlar mavjud. Quyida keltirilgan energiya qiymatlari beshta yer usti punktining mavjud kunlik energiya qaydlarini jamlash orqali hisoblangan. Ular universitetdagi butun 1545 kW tizim ishlab chiqarishini ifodalamaydi.

Qayd etilgan elektr energiyasi ishlab chiqarishi

Ko‘rib chiqilgan davrda beshta yer usti punktining mavjud kunlik qaydlaridagi jami elektr energiyasi 2 089 520,99 kWh ni tashkil etdi. Bu 2089,52 MWh yoki yaxlitlanganda 2,09 mln kWh ga teng. Davrlar bo‘yicha taqsimot 1-jadvalda keltirilgan. Arxivda ayrim qaydlar mavjud emasligi sababli ushbu yig‘indi to‘liq hisoblagich jami sifatida emas, saqlangan ma’lumotlarda qayd etilgan ishlab chiqarish sifatida talqin qilinadi.

1-jadval. Beshta yer usti punktining davrlar bo‘yicha ishlab chiqarish qaydlari

Davr	Elektr energiyasi, kWh	Elektr energiyasi, MWh
2023-yil, avgust–dekabr	177 249,99	177,25
2024-yil, yanvar–dekabr	659 438,66	659,44
2025-yil, yanvar–dekabr	719 001,92	719,00
2026-yil, yanvar–sentabr	533 830,42	533,83
Mavjud qaydlar bo‘yicha jami	2 089 520,99	2089,52

2024-yil uchun qayd etilgan jami 659,44 MWh, 2025-yil uchun esa 719,00 MWh bo‘lgan. Shunday qilib, 2025-yildagi qayd etilgan yig‘indi 2024-yilga nisbatan 59,56 MWh yoki taxminan 9,0 foiz yuqori. Bu

farq mavjud qaydlar bo‘yicha ishlab chiqarish hajmlarini tavsiflaydi; uning o‘zi texnik samaradorlik oshganini yoki o‘zgarishning aynan bir sababini tasdiqlamaydi.

2023-yil ko‘rsatkichi avgust–dekabr oylarini, 2026-yil ko‘rsatkichi esa yanvar–sentabr oylarini qamrab oladi. Shu sababli ularni to‘liq yil ko‘rsatkichlari bilan bevosita taqqoslash maqsadga muvofiq emas. 2026-yil oktabr oyi tugamaganligi uchun hisobga kiritilmagan. Bunday davr chegaralari natijalarni tushunarli va bir xil mazmunda taqdim etish uchun muhimdir.

Ajralib turadigan oylik va kunlik ko‘rsatkichlar

Mavjud qaydlarda yuqori oylik ishlab chiqarish yoz oylariga to‘g‘ri keladi. Jumladan, 2025-yil iyul oyida beshta punkt jami 87 017,53 kWh, avgust oyida esa 87 010,32 kWh energiya ishlab chiqargan. Bu ikki oy natijalari bir-biriga juda yaqin. 2026-yil avgust va 2024-yil iyul oylarida ham yuqori qiymatlar qayd etilgan (2-jadval). Jadvaldagi har bir oy uchun barcha beshta punktning barcha kunlari bo‘yicha energiya qaydlari mavjud.

2-jadval. Yuqori ishlab chiqarish qayd etilgan ayrim oylar

Oy	Elektr energiyasi, kWh	Elektr energiyasi, MWh
2025-yil iyul	87 017,53	87,02
2025-yil avgust	87 010,32	87,01
2026-yil avgust	86 045,10	86,05
2024-yil iyul	85 395,63	85,40

2024-yil iyun–avgust oylarida jami 249 952,40 kWh, 2025-yilning shu uch oyida esa 254 282,83 kWh energiya qayd etilgan. 2025-yil yozgi yig‘indisi o‘sha yil uchun mavjud qaydlar jamisining taxminan 35,4 foizini tashkil qiladi. Bu yozgi davrning yillik ishlab chiqarishdagi sezilarli ulushini ko‘rsatadi. Oylik jamilar bir kunlik ob-havo o‘zgarishidan kengroq davrdagi ishlash holatini ifodalaydi.

Barcha beshta punktning kunlik qaydlari mavjud bo‘lgan kunlar orasida eng yuqori jami 2024-yil 2-iyulda kuzatilgan: 3027,68 kWh, ya’ni taxminan 3,03 MWh. Shuningdek, 2025-yil 20-iyunda 3019,47 kWh, 27-iyunda esa 3013,70 kWh qayd etilgan. Ushbu qiymatlar ayrim kunlarda yer usti tizimi 3 MWh dan ortiq elektr energiyasi ishlab chiqarganini ko‘rsatadi.

Yozgi oylarda energiya jamisining yuqori bo‘lishini kun davomiyligi va quyosh nurlanishi sharoitlari bilan bog‘liq holda ko‘rib chiqish mumkin. Shu bilan birga, yuqori ishlab chiqarish haroratning oshishi panel samaradorligini oshiradi degani emas. Fotoelektrik elementlar haroratining ko‘tarilishi kuchlanish va samaradorlikning pasayishiga olib kelishi mumkin [2]. Mazkur maqoladagi ko‘rsatkichlar ishlab chiqarish hajmini tavsiflaydi; ularning meteorologik sabablari alohida hisoblab baholanmagan.

Monitoringning amaliy ahamiyati

Elektr energiyasi qaydlarini muntazam saqlash stansiyaning kunlik, oylik va yillik faoliyatini kuzatishga yordam beradi. Besh daqiqalik yozuvlar kun ichidagi quvvat o‘zgarishini ko‘rsatsa, kunlik va oylik jamilar ishlab chiqarish hajmini umumlashtirish uchun qulaydir. Ushbu ko‘rsatkichlar universitetning

quyosh energetikasiga oid hisobotlarini tayyorlash va stansiya faoliyatini tushunarli tarzda namoyish etishda qo'llanishi mumkin.

Universitetdagi quyosh qurilmalari o'quv jarayoni uchun ham amaliy misol bo'la oladi. Panellar, invertorlar va monitoring qaydlari orqali energiya hosil bo'lishi hamda quvvat bilan energiya orasidagi farqni tushuntirish mumkin. Ishlab chiqarish ma'lumotlari mavjud bo'lsa-da, universitet iste'molining necha foizi qoplangani yoki qancha mablag' tejalganini aniqlash uchun iste'mol, tarmoqqa uzatish va tarif ma'lumotlari ham talab qilinadi.

Xulosa

Qarshi davlat universiteti hududidagi quyosh elektr qurilmalarining jami o'rnatilgan quvvati 1545 kW bo'lib, uning 510 kW qismi yerga o'rnatilgan beshta punktga tegishli. Yer usti qismi umumiy quyosh quvvatining taxminan uchdan birini tashkil etadi. Ushbu punktlarning 2023-yil avgustidan 2026-yil sentabrigacha bo'lgan mavjud kunlik qaydlarida jami 2,09 mln kWh elektr energiyasi qayd etilgan.

Ajralib turadigan natijalar qatoriga 2025-yil iyul va avgust oylaridagi qariyb 87 MWh oylik ishlab chiqarish hamda 2024-yil 2-iyuldagi 3,03 MWh kunlik jami kiradi. Monitoring ma'lumotlarini muntazam saqlash va davrlar bo'yicha umumlashtirish universitet quyosh elektr stansiyasining amaliy faoliyatini yoritish, hisobot yuritish va o'quv maqsadlarida foydalanish uchun foydali axborot beradi.

Foydalanilgan manbalar

1. U.S. Department of Energy. Solar Photovoltaic Technology Basics. https://www.energy.gov/cmei/systems/solar-photovoltaic-technology-basics (murojaat sanasi: 05.10.2026).

2. U.S. Department of Energy. Solar Photovoltaic Performance and Efficiency Basics. https://www.energy.gov/cmei/systems/solar-photovoltaic-performance-and-efficiency-basics (murojaat sanasi: 05.10.2026).

3. Qarshi davlat universiteti quyosh elektr punktlarining Huawei FusionSolar monitoring qaydlari: 2023-yil avgust–2026-yil sentabr. Taqdim etilgan arxiv, qurilmalar fotosuratlari va o'rnatilgan quvvat ma'lumotlari.

SARIMSOQ EKISH SEYALKASI EKISH SEKSIYANING KINEMATIK ISH REJIMLARINI ANIQLASH

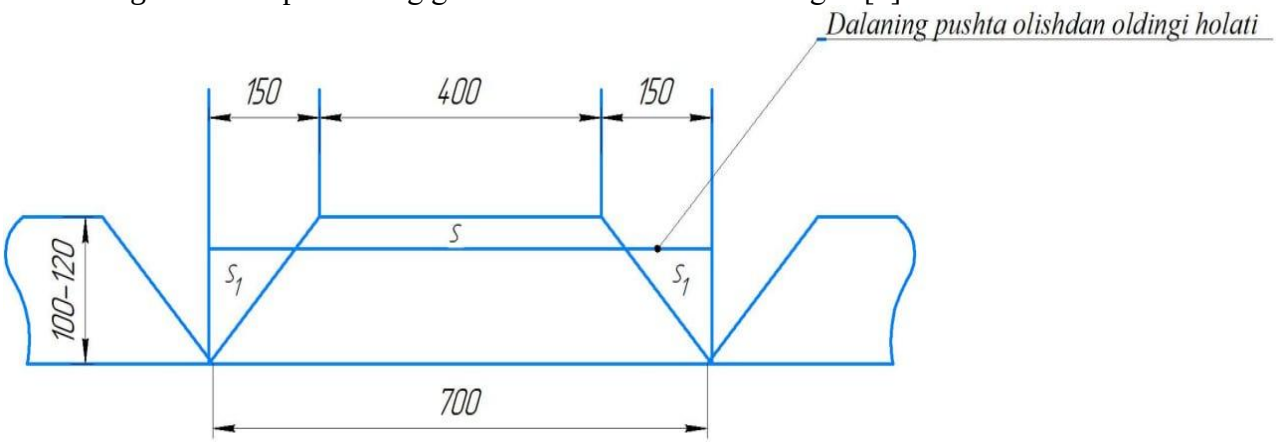
N.R.Rustamova. Qarshi davlat texnika universiteti PhD
F.Sh.Toyirova. Qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash ilmiy tadqiqot instituti, tayanch doktoranti
e-mail: nastarinabdullayeva1@gmail.com

Sarimsoq piyoz vegetativ ko'payadigan bir yillik o'simlik sifatida ekiladi. Barcha onalik organlari birinchi yilgi rivojlanish davridayoq so'nadi. Sarimsoqpiyoz pallasidan ko'payadi. Sarimsoqpiyoz turli iqlim shiroitiga tez moslashadi. U quruq issiq iqlimli mintaqada ham, shuningdek namchil subtropik va mo''tadil mintaqada ham yaxshi o'sadi, ayniksa uning kuzgi navlari sovuqqa chidamli. Ildizi 0°C o'sa boshlaydi, 3-5°C yaxshi o'sadi, 6-8°C esa ko'chati unib chiqadi. Pallasining shakllanishi 15-20°C, pishib etilishi esa 20-25°C da kechadi [1].

Ekin ekiladigan tuproq oddiy soz tuproqdan o'zining tarkibi, qattiqligi, tarkibidagi chirindilar miqdori, ya'ni unumdorligi bilan farq qiladi [2]. Sarimsoq piyoz ekishdan oldin erga ishlov berish kuzgi piyozga tayyorlash singaridir. Beriladigan gerbitsidlar ham bir xil. Sarimsoq piyozga organik va mineral o'g'itlar quyidagi miqdorda tavsiya etiladi: qurigan go'ng gektariga 20-30 *t*, azot gektariga 200 *kg*, fosfor – 140-160

kg, kaliy – 60-75 *kg*. Erga chirimagan go‘ng solish tavsiya etilmaydi, u hosilning etilishi va saqlanishiga salbiy ta’sir etadi. Organik, 75% fosforli hamda kaliyli o‘g‘itlarning yillik miqdori haydashdan oldin solinadi. Fosforli o‘g‘itning qolgan qismi va gektariga 30-40 kg azot ekish paytida beriladi. Azotli o‘g‘itlarning qolgan qismi ikki bo‘lib: erta bahorda, birinchi o‘toqdan keyin va shundan so‘ng 2-3 hafta o‘tib beriladi [1].

Sarimsoq piyoz pallalarini bir tekis unib chiqishi uchun pushtalar tekis va bir xilda bo‘lishiga erishish lozim. 1-rasmdagi sxemada pushtaning geometrik o‘lchamlari keltirilgan [3].



1-rasm. Sarimsoq ekiladigan pushtaning geometrik sxemasi

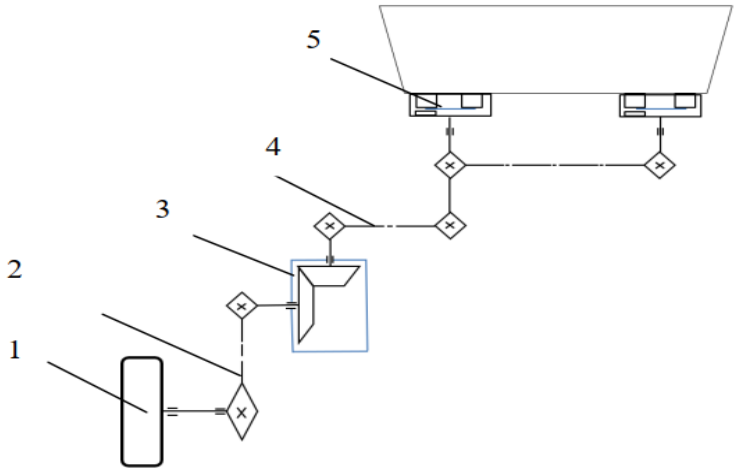
Sarimsoq piyoz ekiladigan pushtalarning geometrik parametrlari quyidagicha bo‘lishi talab etiladi: pushtaning umumiy kengligi 70 sm, undagi urug‘ ekiladigan zonaning kengligi 40 sm, sug‘orish egatini kengligi 30 sm va sug‘orish egatining chuqurligi 10-12 sm. 1-rasmda keltirilgan S_1 yuzalar ishlov berilib ekishga tayyorlangan dala maydonida pushta hosil qilish uchun sug‘orish egatidan urug‘ ekish zonasiga chiqariladigan tuproq qatlami hisoblanadi [3]. Bunda

$$S = 2S_1$$

Sarimsoq ekish mashinasi urug‘lik pallalar orasidagi masofani ta’minlashi lozim, ya’ni ekish seksiyasidagi zanjirni aylanishlar soni agregat harakat tezligiga mutonosib bo‘lishi lozim. Ekish apparati harakatni zanchirli uzatma va reduktor orqali tayanch-harakat g‘ildiragidan oladi (2 rasm) [4].

Kinematik sxemaga ko‘ra, xarakat tayanch g‘ildirak (1) dan, zanjirli uzatma (2) orqali reduktor (3) ga undan zanjirli uzatma (4) orqali qoshiqchali ekish apparati (5) ga uzatiladi [4].

Sarimsoq ekish mashinasining ekish apparati qoshiqchalari soni 4 ta bo‘lgan holat uchun harakat tenglamalarini quyidagicha tuzib olamiz.



2- rasm. Sarimsoq ekish mashinasi uzatish mexanizmining kinematik sxemasi

Sarimsoq ekish jarayonida ekish mashinasi biror-bir V_a tezlik bilan harakatlanadi. Ushbu V_a tezlik natijasida tayanch g‘ildirak aylanma harakatni amalga oshiradi. Tayanch g‘ildirakning burchak tezligini quyidagicha ifodalaymiz:

$$\omega = \frac{V_a}{R_g}, \quad (1)$$

bunda V_a- ekish mashinasining harakat tezligi, m/s;

R_g - tayanch-harakat g‘ildiragining radiusi, m.

Tayanch-harakat g‘ildiragining aylanishlar sonini quyidagicha ifodalaymiz:

$$n_T = \frac{30\omega}{\pi} = \frac{30V_a}{\pi R_g}, \quad (2)$$

Zanjirli ekish apparatining aylanishlar soni texnologik jarayonni bajarilishini inobatga olgan holda quyidagicha ifodalaymiz:

$$n_z = \frac{60\,V_a}{lz}, \quad (3)$$

bunda *l* – qatordagi urug‘lar orasidagi masofa, m;

z – Zanjirdagi qoshiqchalar soni.

Sarimsoq piyoz ekish mashinasining kinematiki ish rejimi:

$$\lambda = \frac{n_d}{n_T} \quad (4)$$

(4) ifodada n_z va n_T yuqoridagi (3) va (2) ifodadagi qiymatlarini qo‘yib quyidagi yakuniy ifodani olamiz:

$$\lambda = \frac{2\pi R_g}{lz} \quad (5)$$

$R_g = 0{,}13\ m$, $l = 0{,}07\ m$, $V_a = 2\ {}^{km}/_{soat} = 0.556\ {}^{m}/_{s}$ va $z = 25$ dona qabul qilib (5) ifoda bo‘yicha o‘tkazilgan xisoblar sarimsoq ekish mashinasining kinematik ish rejimi 0,46 bo‘lishini ko‘rsatdi [4].

Xulosa qilib aytganda olib borilgan tahlillar asosida sarimsoq ekish seyalkasining ekish seksiyasi ish jarayonida sarimsoq pallalarini belgilangan ekish oralig‘ida va bir tekisda joylashtirish uchun uning kinematik ish rejimini to‘g‘ri tanlash muhimligi aniqlandi. Ekish seksiyasining kinematik ish rejimi ishchi organlarning aylanish chastotasi, agregatning harakat tezligi hamda ekish apparatining geometrik va konstruktiv parametrlariga bog‘liq. Shuningdek, ekish seksiyasining kinematik ish rejimini aniqlash kelgusida seyalkaning ishchi organlari parametrlarini asoslash, sarimsoq pallalarining shikastlanishini kamaytirish va ekish sifatini oshirish uchun asos bo‘lib xizmat qiladi.

Keyingi tadqiqotlarda nazariy hisoblash natijalarini tajriba-sinov ishlari orqali tekshirish hamda ekish seksiyasi uchun maqbul kinematik ish rejimini aniqlash ko‘zda tutiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Zuev Vladimir Ilich, Qodirxo‘jaev Orif, Adilov Maxsud Mirvasitovich, Akramov Umidilla Ikramdjanovich. Sabzavotchilik va polizchilik. Toshkent-2010. 225-bet.

2. M.Shoumarova, T.Abdillayev. Qishloq xo‘jaligi mashinalari. Toshkent “O‘qituvchi” 2002. 423-bet.

3. Resurstejamkor va fermerbop qishloq xo‘jalik mashinalarini yaratish va ulardan foydalanish samaradorligini oshirish. Respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi ILMIY MAQOLALAR TO‘PLAMI. Gulbahor-2020

4. Mamadaliyev Abrorbek Murodilla o‘g‘li NamDTU, doktorant, Kartoshka ekish mashinasining miqdorlagichining ish rejimlarini asoslash. Mexanika va texnologiya ilmiy jurnali. 6-jild, 2-son, 2025

ИЗУЧЕНИЕ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ПАРАМЕТРОВ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ

Абдуллаев Жамолиддин Солижонович*
доцент Ферганского государственного технического университета
Бакиров Элдор Валижон угли
докторант Ферганского государственного технического университета
Ж. Жамолиддинов
Студент Ферганского государственного технического университета
abdullaevjamoliddin@gmail.com

В данной исследование приведены результаты исследования процесса деградации промыщленных светодиодов (СД) на основе $Al_xGa_{1-x}As{:}Te(x \succ 0,34) - Al_{0,34}Ga_{0,66}As{:}Zn\text{-}GaAs{:}Zn$ гетероструктур. Эпитаксиальные слои последовательно наращивались на подложки **p**+ - Ga As. Часть СД с мезаструктурой имела защитное покрытие из Si3N4.

Эти светодиоды получены методом жидкостнофазной эпитаксии.

При исследование деградационного процесса измерялись все основные электрические характеристики СД. Спектр лектролюминесценции (ЭЛ) исследованных СД содержал две полосы свечения: красную (К) $h\nu_m$ = 1,82 эВ с полушириной 0,06 эВ и инфракрасную (ИК) $h\nu_m$ = 1,39-1,4 эВ с полушириной 0,07 эВ. Исследования показали, что если в СД ИК полоса свечения имела максимум $h\nu_m$ = 1,39 эВ, то при деградации спектральное положение обеих полос не изменялось. Если же максимум ИК – полосы соответствовал 1,4 эВ , то в процессе деградации наряду с уменьшением величины обеих полос наблюдалось смещение ИК полосы свечения в длинноволновую сторону.

Наблюдалось изменение интенсивности и а так же смещение ИК – полосы в длинноволновую сторону, которые происходит одновременно с ростом избыточного термотуннельного тока на обратной ветви вольт – амперной характеристики (ВАХ). Рост избыточного тока при наработке характеризует увеличение концентрации дефектов в области пространственного заряда (ОПЗ) p – n перехода, в то же время изменение интенсивности ИК полосы свидетельствует об увеличении концентрации дефектов на гетерогранице GaAs-AlGaAs [1].

Кроме того, также измерялись параметры глубоких центров в активной области СД. В спектре DLTS обнаружено восемь пиков, соответствующих ловушкам для основных носителей (ОН) – дырок, и один пик связанный с ловушками для неосновных носителей (НН) – электронов, в активном p – слое СД.

Для того, чтобы судить о пространственной локализации центров, измерения их концентрации проводились при различных обратных смещениях на диоде, соответствующих различной ширине, области пространственного заряда (ОПЗ).

Для анализа кинетики деградации исследованных СД, процесс деградации условно разделяется на периоды (интервалы А – Б, Б – С и С – Д), соответствующие характерным изменения параметров СД при наработке.

1. В период А – Б эффективность свечения основной К – полосы электролюминесценции $(W_k = k\eta_o I_n \eta_k)$ практически не изменяется. При этом на ВАХ наблюдается увеличение прямого и обратного туннельно – термических и терморекомбинационного токов.

В тех светоизлучающих диодах, у которых на участке А – Б рекомбинационный ток не возрастал – величина $W_{k\,o}$ ставалась постоянной и в спектре DLTS наблюдалось увеличение концентрации только ловушек H_3 и $H_{4и}$ снижение число ловушек H_1 и E. В тех СД, у которых на

участке А – Б рекомбинационный ток значительно возрастал и падала величина W_k, одновременно с ростом числа ловушек H_3 и H_4 в спектре DLTS увеличилась концентрация центров H_7и H_8.

Авторы работ [2], с дефектом V_{Ga}в $Al_{0,32}Ga_{0,68}As$ связывают отрицательно заряженную дырочную ловушку с энергетической глубиной $0{,}64 \pm 0{,}01$ эВ. Это значение удовлетворительно согласуется с энергией ионизации обнаруженной нами дырочной ловушки H_7.

2. В период Б – С деградации W_k обусловлена снижением объемной квантовой эффективности свечения η_k при постоянной величине токов на ВАХ. В спектре DLTS сигнала в это время происходит уменьшение числа ловушек H_3, H_4 и рост концентрации центров Е, H_5 и H_6.

Участок Б – С процесса деградации СД мы связываем со снижением внутреннего квантового выхода К – полосы свечения в активном р – области диода.

3. Наконец, на участке С – Д наработки скорость снижения объемной эффективности свечения уменьшается. В то же время на прямой и обратной ветвях ВАХ вновь начинают расти туннельно – термический и рекомбинационный токи, а в спектре DLTS сигнала увеличивается концентрация центров H_3, H_7, H_8 и снижается число электронных ловушек Е.

Описанная кинетика снижения эффективности свечения СД при деградации становится понятной, если предположить, что в период Б – Д деградации СД обусловлена диффузией подвижных примесей или деффектов из удаленных от р – n перехода областей гетероструктуры, а имеено, высоколегированной GaAs.

1. Торчинская Т.В., Бройловский Е.Ю., Мирзажонов М.А. и др. Избыточные токи и структурные дефекты в In Ga As : Si светодиодах. // ФТП. – 1984.-Т.18, №8. –С. 1397-140
2. Saxena Ashok K. Photoconductity storage in $Ga_{1-x}Al_xAs$ alloys of low temperature // Solid. State Electr. – 1982 – v.25, N 2. – P. 127 -131.
3. Абдуллаев Ж.С., Бакиров Э.И., Жамолитдинов Ж.И.Изучения влияния глубоких центров р – n –перехода светоизлучающих диодов в процессе деградации. Journal of Advances in Engineering Technology Vol.1(21), January — March, -2026-P.62-71.

DAMPING AND MAGNETOSPATIAL POLARIZATION CONVERSION NEAR THE CdS EXCITON RESONANCE

Yulchiyev I.I., Akhmadaliyev B.J., Movlonov P.I.
Fergana State Technical University, Department of Physics

Exciton–photon coupling makes semiconductor polarization sensitive to both spatial dispersion and dissipation [1, 2]. Recent studies of polarization-selective polaritons in Sn-doped CdS nanowires [3] and magnetic control of anisotropic perovskite polaritons [4] motivate a quantitative separation of these effects. Here, an analytical reanalysis of magnetospatial conversion near the CdS $A_{n=1}$ resonance relates the conversion linewidth to the phase of the transmitted field, using low-temperature CdS parameters as a benchmark [5, 6].

In the Voigt geometry, $B \parallel z \parallel C_6$, $k \parallel y$ and $E_{in} \parallel z$. Eliminating the longitudinal electric field through $D_y = 0$ yields the transverse dielectric tensor. Its symmetric off-diagonal component mixes the two polarization channels [6, 7]:

$$\varepsilon_{ab}^{\mathrm{tr}} = \varepsilon_{ab} - \frac{\varepsilon_{ay}\varepsilon_{yb}}{\varepsilon_{yy}}, \qquad G = \varepsilon_{xz}^{\mathrm{tr}} = \varepsilon_{zx}^{\mathrm{tr}} \propto B_z k_y \tag{1}$$

Here, $a, b \in \{x, z\}$ and $\varepsilon_{yy} \neq 0$. The isotropic reference energy E_{is} satisfies $\varepsilon_{xx}^{tr} = \varepsilon_{zz}^{tr}$ in the uncoupled, lossless limit. Near this reference, a finite damping energy $\gamma = \hbar\Gamma$ competes with magnetic mixing. The local, weak-conversion approximation gives [6]

$$r(\Delta) = \frac{t_{xz}}{t_{zz}} = \frac{V}{\Delta + i\gamma} = \frac{f}{\eta + i} \quad (2)$$

where E is the photon energy, $\Delta = E - E_{is}$, $\eta = \frac{\Delta}{\gamma}$ and $f = \frac{V}{\gamma}$. The real pole residue V incorporates effective mixing and boundary transfer; it is taken constant over the narrow resonance. Constant γ is likewise a local approximation, since polariton damping can depend on energy [8]. Defining $R = \frac{T_{\perp\parallel}}{T_{\parallel\parallel}} = |r|^2$ and choosing the circular-polarization convention $P_c = \frac{-2\,\mathrm{Im}(r)}{1 + |r|^2}$, the normalized Stokes spectra become

$$R = \frac{f^2}{1 + \eta^2}, \quad P_c = \frac{2f}{1 + \eta^2 + f^2}, \quad P_{45} = \frac{2f\eta}{1 + \eta^2 + f^2} \quad (3)$$

The linear Stokes parameter P_{45} compares intensities along analyzer axes at ±45° to the crystal axis. For $T = 1.6$ K, $B = 6$ T, $\gamma = 0.075$ meV and $f^2 = 0.048$, Eq. (3) predicts $R_0 = 0.048$, $\mathrm{FWHM} = 2\gamma = 0.150$ meV, $|P_c(0)| = 0.418$ and $|P_{45}|_{\max} = 0.214$ at $\Delta = \pm 0.0768$ meV. The 4.8% peak is a cross-to-parallel transmission ratio; absolute cross-polarized throughput also depends on the parallel channel.

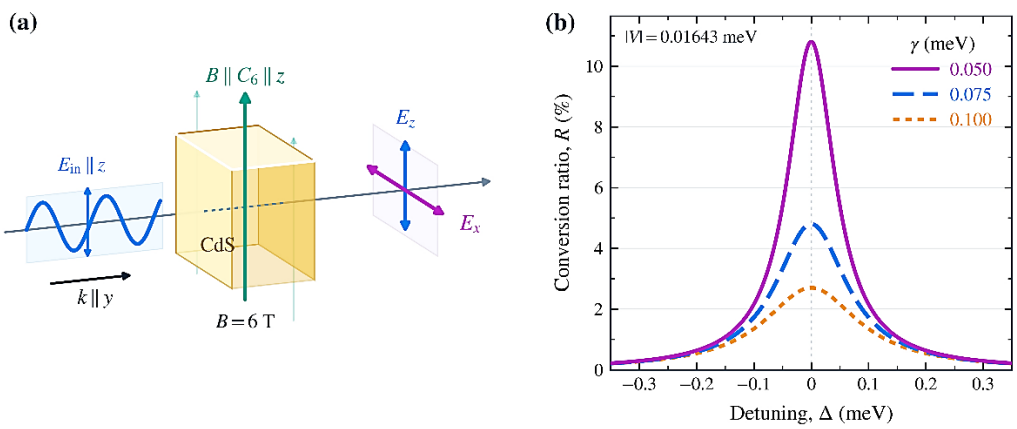


Figure 1. ***Geometry and damping-controlled conversion. (a) $B \parallel z \parallel C_6$, $k \parallel y$ with incident and converted polarizations. (b) Calculated R versus Δ (meV) for $\gamma = 0.050, 0.075, 0.100$ meV, keeping $V = 0.01643$ meV fixed at the 6 T benchmark. The peak decreases as the linewidth increases.***

The benchmark yields $|V| = \gamma\sqrt{R_0} = 0.01643$ meV. Holding this residue fixed gives $R_0 = 0.108, 0.048, 0.027$ for $\gamma = 0.050, 0.075, 0.100$ meV. Thus damping changes both peak height and width; varying γ while holding f fixed would obscure the predicted suppression. When $V \propto B$ and other parameters remain unchanged, $R_0 \propto \frac{B^2}{\gamma^2}$. These are model comparisons, not additional measurements.

Combining the two signed polarization spectra gives a diagnostic independent of conversion strength:

$$\frac{P_{45}}{P_c} = \frac{\Delta}{\gamma}, \quad |V| = \gamma\sqrt{R_0} \quad (4)$$

The slope of $\frac{P_{45}}{P_c}$ versus detuning is $\frac{1}{\gamma}$, independent of conversion strength. It provides a second linewidth estimate, while R_0 determines the residue magnitude. Reversing B reverses both signed Stokes components but leaves R unchanged in this approximation, adding a control against field-even backgrounds.

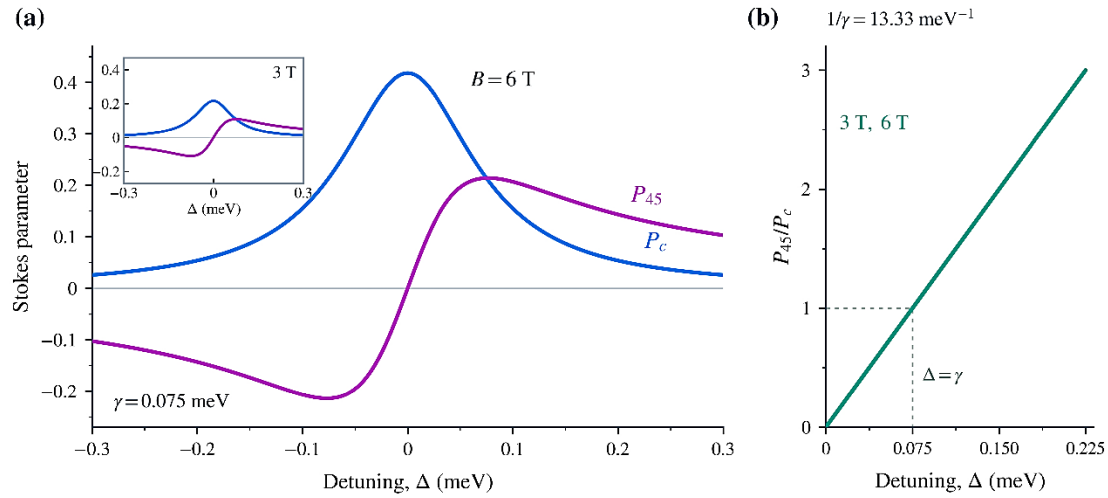


Figure 2. *Polarization and linewidth diagnostics. (a) Calculated circular P_c (blue) and linear P_{45} (magenta) Stokes parameters at $B = 6$ T; the inset shows $B = 3$ T with identical axis ranges. Calculations assume $\gamma = 0.075$ meV and $V(B) = V_6 B/(6\,T)$, where $V_6 = 0.01643$ meV. (b) Positive-detuning branch of $P_{45}/P_c = \Delta/\gamma$, where $\Delta = E - E_{is}$. Both fields yield the same slope, $1/\gamma = 13.33\ meV^{-1}$. Dashed guides indicate $\Delta = \gamma$ at a unit ratio. All curves follow Eqs. (3)–(4) under the stated assumptions; no experimental data points are shown.*

Agreement between the intensity linewidth and the Stokes-ratio slope would support a common dissipative pole. A mismatch would indicate physics beyond the assumed real, constant residue and linewidth, such as unresolved broadening or frequency-dependent boundary transfer. The analysis therefore turns polarization conversion into a joint probe of effective mixing and damping. Strong hybridization or pronounced slab interference requires a full propagation model [2, 5].

References

[1] . Hopfield, J. J. (1958). Theory of the contribution of excitons to the complex dielectric constant of crystals. *Physical Review, 112*(5), 1555–1567. https://doi.org/10.1103/PhysRev.112.1555

[2] . Hopfield, J. J., & Thomas, D. G. (1963). Theoretical and experimental effects of spatial dispersion on the optical properties of crystals. *Physical Review, 132*(2), 563–572. https://doi.org/10.1103/PhysRev.132.563

[3] . Tian, Y., Yao, S., Zhou, Z., Peng, H., Ke, B., Zhou, W., Zhang, Y., & Zou, B. (2023). Super-broad-wavelength-range polarization-selective exciton-polariton in Sn-doped CdS nanowires. *ACS Applied Optical Materials, 1*(1), 298–305. https://doi.org/10.1021/acsaom.2c00056

[4] . König, J. K., Fitzgerald, J. M., & Malic, E. (2025). Magneto-optics of anisotropic exciton polaritons in two-dimensional perovskites. *Nano Letters, 25*(21), 8519–8526. https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.5c00910

[5] . Broser, I., & Rosenzweig, M. (1980). Determination of excitonic parameters of the A polariton of CdS from magnetoreflectance spectroscopy. *Physical Review B, 22*(4), 2000–2007. https://doi.org/10.1103/PhysRevB.22.2000

[6] . Ivchenko, E. L., Kochereshko, V. P., Mikhailov, G. V., & Uraltsev, I. N. (1984). Resonance magneto-spatial dispersion of crystals. *Physica Status Solidi (b), 122*(1), 221–230. https://doi.org/10.1002/pssb.2221220126

[7] . Portigal, D. L., & Burstein, E. (1971). Magneto-spatial dispersion effects on the propagation of electro-magnetic radiation in crystals. *Journal of Physics and Chemistry of Solids, 32*(3), 603–608. https://doi.org/10.1016/0022-3697(71)90009-6

[8] . Pantke, K.-H., & Broser, I. (1988). Temperature dependent damping dispersion of excitonic polaritons in CdS. *Journal of Luminescence, 40–41*, 499–500. https://doi.org/10.1016/0022-2313(88)90301-8

DAMPING AND APERTURE DIAGNOSTICS OF HIGH ENERGY CdS EXCITON POLARITON EMISSION

Yulchiyev I.I., Akhmadaliyev B.J., Rakhmonov T.I.
Fergana State Technical University, Department of Physics

We propose a joint damping–aperture diagnostic for the high-energy component of CdS exciton–polariton luminescence. Coupled-mode emission [1, 2], dispersive damping [3] and longitudinal–transverse contributions [4] prevent a unique assignment from peak position alone. Surface-response theories [5, 6] and recent angle-resolved CdS microsheet experiments [7] motivate including collection geometry explicitly in the interpretation.

The temperature-labelled spectral record at 4.2, 10, 15 and 44 K retains a high-energy structure at nominal normal collection. Its inconsistent wavelength–energy calibration and unspecified aperture prevent reliable extraction of intrinsic linewidths. We therefore separate these qualitative observations from the following forward-model calculations.

To compare thermal energy with dissipation, we adopt a phonon-motivated linewidth scenario [3, 8]:

$$\Gamma_X(T) = \Gamma_0 + \gamma_{ac}T + \frac{\Gamma_{LO}}{\exp\left(\frac{E_{LO}}{k_B T}\right) - 1}, \quad T_2 = \frac{2\hbar}{\Gamma_X} \tag{1}$$

Here Γ_X is the homogeneous full width at half maximum and T_2 is the coherence time. The assumed inputs are $\Gamma_0 = 0.10$ meV, $\gamma_{ac} = 0.018$ meV K^{-1}, $\Gamma_{LO} = 40$ meV and $E_{LO} = 38$ meV; these coefficients are not fitted to the image.

Between 4.2 and 44 K, the calculated width increases from 0.1756 to 0.8938 meV and the coherence time decreases from 7.50 to 1.47 ps. At 44 K, thermal LO absorption contributes only 0.00178 meV, compared with 0.792 meV from the acoustic term. For $\Delta_{LT} = 2.0$ meV, $k_B T = 3.792$ meV exceeds the splitting while the linewidth remains smaller. Thus $\frac{\Delta_{LT}}{k_B} = 23.21$ K is an energy comparison, not a universal collapse temperature; resolving coherent modes also requires their coupling, losses and optical response.

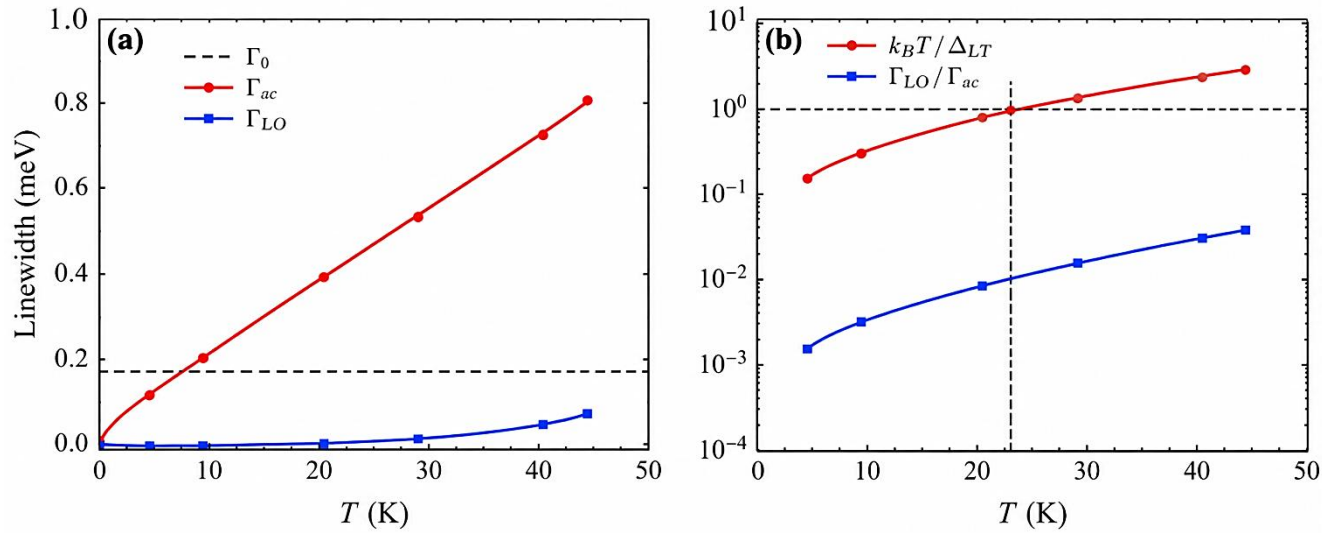


Figure 1. ***Thermal energy and damping in the CdS benchmark. (a) Residual, acoustic and thermal LO linewidth contributions from Eq. (1) over 4.2–44 K. (b)*** $\frac{k_B T}{\Delta_{LT}}$ ***and*** $\frac{\Gamma_X}{\Delta_{LT}}$ ***with a horizontal unity reference. The thermal ratio crosses unity at 23.21 K; this is an energy comparison.***

The complementary test varies the collection cone. In an ideal flat, principal-axis geometry, direct longitudinal radiation vanishes at exact normal emission [4]. For uniform angular acceptance over a cone of half-angle θ, its leading leakage is weighted by

$$F(\theta) = \frac{2 - \cos\theta - \cos^2\theta}{3} = \frac{\theta^2}{2} + O(\theta^4) \tag{2}$$

Angles in the expansion are in radians. Let J_H be the background-subtracted high-energy radiance, corrected for throughput and normalized by the accepted solid angle. Its small-angle expansion is

$$J_H(\theta) = B_0 + B_2 F(\theta) + O(\theta^4) \tag{3}$$

A pure direct-longitudinal channel has $B_0 = 0$. The geometrical factor rises from 0.0001523 at 1° to 0.003800 at 5°, predicting a 24.95-fold radiance change when its coefficient is fixed. Raw collected counts cannot be substituted because the accepted solid angle also changes.

Neglecting fourth-order terms, two calibrated apertures give an explicit intercept estimate, with $J_i = J_H(\theta_i)$ and $F_i = F(\theta_i)$:

$$\hat{B}_0 = \frac{F_2 J_1 - F_1 J_2}{F_2 - F_1} \tag{4}$$

A small $F_2 - F_1$ amplifies measurement errors, whereas wider cones increase the neglected angular terms. Three or more calibrated apertures permit a regression and a check for curvature before interpreting the intercept.

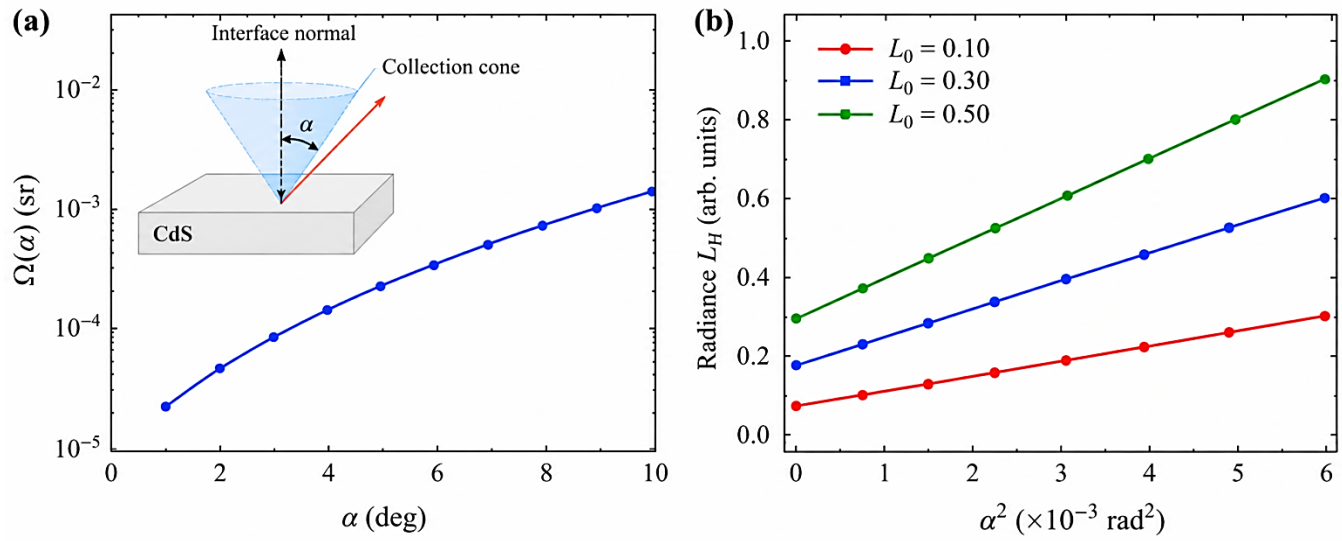


Figure 2. ***Aperture discrimination of the high-energy channel. (a) Collection-cone geometry and $F(\theta)$ over 1°–10°. (b) $\frac{J_H}{B_2}$ versus $F(\theta)$ for illustrative baselines $\beta = \frac{B_0}{B_2} = 0, 0.002, 0.005$, assuming positive B_2. The intercepts are prescribed model scenarios, not fitted measurements.***

A reproducible $B_0 > 0$ would reject the ideal purely direct-longitudinal description after controlling alignment, pupil weighting and surface scattering. It would not uniquely establish an upper-polariton origin: surface-related excitonic emission is another possibility [9]. Joint aperture, polarization and reflectivity measurements can therefore test the radiative pathway while keeping bulk damping and optical escape distinct.

References

[1] . Hopfield, J. J. (1958). Theory of the contribution of excitons to the complex dielectric constant of crystals. *Physical Review*, *112*(5), 1555–1567. https://doi.org/10.1103/PhysRev.112.1555

[2] . Benoit à la Guillaume, C., Bonnot, A., & Debever, J. M. (1970). Luminescence from polaritons. *Physical Review Letters*, *24*(22), 1235–1238. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.24.1235

[3] . Pantke, K.-H., & Broser, I. (1993). Damping dispersion of excitonic polaritons in CdS. *Physical Review B*, *48*(16), 11752–11758. https://doi.org/10.1103/PhysRevB.48.11752

[4] . Akhmadaliev, B. Zh., Yuldashev, N. Kh., & Yulchiev, I. I. (2018). Surface-radiative modes and longitudinal excitons in the spectra of exciton–polariton luminescence. *Optics and Spectroscopy*, *125*(3), 343–352. https://doi.org/10.1134/S0030400X18090023

[5] . Deng, H.-Y., & Muljarov, E. A. (2022). Scattering solution to the problem of additional boundary conditions. *Physical Review B*, *106*(19), Article 195301. https://doi.org/10.1103/PhysRevB.106.195301

[6] . Wink, S. M., Muljarov, E. A., Langbein, W., & Deng, H.-Y. (2023). Surface scattering amplitude for a spatially dispersive model dielectric. *Physical Review B*, *108*(24), Article 245302. https://doi.org/10.1103/PhysRevB.108.245302

[7] . Tian, Y., Zhang, Y., Yao, S., Cheng, L., Wen, H., Guo, H., Tang, J., Liu, J., Liu, X., & Zou, B. (2025). Room temperature exciton polariton condensation in high-quality Sn-doped CdS microsheet. *Nano Research*, *18*(8), Article 94907525. https://doi.org/10.26599/NR.2025.94907525

[8] . Koteles, E. S., & Winterling, G. (1979). Resonant scattering of exciton polaritons by LO and acoustic phonons. *Physical Review B*, *20*(2), 628–637. https://doi.org/10.1103/PhysRevB.20.628

[9] . Gao, X., Pang, G., Ni, Z., & Chen, R. (2019). Surface-related exciton and lasing in CdS nanostructures. *Nanoscale Research Letters, 14*(1), Article 216. https://doi.org/10.1186/s11671-019-3036-5

DARAXT KO'CHATLARINI O'TQAZISHNI UZLUKSIZ AMALGA OSHIRADIGAN MASHINA KO'MGICHINING ISH JARAYONIDAGI HARAKATINI NAZARIY TADQIQ ETISH.

T.f.d. prof Abdusalim To'xtaqo'ziyev, QXMITI
t.f.f.d. k.i.x. Ma'ruf Ergashev, QXMITI *E-mail: ergashevm19840710@gmail.com*,
t.f.f.d. k.i.x. Islomjon Akbarov, QXMITI *E-mail: akbarov_91@bk.ru*,
Abdulatif Abdubannopov FarDTU *E-mail: iamabdubannopov@gmail.com*

Respublikamiz tabiiy iqlim sharoiti keng assortimentdagi sifatli eksportbop bog'dorchilik va uzumchilik mahsulotlarini yetishtirish uchun mosligi bilan ajralib turadi. Shu sababli, mamlakatimizda qishloq xo'jaligining barcha sohalari kabi bog'dorchilikni ham rivojlantirishga katta e'tibor berilmoqda. Bundan tashqari O'zbekistonda mevali bohlar barpo etish va ulardan yuqori hosil olishda energiya tejamkor, bir necha texnologik jarayonlarnn agrotexnika talablariga mos ravishda amalga oshiradigan texnika vositalarini ishlab chiqarishga e'tibor berilmokda. 2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasida, jumladan "Agrosanoat korxonalarini xomashyo bilan ta'mnnlash va ishlab chiqarish hajmini 1,5 barobarga oshirish, sanoatbop meva-sabzavot hajmini 3,4 mln.tonnaga yetkazish, qishloq xo'jaligi uchun zarur bo'lgan texnika va tirkamalar turlarini ishlab chiqarishni klaster usulida tashkil etish, ishlab chiqarish quvvatlaridan samarali foydalanish, maxalliylashtirish darajasini 50 foizga yetkazish, mashinasozlik mahsulotlari tannarxini o'rtacha 20 foizga pasaytirish ustuvor vazifa qilib ko'yilgan [1]. Ushbu kuyilgan vazifalarni amalga oshirish va bog'dorchilikni qishloq xo'jaliginnng serdaromad sohasiga aylantirish uchun unda bajariladigan hamma ishlarni mexanizatsiyalash talab etiladi. Bog'dorchilikda ham har qanday ekinni parvarishlash texnologiyasidek, yerni ko'chat ekishga tayerlash, ko'chat ekish, zararkunanda va kasalliklarga qarshi kurash, hosilni yig'ishtirish va mahsulotni saralash kabi ishlar bajariladi [1-3].

Hozirgi kunlarda respublikamizda ko'chat ekishdan oldin tuproq 30-35 sm chuqurlikda haydaladi, chizellanadi va ketma-ket molalanadi. Shu jarayonlar to'liq bajarilgandan so'ng belgilangan joyga ko'chat ekiladigan chuqurlar kovlanadi. Chuqurlar maxsus chuqur kovlaydigan agregatlar KYa-100, KNYu-100, KRK-60 yoki 60x60x60 o'lchamda kovlanadi. Ko'chatlarni ko'mish esa to'liq qo'l kuchi bilan bajariladi. Bu esa mehnat sarfi va boshqa sarflanadigan xarajatlarni yuqori bo'lishiga olib keladi. Ushbu ta'kidlanganlardan kelib chiqqan holdi biz yangi bog'larni barpo etishda qo'llaniladigan hamda mevali daraxt ko'chatlarini ekishni uzluksiz amalga oshiradigan mashina ishlab chiqish, hamda uning uning parametrlarini asoslash bo'yicha ilmiy va innovatsion tadqiqotlar olib borilmoqdamiz.

Daraxt ko'chatlarini ekadigan mashina rama1, osish qurilmasi 2, chuqur yumshatkich-egatochkich 3, diskli ko'mgich 4, konussimon g'altakmola 5, ko'chat zahirasi uchun joy (bunker) 6, o'rindiq 7, iztortkich 8 va cheklagich 9 lardan tashkil topgan (1-rasm).

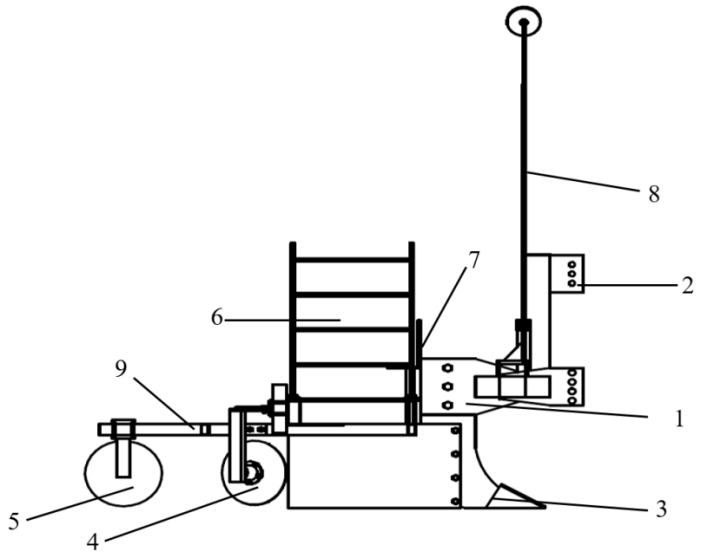
Ko'mgich ish jarayonida murakkab harakat qiladi: o'z o'qi atrofida aylanma va mashina bilan birga ilgarilanma harakatda bo'ladi va u ishchi sirtining istalgan nuqtasining XYZ koordinatalar sistemasidagi (2-rasm) harakati quydagicha ifodalanadi [4-7]

$$x = V_i t + R\sin\varphi_i \cos\alpha \cos\omega t + R(1-\cos\varphi_i)\sin\alpha; \quad (1)$$

$$y = R(1-\cos\varphi_i)\sin\alpha - R\sin\varphi_i \sin\alpha \cos\omega t; \quad (2)$$

$$z = -R\sin\varphi_i \sin\omega t; \quad (3)$$

bunda V_i – ko‘mgichning mashina bilan birgalikdagi ilgarilanma harakat tezligi, m\s;
t – vaqt, s;
φ_i – qaralayotgan “i” nuqta holatini aniqlaydigan markaziy burchakning yarmi, °;
ω – ko‘mgichning aylanma harakatdagi burchak tezligi, rad/s.



1 –rama, 2 –osish qurilmasi, 3 –chuqur yumshatkich-egatochkich,
4 –diskli ko‘mgich, 5 –konussimon g‘altakmola, 6 –ko‘chat zahirasi uchun joy (bunker), 7 – o‘rindiq, 8 –iztortkich, 9 –cheklagich

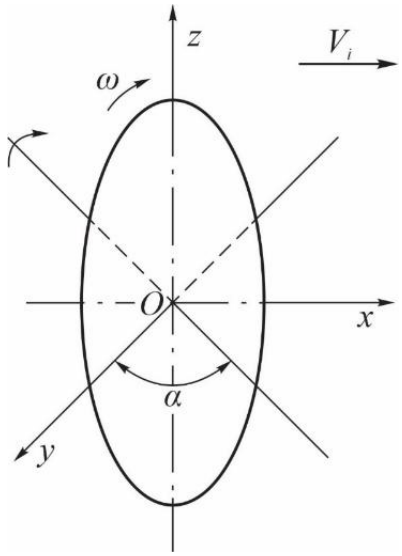
1-rasm. Daraxt ko‘chatlarini ekadigan mashina konstruktiv sxemasi.

(1)-(3) tenglamalardan foydalanib, ko‘mgich ishchi sirti qaralayotgan nuqtasining absolyut tezligi va tezlanishini aniqlaymiz[8-9]:

$$V_a = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} \qquad (4)$$

va

$$W_a = \sqrt{\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2z}{dt^2}\right)^2}, \qquad (5)$$



2-rasm. Ko‘mgichning ish jarayonidagi harakatini tadqiq etishga doir sxema

bunda $$\frac{dx}{dt} = V_i t - \omega R \sin\varphi_i \cos\alpha \sin\omega t; \quad (6)$$

$$\frac{dy}{dt} = \omega R \sin\varphi_i \sin\alpha \sin\omega t; \quad (7)$$

$$\frac{dz}{dt} = -\omega R \sin\varphi_i \cos\omega t; \quad (8)$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 R \sin\varphi_i \cos\alpha \cos\omega t; \quad (9)$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \omega^2 R \sin\varphi_i \sin\alpha \cos\omega t; \quad (10)$$

$$\frac{d^2z}{dt^2} = \omega^2 R \sin\varphi_i \sin\omega t; \quad (11)$$

Bularni hisobga olganda (4) va (5) ifodalar quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi

$$V_a = \sqrt{V_i^2 - 2V_i \omega R \sin\varphi_i \cos\alpha \sin\omega t + \omega^2 R^2 \sin^2\varphi_i} \quad (12)$$

va

$$W_a = \omega^2 R \sin\varphi_i. \quad (13)$$

Adabiyotlardan ma’lumki [ ]

$$\omega = \frac{2V_i \cos\alpha}{D}. \quad (14)$$

ω ning bu qiymatini (12) va (13) ga qo‘yamiz va quyidagilarga ega bo‘lamiz

$$V_a = 2V_i \sqrt{\frac{1}{4} - \frac{R}{D}\cos^2\alpha \sin\varphi_i \left(\sin\frac{2V_i \cos\alpha}{D} t + \frac{R}{D}\sin\varphi_i \right)} \quad (15)$$

va

$$W_a = \frac{4V_i^2}{D^2} R \sin\varphi_i \cos\alpha. \quad (16)$$

Xulosa. Ifodalarning tahlili shuni ko‘rsatadiki, ko‘mgichning tuproqqa ta’sir darajasi va demak ish ko‘rsatkichlari uning harakat tezligiga, diametriga, harakat yo‘nalishiga nisbatan o‘rnatilish burchagiga hamda ish sirtining egrilik radiusiga bog‘liq.

Foyadalanilgan adabiyotlar

1. Qishloq xo‘jalik ekinlarini parvarishlash va mahsulot yetishtirish bo‘yicha namunaviy texnologik kartalar. 2022-2026 yillar uchun. – Toshkent, 2022. – 191 b.
2. Ergashev M.M., Akbarov I. A., Abdubannopov A.A., Muqimov Z.A. Mevali daraxt ko‘chatlarini ekishni uzluksiz amalga oshiradigan mashina // Yuqori samarali qishloq xo‘jalik mashinalarini yaratish va texnika vositalaridan foydalanish darajasini oshirishning innovatsion yechimlari: Xalqaro ilmiy-texnik konferensiyasi. – Gulbahor, 2023. – B. 143-146.
3. A.Tukhtakuziev, M.Khudjaev, M.Ergashev, I.Akbarov1, A.Abdubannopov Determining the parameters of a disk digger for a machine planting fruit tree seedlings // Kexue Tongbao/Chinese Science Bulletin. – 2026., Volume 71, Issue 03, pp. 5689-5701. DOI:03.1893/Csb.30.04.2026.01
4. Техника сельскохозяйственная. Машины рассадопосадочные. Методы испытаний. ГОСТ 34392-2018// Издание офицальное. – Москва, 2018. – С. 37.
5. O’z DSt 3193:2017 “Qishloq xo‘jalik texnikasini sinash. Mashinalarni energetik baholash usuli” – Toshkent: 2001. – 18 b.
6. Нартов П.С. Дисковые почвообрабатывающие орудия. – Воронеж, 1972. – 182 с.
7. Ergashev M.M. Kombinatsiyalashgan borona diskli yumshatkichlarining parametrlarni asoslash. Avtoref. diss. …. tex. fan. (PhD). – Toshkent – 2018. – 41 b.
8. Руденко Н.Е., Кулаев Е.В. Механизация растениеводства. – Ставрополь: ФГБОУ ВПО Ставропольский государственный аграрный унверситет, 2014.–236 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

Юсупова Д. А., Сирожиддинова С.З., Собирова С.О.
Ферганский государственный университет, г. Фергана, Узбекистан
e-mail: dilfuza.physic@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрены физические основы прямого преобразования солнечной энергии в электрическую с помощью термоэлектрических генераторов. Проведена оценка максимального КПД термоэлектрического преобразователя в зависимости от термоэлектрической добротности материала и температуры горячего спая. Обсуждаются современные термоэлектрические материалы, схемы солнечных термоэлектрических генераторов и гибридных фототермоэлектрических систем, а также перспективы их применения для автономного энергоснабжения.

Ключевые слова: эффект Зеебека, термоэлектрическая добротность, теллурид висмута, солнечный термоэлектрический генератор, энергосбережение.

Развитие энергосберегающих технологий и использование возобновляемых источников энергии являются одними из приоритетных направлений современной энергетики. Среди методов преобразования энергии особое место занимает термоэлектрический метод, основанный на эффекте Зеебека: при наличии разности температур между спаями двух разнородных проводников или полупроводников в цепи возникает термо-ЭДС.

Термоэлектрические генераторы (ТЭГ) не содержат движущихся частей, не требуют обслуживания, бесшумны и обладают большим сроком службы [1,2]. Это делает их привлекательными для автономного энергоснабжения маломощных потребителей, утилизации сбросового тепла и прямого преобразования солнечного излучения.

Узбекистан, в том числе Ферганская долина, характеризуется высоким уровнем солнечной радиации и большим числом солнечных дней в году, что требует учёта спектрального и углового распределения прямого и рассеянного излучения в атмосфере [3]. В этих условиях актуальной задачей является поиск эффективных схем использования не только светового, но и теплового компонента солнечного излучения, который в традиционных фотоэлектрических панелях не используется и, более того, приводит к их перегреву и снижению КПД.

Эффективность термоэлектрического материала определяется безразмерной термоэлектрической добротностью

$$ZT = \frac{S^2 \sigma T}{\kappa}, \qquad (1)$$

где S - коэффициент Зеебека, σ - удельная электропроводность, $\kappa = \kappa_e + \kappa_{ph}$ - теплопроводность, складывающаяся из электронной и решёточной (фононной) составляющих, T - абсолютная температура. Максимальный КПД термоэлектрического генератора, работающего между горячим ($T_г$) и холодным ($T_х$) спаями, определяется выражением [1, 2]:

$$\eta_{max} = \frac{T_г - T_х}{T_г} \cdot \frac{\sqrt{1+ZT} - 1}{\sqrt{1+ZT} + \frac{T_х}{T_г}} \qquad (2)$$

где $T_{ср} = \frac{(T_г + T_х)}{2}$. Первый множитель в (2) представляет собой КПД цикла Карно, второй - учитывает необратимые потери, связанные с джоулевым теплом и теплопроводностью ветвей термоэлемента.

Нами проведён расчёт максимального КПД по формуле (2) при температуре холодного спая $T_х$ = 300 К для двух значений температуры горячего спая, которые реально достижимы в солнечных ТЭГ без высокой оптической концентрации (табл. 1).

Таблица 1. Максимальный КПД ТЭГ (%) при $T_х$ = 300 К

ZT	$T_г$ = 400 К	$T_г$ = 500 К
0,5	2,8	4,9
1,0	4,8	8,2
1,5	6,2	10,7
2,0	7,4	12,6
Предел Карно	25,0	40,0

Из таблицы и рис. 1 видно, что при $ZT \approx 1$, характерном для серийных материалов, КПД при умеренных температурах составляет 5-8 %, что значительно ниже предела Карно. Повышение ZT до 2 позволяет увеличить КПД примерно в 1,5 раза. Одновременно рост температуры горячего спая даёт сопоставимый выигрыш, поэтому эффективность солнечного ТЭГ определяется как свойствами материала, так и качеством поглощения и концентрации тепла. При $T_г$ = 600 К и ZT = 1 расчётный КПД достигает около 11%, однако такие температуры требуют оптической концентрации излучения.

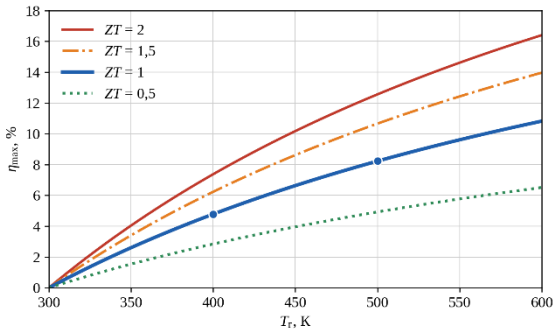


Рис. 1. Зависимость максимального КПД ТЭГ от температуры горячего спая при T_x = 300 К для различных значений *ZT* (точками отмечены значения из табл. 1)

В области температур 300-500 К наиболее широко применяются твёрдые растворы на основе теллурида висмута (Bi_2Te_3-Sb_2Te_3 для p-ветвей и Bi_2Te_3-Bi_2Se_3 для n-ветвей) с $ZT \approx 1$ [4, 5]. Основная трудность повышения *ZT* состоит во взаимосвязи параметров *S*, σ и κ_e.

Современные подходы направлены на снижение решёточной теплопроводности за счёт рассеяния фононов на границах наноструктур, точечных дефектах и включениях второй фазы, а также на инженерию зонной структуры, позволяющую увеличить коэффициент Зеебека без существенного снижения электропроводности [6, 7]. Ранее нами разработана технология получения термоэлектрических материалов методом вертикальной зонной плавки с высокочастотным нагревом [8] и исследованы электрофизические и термоэлектрические свойства тонкоплёночных материалов на основе соединений висмута, сурьмы, теллура и селена [9].

Различают солнечные ТЭГ с оптической концентрацией излучения (рис. 2, а) и плоские ТЭГ с тепловой концентрацией (рис. 2, б), в которых излучение поглощается селективным покрытием с высоким поглощением в видимой области и низким излучением в инфракрасной, а тепло передаётся на термоэлемент малого сечения.

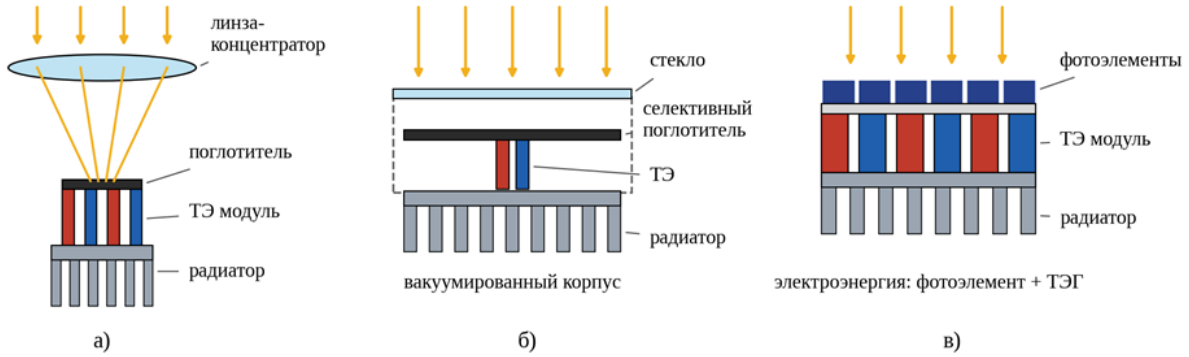


Рис. 2. Схемы солнечных ТЭГ: а) с концентратором; б) плоский; в) гибридный Фотоэлемент-ТЭГ

В работе [10] для плоского солнечного ТЭГ такой конструкции на основе наноструктурированного теллурида висмута был получен КПД около 4,6 % без оптического концентратора. Перспективным направлением являются также гибридные фототермоэлектрические системы (рис. 2, в), в которых термоэлектрический модуль размещается на тыльной стороне фотоэлектрической панели: он преобразует часть неиспользуемого тепла в электроэнергию и одновременно способствует отводу тепла от панели.

Для условий Узбекистана солнечные и гибридные ТЭГ могут найти применение для питания автономных датчиков (агрометеорологический мониторинг, контроль систем орошения), удалённых объектов связи, а также для утилизации сбросового тепла бытовых и промышленных установок. Кроме того, рассмотренные вопросы целесообразно использовать в учебном процессе при изучении

физики полупроводников и термоэлектрических явлений, в частности в виде лабораторных работ по определению коэффициента Зеебека и КПД термоэлектрического модуля, в том числе с использованием виртуальных лабораторий [11].

Проведённая оценка показывает, что при современных значениях добротности ($ZT \approx 1$) КПД солнечного ТЭГ при умеренных температурах составляет несколько процентов, а его повышение связано как с разработкой наноструктурированных материалов с $ZT > 1{,}5$, так и с оптимизацией поглощения и концентрации тепла. Наиболее перспективными для практического применения в условиях высокой солнечной инсоляции представляются гибридные фототермоэлектрические системы и автономные ТЭГ для маломощных потребителей.

Литература

1. Иоффе А.Ф. Полупроводниковые термоэлементы. - М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1956. - 104 с.

2. Юсупова Д.А. Fizika fanidagi zamonaviy tendensiyalar: Bi_2Te_3 asosidagi termoelektr material imkoniyatlari misolida: monografiya. - Farg‘ona: FarDU, 2025. - 127 b. - ISBN 978-9910-647-97-0.

3. Sobirov M.M., Rozikov J.Yu., Ruziboev V.U., Yusupova D.A. The calculation of spectral and angular distribution of diffusely reflected, diffusely transmitted, and unscattered fluxes of solar radiation in atmospheric layers // Applied Solar Energy. - 2023. - Vol. 59, No. 5. - P. 761-769. - DOI: 10.3103/S0003701X23601187.

4. Snyder G.J., Toberer E.S. Complex thermoelectric materials // Nature Materials. - 2008. - Vol. 7. - P. 105-114.

5. Юсупова Д.А., Сирожиддинова С.З., Саматова М.А., Саидахматов Н. Улучшение термоэлектрических характеристик Bi_2Te_3 посредством элементного легирования сурьмой // Endless Light in Science. - Астана, 2025. - С. 115-121. - DOI: 10.24412/2709-1201-2025-302-115-121.

6. He J., Tritt T.M. Advances in thermoelectric materials research: Looking back and moving forward // Science. - 2017. - Vol. 357, No. 6358. - eaak9997.

7. Юсупова Д.А., Сирожиддинова С.З., Рузиматова М.Ш. Стратегии оптимизации термоэлектрических параметров в системе Bi-Sb-Te для термоэлектрической генерации // Илмий хабарнома. Физика-математика тадқиқотлари. - Андижон, 2026. - № 1(8). - С. 46-55.

8. Yusupova D.A. Yuqori chastotali isitish yordamida vertikal zonaviy erish usuliga asoslangan termoelektrik materiallar ishlab chiqarish texnologiyasi // Amaliy va fundamental tadqiqotlar jurnali. - 2024. - Jild 3, № 5. - B. 98-106.

9. Yusupova D.A., Azimov T. Electrophysical and thermoelectric properties of thin-film materials based on bismuth, tellurium, antimony and selenium compounds // AIP Conference Proceedings. - 2026. - Vol. 3401. - Art. 020022. - DOI: 10.1063/5.0318412.

10. Kraemer D., Poudel B., Feng H.-P. et al. High-performance flat-panel solar thermoelectric generators with high thermal concentration // Nature Materials. - 2011. - Vol. 10. - P. 532-538.

11. Юсупова Д.А., Сирожиддинова С.З. Использование Roqed Physics Lab на примере мультимедийной демонстрации солнечной панели // Материалы междунар. науч.-техн. конф. «Aniq va tabiiy fanlarni raqamli texnologiyalar asosida o‘qitish…». - Фергана, 2024. - Ч. 3. - С. 818-824.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЛЕГИРОВАНИЯ ИТТЕРБИЕМ И ЦЕРИЕМ НА РЕШЁТОЧНУЮ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ И ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ДОБРОТНОСТЬ Bi_2Te_3

Юсупова Д.А., Сирожиддинова С.З.,
Ферганский государственный университет, г. Фергана, Узбекистан
e-mail: dilfuza.physic@mail.ru

Аннотация. В рамках модели Клеменса–Каллуэя рассчитано снижение решёточной теплопроводности Bi_2Te_3 при замещении висмута иттербием и церием за счёт флуктуаций массы и упругих деформаций решётки. Совместно с моделью однопараболической зоны оценено изменение термоэлектрической добротности ZT при 300 К. Показано, что эффективность рассеяния фононов определяется главным образом различием ионных радиусов, а не масс, и существенно зависит от валентного состояния редкоземельного иона. Определено предельное содержание гетеровалентной примеси, при котором концентрация носителей остаётся вблизи оптимальной.

Ключевые слова: теллурид висмута, иттербий, церий, редкоземельное легирование, решёточная теплопроводность, рассеяние фононов на точечных дефектах, термоэлектрическая добротность.

Введение. Теллурид висмута и твёрдые растворы на его основе являются основными термоэлектрическими материалами для области температур 200–450 К [1]. Их безразмерная добротность $ZT = S^2\sigma T/(\kappa_e + \kappa_L)$ (S -коэффициент Зеебека, σ -электропроводность, κ_e и κ_L - электронная и решёточная теплопроводность) ограничена взаимосвязью электронных параметров, поэтому основным резервом её повышения остаётся снижение κ_L [2]. Легирование редкоземельными элементами (РЗЭ) рассматривается как один из способов такого снижения: атомы РЗЭ, замещающие висмут, создают точечные дефекты, рассеивающие фононы, а их 4*f*-состояния могут изменять электронный спектр вблизи уровня Ферми [3]. Ранее нами исследовались легирование Bi_2Te_3 сурьмой и стратегии оптимизации параметров системы Bi–Sb–Te [4, 5]. Цель данной работы - теоретически сравнить вклад иттербия и церия в рассеяние фононов и оценить допустимые концентрации этих примесей с учётом их валентного состояния.

Модель расчёта. Решёточная теплопроводность твёрдого раствора $Bi_{2-x}R_xTe_3$ (R = Yb, Ce) рассчитывалась в приближении Клеменса–Каллуэя [6, 7]:

$$\frac{\kappa_L}{\kappa_{L_0}} = \frac{arctg(u)}{u}, \quad (1)$$

$$u^2 = \frac{\pi^2\theta_D\Omega\kappa_{L_0}\Gamma}{hv^2} \quad (2)$$

где u -безразмерный параметр, характеризующий относительную интенсивность рассеяния фононов на точечных дефектах по сравнению с фонон-фононным рассеянием (при $u \ll 1$ влияние примеси на κ_L мало), κ_{L0} -решёточная теплопроводность нелегированного Bi_2Te_3, θ_D -температура Дебая, Ω -объём, приходящийся на атом, v -средняя скорость звука, Г -параметр рассеяния на точечных дефектах. Для замещения в подрешётке висмута, составляющей 2/5 всех узлов,

$$\Gamma = \frac{2}{5}\left(\frac{M_{Bi}}{\bar{M}}\right)^2 y(1-y)\left[\left(\frac{\Delta M}{M_{Bi}}\right)^2 + \varepsilon\left(\frac{\Delta r}{r_{Bi}}\right)^2\right], \; y = x/2, \quad (3)$$

где $\bar{M} = (2M_{Bi} + 3M_{Te})/5 \approx 160$ а.е.м. -средняя масса атома в Bi_2Te_3, ΔM и Δr -разности масс и ионных радиусов примеси и висмута, ε -параметр упругих деформаций [8]. Использованы значения $\kappa_{L0} = 1{,}45$ Вт/(м·К), $\theta_D = 165$ К, $v = 2147$ м/с, $\Omega = 33{,}9$ Å^3 [1], $\varepsilon = 39$ [8] и ионные радиусы для координационного числа 6 $r(Bi^{3+}) = 1{,}03$ Å, $r(Yb^{3+}) = 0{,}868$ Å, $r(Ce^{3+}) = 1{,}01$ Å, $r(Ce^{4+}) = 0{,}87$ Å [9]. Электронные коэффициенты и zT рассчитывались в модели однопараболической зоны при рассеянии носителей на акустических фононах [10] для $m^* = 1{,}0m_0$ и взвешенной подвижности $\mu_w = \mu(m^*/m_0)^{3/2} = 350$ см^2/(В·с), где μ -подвижность носителей заряда; в этой модели максимальная zT определяется параметром качества $B = (k_B/e)^2\sigma_{E0}T/\kappa_L \propto \mu_w/\kappa_L$, где $\sigma_{E0} \propto \mu_w$ [10].

Таблица 1. Расчётные κ_L и zT_{max} для $Bi_{2-x}R_xTe_3$ (R^{3+}) при 300 К и неизменной подвижности

x	κ_L(Yb), Вт/(м·К)	$\Delta\kappa_L$(Yb), %	zT_{max}(Yb)	κ_L(Ce), Вт/(м·К)	$\Delta\kappa_L$(Ce), %	zT_{max}(Ce)
0	1,45	–	0,51	1,45	–	0,51
0,05	1,28	12	0,56	1,42	2	0,52
0,10	1,17	19	0,61	1,40	3	0,53
0,20	1,03	29	0,67	1,36	6	0,54

Результаты и обсуждение. Относительная разность масс для церия ($\Delta M/M_{Bi} \approx -0{,}33$) вдвое больше, чем для иттербия (–0,17), однако ион Ce^{3+} практически совпадает по размеру с Bi^{3+} ($\Delta r/r \approx -0{,}02$), тогда как для Yb^{3+} $\Delta r/r \approx -0{,}16$. Вследствие этого деформационный вклад, пропорциональный $\varepsilon(\Delta r/r)^2$, для иттербия на порядок превышает массовый, и при $x = 0{,}1$ иттербий снижает κ_L на 19 %, а трёхвалентный церий -лишь на 3 % (табл. 1, рис. 1). Если же церий находится в состоянии Ce^{4+}, его радиус (0,87 Å) близок к радиусу Yb^{3+}, и эффект рассеяния фононов становится таким же, как для иттербия (штриховая кривая на рис. 1).

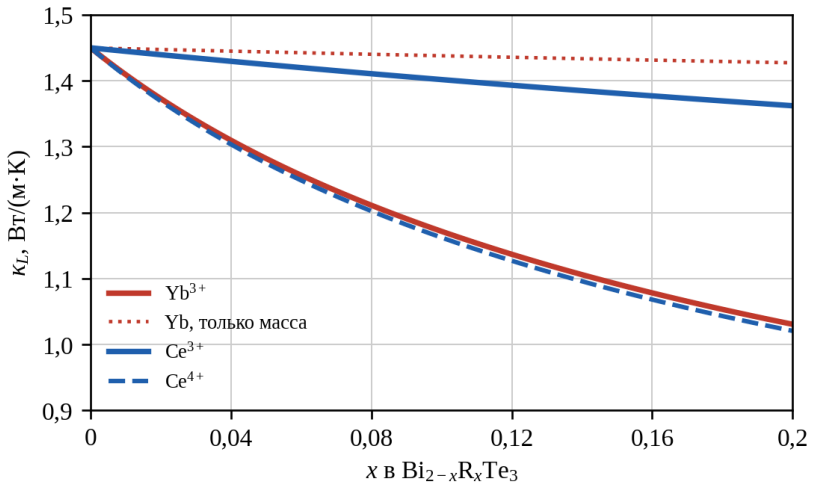


Рис. 1. Расчётная зависимость решёточной теплопроводности $Bi_{2-x}R_xTe_3$ от содержания Yb и Ce при 300 К (пунктир -учёт только флуктуаций массы для Yb)

При неизменной подвижности носителей снижение κ_L за счёт иттербия повышает zT_{max} с 0,51 до 0,61 ($x = 0{,}1$) и 0,67 ($x = 0{,}2$). Поскольку zT_{max} определяется отношением μ_w/κ_L, выигрыш сохраняется, только если относительное уменьшение подвижности из-за рассеяния носителей на тех же примесях меньше относительного уменьшения κ_L. Для Yb допустимое снижение подвижности

составляет 12–29 %, для Ce^{3+} -лишь 2–6 %. Следовательно, положительное влияние трёхвалентного церия на zT, если оно наблюдается экспериментально, должно быть связано не с рассеянием фононов, а с изменением электронных свойств: концентрации носителей или вклада $4f$-состояний, способных создавать резонансные уровни вблизи уровня Ферми [3, 11].

Существенным ограничением является валентное состояние примеси. Концентрация формульных единиц Bi_2Te_3 составляет $N \approx 5{,}9 \cdot 10^{21}$ см$^{-3}$, а оптимальная концентрация носителей по расчёту -около $1{,}8 \cdot 10^{19}$ см$^{-3}$. Поэтому при гетеровалентном замещении (Yb^{2+} -акцептор, Ce^{4+} -донор), когда каждый атом примеси даёт один носитель, оптимуму соответствует $x \approx 0{,}003$. Уже при $x \geq 0{,}01$ концентрация носителей в несколько раз превышает оптимальную, и снижение κ_L не компенсирует падения коэффициента Зеебека. Таким образом, концентрации, при которых заметно подавляется решёточная теплопроводность ($x \sim 0{,}05$–$0{,}2$), совместимы с высокой zT только при изовалентном (3+) замещении либо при компенсации избыточных носителей собственными дефектами. Для интерпретации экспериментальных данных по легированию Yb и Ce необходимо определять валентное состояние РЗЭ (например, методами РФЭС и магнитной восприимчивости) и холловскую концентрацию носителей [4, 12].

Заключение. Расчёт в модели Клеменса–Каллуэя показывает, что при замещении висмута редкоземельными элементами снижение решёточной теплопроводности Bi_2Te_3 определяется в основном различием ионных радиусов: Yb^{3+} (и Ce^{4+}) уменьшает κ_L на 19 % при $x = 0{,}1$, а Ce^{3+} -лишь на 3 %. Рост zT за счёт этого механизма возможен при изовалентном замещении и умеренном снижении подвижности носителей, тогда как гетеровалентная примесь в концентрациях выше $x \approx 0{,}003$ приводит к переизбытку носителей заряда.

Литература

1. Goldsmid H.J. Introduction to Thermoelectricity. -2nd ed. -Berlin: Springer, 2016.
2. Snyder G.J., Toberer E.S. Complex thermoelectric materials // Nature Materials. -2008. -Vol. 7. -P. 105–114.
3. Heremans J.P., Jovovic V., Toberer E.S. et al. Enhancement of thermoelectric efficiency in PbTe by distortion of the electronic density of states // Science. -2008. -Vol. 321. -P. 554–557.
4. Юсупова Д.А., Сирожиддинова С.З., Саматова М.А., Саидахматов Н. Улучшение термоэлектрических характеристик Bi_2Te_3 посредством элементного легирования сурьмой // Endless Light in Science. -Астана, 2025. -С. 115–121.
5. Юсупова Д.А., Сирожиддинова С.З., Рузиматова М.Ш. Стратегии оптимизации термоэлектрических параметров в системе Bi–Sb–Te для термоэлектрической генерации // Илмий хабарнома. Физика-математика тадқиқотлари. -Андижон, 2026. -№ 1(8). -С. 46–55.
6. Klemens P.G. The scattering of low-frequency lattice waves by static imperfections // Proc. Phys. Soc. A. -1955. -Vol. 68. -P. 1113–1128.
7. Callaway J., von Baeyer H.C. Effect of point imperfections on lattice thermal conductivity // Physical Review. -1960. -Vol. 120. -P. 1149–1154.
8. Abeles B. Lattice thermal conductivity of disordered semiconductor alloys at high temperatures // Physical Review. -1963. -Vol. 131. -P. 1906–1911.
9. Shannon R.D. Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides // Acta Crystallographica A. -1976. -Vol. 32. -P. 751–767.
10. May A.F., Snyder G.J. Introduction to modeling thermoelectric transport at high temperatures // Materials, Preparation, and Characterization in Thermoelectrics / ed. D.M. Rowe. -Boca Raton: CRC Press, 2012. -Ch. 11.
11. Heremans J.P., Wiendlocha B., Chamoire A.M. Resonant levels in bulk thermoelectric semiconductors // Energy & Environmental Science. -2012. -Vol. 5. -P. 5510–5530.

12. Юсупова Д.А. Fizika fanidagi zamonaviy tendensiyalar: Bi_2Te_3 asosidagi termoelektr material imkoniyatlari misolida: monografiya. -Farg‘ona: FarDU, 2025. -127 b.

TUPROQ OSTI ISSIQLIK AKKUMULYATORLI ISSIQXONALARINING ZAMONAVIY HOLATI

J.T. Abduraximov QarDTU doktoranti, Sh.K. Yaxshiboyev QarDTU dotsenti

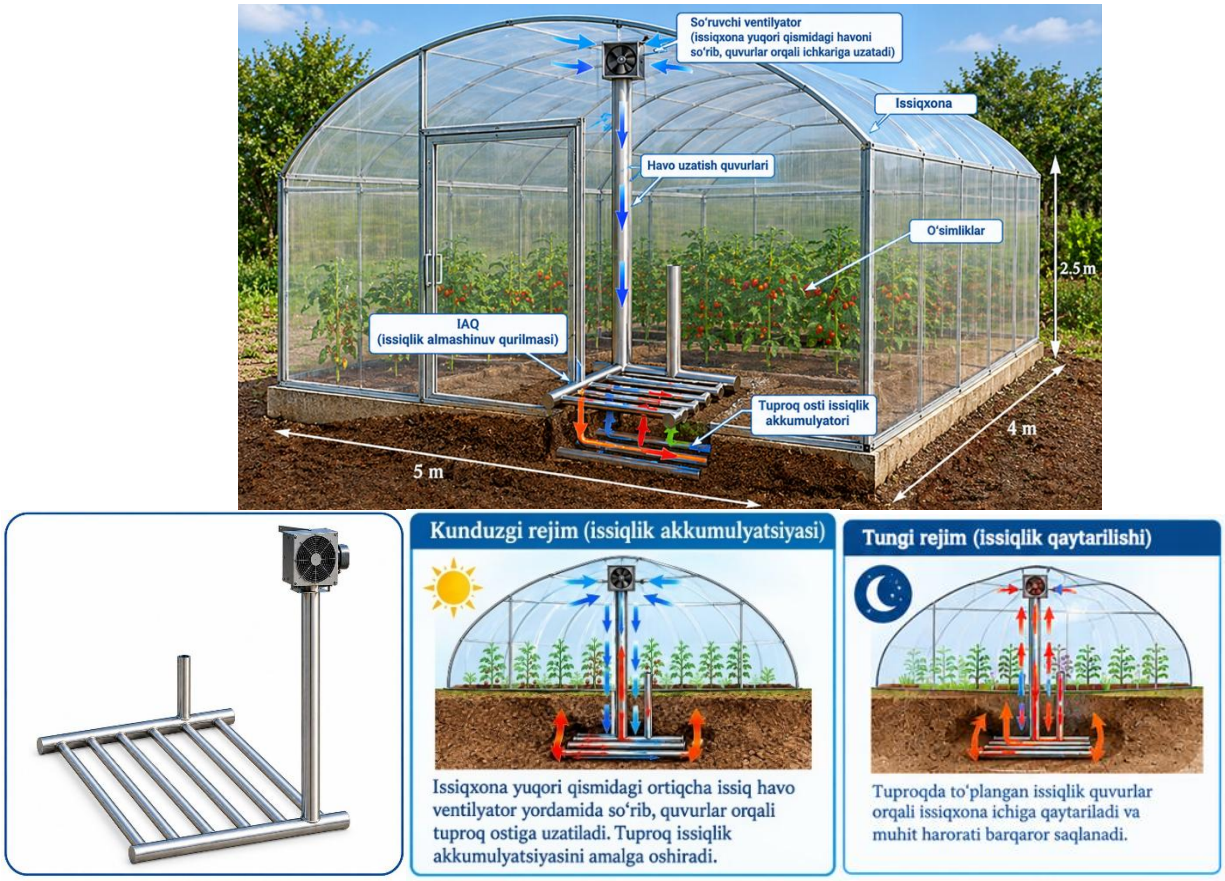
Annotatsiya. Mazkur tezisda issiqxonaning yuqori qismida to‘plangan ortiqcha issiq havoni tuproq ostidagi issiqlik almashinuv qurilmasi (IAQ) orqali gruntga uzatib, issiqlikni vaqtincha akkumulyatsiya qilish va tungi davrda qayta olishga asoslangan issiqlik ta’minoti tizimi tahlil qilinadi. Taklif etilayotgan konstruksiyada IAQ issiqxona ichida, tuproq ostida joylashtirilgan gorizontal issiqlik almashinish quvurlari va ularga ulangan ikkita vertikal quvurdan tashkil topadi.Vertikal quvurning yuqori qismiga so‘ruvchi ventilyator o‘rnatilib, kunduzgi rejimda issiqxonaning yuqori qismidagi issiq havoni so‘rib, quvurlar orqali tuproq ostiga yo‘naltiradi. Natijada havo issiqligining bir qismi gruntga beriladi. Tungi rejimda issiqlik almashinuvi yo‘nalishi o‘zgartirilib, tuproqda to‘plangan issiqlik issiqxona ichiga qaytariladi. Bunday yechim past potensialli issiqlik manbasidan foydalanish, yordamchi isitish yuklamasini kamaytirish va issiqlik ta’minotining barqarorligini oshirish imkonini beradi.

Kalit so‘zlar: *issiqxona, issiqlik almashinuv qurilmasi, IAQ, tuproq osti issiqlik akkumulyatori, so‘ruvchi ventilyator, issiq havo, past potensialli issiqlik, issiqlik akkumulyatsiyasi, issiqlik ta’minoti.*

Kirish. Issiqxona mikroiqlimini boshqarishda asosiy energiya sarfi sovuq davrda issiqlik yo‘qotishlarini qoplashga to‘g‘ri keladi. An’anaviy qozonli tizimlarda issiqlik tashuvchi sifatida suv yoki havo ishlatiladi, biroq bunday tizimlar yoqilg‘i sarfi va yuqori haroratli issiqlik tashuvchiga ehtiyoj sababli ekspluatatsiya xarajatlarini oshiradi. Zamonaviy yondashuv esa issiqxonaning o‘zida hosil bo‘ladigan ortiqcha issiqlikni yo‘qotmasdan, uni issiqlik akkumulyatorida saqlash va talab paytida qaytarishga yo‘naltirilmoqda[1,2].

Tuproq osti issiqlik akkumulyatori ushbu konsepsiyada issiqlik sig‘imi katta bo‘lgan tabiiy muhit sifatida ishlaydi. Gauthier, Lacroix va Bernier [3] tuproq issiqlik almashgich–akkumulyator tizimini uch o‘lchamli vaqtga bog‘liq model orqali tadqiq etib, ko‘milgan quvurlarda aylanayotgan havoning issiqligini gruntga berish va keyinchalik undan qaytarib olish mumkinligini ko‘rsatgan.Tadqiqotda quvur oralig‘i, uzunligi, havo tezligi, grunt namligi va izolyatsiya tizimning issiqlik samaradorligiga sezilarli ta’sir qilishi aniqlangan.

Asosiy qism. Shu nuqtai nazardan, mazkur tezisda taklif qilinayotgan IAQ tizimining muhim jihati- issiqxona yuqori zonasida yig‘iladigan issiq havodan bevosita foydalanishdir.Kunduzgi quyosh radiatsiyasi natijasida issiqxona yuqori qismida havo harorati ildiz zonasiga nisbatan yuqoriroq bo‘lishi mumkin. So‘ruvchi ventilyator aynan shu qatlamdan havoni oladi va uni IAQning gorizontal quvurlari orqali tuproq ostiga uzatadi. Bu jarayon issiqlikni alohida quyosh kollektoriga aylantirmasdan, issiqxona ichidagi mavjud issiqlikdan qayta foydalanish imkonini beradi.



1-rasm. IAQ asosida issiqxonaning yuqori qismidagi issiq havoni tuproq ostida akkumulyatsiya qilish va tungi davrda qaytarish tizimining prinsipial ko‘rinishi.

1-rasmda IAQning issiqxona ichidagi joylashuvi, uzun va kalta vertikal quvurlar, uzun quvur yuqorisidagi so‘ruvchi ventilyator, gorizontal issiqlik almashinish quvurlari hamda kunduzgi va tungi ish rejimlari birgalikda ko‘rsatilgan. Issiqxona o‘lchamlari 5×4 m, balandligi 2,5 m qilib qabul qilingan. Bunday sxema qurilmaning issiqxona bilan fizik va funksional integratsiyasini aniq ko‘rsatadi. [7]

Xorijiy tadqiqotlarda tuproq osti issiqlik saqlash tizimlari ikki asosiy yo‘nalishda rivojlangan: havo bilan to‘g‘ridan-to‘g‘ri issiqlik almashinuvi va suvli kontur orqali gruntni zaryadlash. Havo-quvurli tizimlar issiqxona ichidagi ortiqcha issiqlikni ko‘milgan quvurlar orqali gruntga berishi bilan mazkur tezisdagi IAQ konsepsiyasiga eng yaqin hisoblanadi [3].

Wang va Liang [4] ikki qatlamli plyonkali issiqxonada yer osti issiqlik saqlash tizimini tajribada tekshirgan. Issiqlik saqlangandan so‘ng pol harorati nazorat issiqxonasidagi tuproqqa nisbatan ochiq, bulutli va xira qishki kunlarda mos ravishda 5,2; 4,6 va 2,0°C yuqori bo‘lgan. Bu natija gruntning kunduzgi issiqlikni qabul qilib, tungi sharoitda issiqlik balansini yaxshilash qobiliyatini tasdiqlaydi.

Xu va hammualliflar [5] Shanxaydagi 2304 m² issiqxonada 4970 m³ tuproqni mavsumiy issiqlik akkumulyatori sifatida ishlatgan. Birinchi ish yilida 331,9 GJ issiqlik gruntga zaryadlangan va 208,9 GJ issiqxonani isitishga qaytarilgan. Tashqi havo-2 °C bo‘lgan kechada ichki havo harorati tashqi muhitdan 13°C yuqori saqlangan. Bu natija tuproq osti issiqlik akkumulyatorining katta issiqlik yuklamalarini qoplashdagi salohiyatini ko‘rsatadi.

Yaqin yillardagi tadqiqotlarda kunduzgi ortiqcha havo issiqligini bevosita yer ostiga ko‘chirishga asoslangan tizimlar ham o‘rganilmoqda. 2024-yilgi tadqiqotda yer osti energiya migratsiyasi tizimi uchun issiqlik saqlash paytida 2-2,5 m/s, issiqlikni chiqarish paytida 2,5-3 m/s atrofidagi havo tezliklari optimal

deb topilgan; tizim issiqxona tungi havo haroratini o‘rtacha 2,14°C oshirgan va isitish COP ko‘rsatkichi 5,14 ga yetgan [6]. Mazkur natijalar taklif etilayotgan IAQda havo sarfi va quvur qarshiligini boshqarish muhimligini ko‘rsatadi.

Mahalliy sharoitda esa issiqxonalarning energiya ta’minotida quyosh energiyasi, issiqlik nasoslari, biogaz va boshqa qayta tiklanuvchi manbalarni integratsiyalash masalalari dolzarb. O‘zbekistonning yuqori quyosh radiatsiyasi, quruq iqlimi va sutkalik harorat amplitudasi issiqxona ichida kunduzgi ortiqcha issiqlikni yig‘ib, tungi davrda undan foydalanish g‘oyasini amaliy jihatdan istiqbolli qiladi. Biroq mahalliy tuproqning namligi, issiqlik o‘tkazuvchanligi va issiqlik sig‘imi bo‘yicha dala o‘lchovlari asosida IAQning optimal quvur oralig‘i va ko‘milish chuqurligini aniqlash hali ham muhim ilmiy vazifa bo‘lib qolmoqda.

Taklif etilayotgan tizimning asosiy past potensialli issiqlik Manbai-issiqxona yuqori qismida kunduzgi quyosh ta’siri natijasida to‘plangan issiq havodir. Bu issiqlikni tashqariga chiqarib yuborish o‘rniga so‘ruvchi ventilyator yordamida uzun vertikal quvur orqali IAQga yo‘naltirish mumkin. IAQning gorizontal quvurlari issiq havoning grunt bilan issiqlik almashinuvini ta’minlaydi. Natijada issiqlik grunt massasida saqlanadi. Tungi rejimda esa saqlangan issiqlik qayta olinib, issiqxona ichki muhitiga uzatiladi.

Jarayonni soddalashtirib, IAQ orqali uzatiladigan issiqlik quvvati Q = m·c_p·(T_{ichki}-T_{tashqi}) ifodasi bilan baholanishi mumkin. Bu yerda m-havo massaviy sarfi, c_p-havoning solishtirma issiqlik sig‘imi, T_{ichki}-IAQga kirayotgan havo harorati, T_{tashqi}-IAQdan chiqayotgan havo harorati. Bir sutkalik akkumulyatsiya uchun foydali issiqlik miqdori esa Q = ∫Qdt orqali aniqlanadi. Gruntning issiqlik balansi uchun Q_{tuproq} = m_{tuproq}·c_{tuproq}·ΔT_{tuproq} munosabatidan foydalanish mumkin.

Birinchi ilmiy-texnik muammo-IAQ quvurlarining optimal diametri, uzunligi va o‘zaro oralig‘ini tanlash. Quvurlar juda yaqin joylashsa, issiqlik maydonlari bir-biriga ta’sir qilib, qo‘shimcha quvur uzunligining samarasi pasayishi mumkin; juda katta oraliq esa issiqlik almashinuvi hajmini kamaytiradi [3]. Ikkinchi muammo-tuproq namligining ta’siri. Namlik ortishi issiqlik uzatishni yaxshilashi mumkin, biroq ortiqcha namlik gruntning issiqlik-fizik holatini va quvurlar atrofidagi issiqlik tarqalishini o‘zgartiradi.

Uchinchi muammo-kunduzgi va tungi rejimlarni boshqarish. Kunduz kuni ventilyator issiqxonaning yuqori qismidagi issiq havoni IAQ orqali tuproqqa yuboradi; kechasi esa tizim issiqlikni qaytarish rejimiga o‘tkaziladi. Boshqaruv algoritmi issiqxona ichki harorati, yuqori va pastki havo qatlamlari harorati, tuproqning turli chuqurliklaridagi harorat hamda tashqi haroratni hisobga olishi kerak. Shunday boshqaruv ortiqcha issiqlikni o‘z vaqtida akkumulyatsiya qilish va issiqlik tanqisligi paytida uni qaytarish imkonini beradi.

To‘rtinchi muammo-tizimning energiya samaradorligini baholash. Ventilyatorning elektr sarfi, quvur aerodinamik qarshiligi va issiqlik yo‘qotishlari hisobga olinmasdan faqat tuproq haroratining oshishini samaradorlik mezoni sifatida qabul qilish yetarli emas. Shuning uchun tizim samaradorligi foydali qaytarilgan issiqlikning ventilyator va boshqaruv tizimiga sarflangan elektr energiyasiga nisbati, ya’ni EER yoki COPga o‘xshash integral ko‘rsatkich bilan baholanishi maqsadga muvofiq.

Xulosa

Tahlil shuni ko‘rsatadiki, issiqxonaning yuqori qismida to‘planadigan ortiqcha issiq havoni IAQ yordamida tuproq ostida akkumulyatsiya qilish va tungi davrda qaytarish issiqlik ta’minotining energiya tejamkor yo‘nalishlaridan biridir. Taklif etilayotgan sxemada IAQ issiqxona ichida joylashtiriladi, uning uzun vertikal quvuriga so‘ruvchi ventilyator o‘rnatiladi, kalta vertikal quvur esa havo oqimini taqsimlash va chiqarish/almashinish konturining tarkibiy elementi sifatida xizmat qiladi. Ilmiy adabiyotlar gruntning issiqlik saqlash imkoniyatini va havo-quvurli yer osti tizimlarining issiqxona harorat rejimiga ijobiy ta’sirini tasdiqlaydi. Kelgusida O‘zbekiston sharoitida IAQning quvur oralig‘i, chuqurligi, havo sarfi,

zaryadlash davomiyligi va tungi issiqlik qaytarish rejimini tajriba hamda matematik modellashtirish asosida optimallashtirish zarur.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. Gauthier C., Lacroix M., Bernier H. Numerical simulation of soil heat exchanger-storage systems for greenhouses. Solar Energy, 1997, 60(6), 333–346. DOI: 10.1016/S0038-092X(97)00022-4.

2. Wang Y.-W., Liang X.-F. Performance of underground heat storage system in a double-film-covered greenhouse. Journal of Zhejiang University SCIENCE B, 2006, 7(4), 279–282. DOI: 10.1631/jzus.2006.B0279.

3. Xu J., Li Y., Wang R.Z., Liu W. Performance investigation of a solar heating system with underground seasonal energy storage for greenhouse application. Energy, 2014, 67, 63–73. DOI: 10.1016/j.energy.2014.01.049.

4. Lu J., Li H., Zong C. et al. Recent developments of thermal energy storage applications in the greenhouse environment: A comprehensive review. Energy and Buildings, 2025, 347, 116342.

5. Cuce E., Harjunowibowo D., Cuce P.M. Renewable and sustainable energy saving strategies for greenhouse systems: A comprehensive review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 64, 34–59.

6. Thermal performance of a novel underground energy migration system for greenhouse. Applied Thermal Engineering, 2024/2025. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2024.122440.

7. J.Abdurahimov., Sh. Yaxshiboyev., Tuproq osti issiqlik akkumulyatorli issiqxonaning issiqlik ta'minoti tizimini samaradorligini oshirish, «Energetika kompleksining dolzarb muammolari: ishlab chiqarish, uzatishi va ekologiya» // Xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya materiallari to'plami. – Qarshi: Qarshi davlat texnika universiteti, 2026, 919–922.

QUYOSH ENERGIYASI YORDAMIDA BIOMASSANI YUQORI HARORATLI TERMOKIMYOVIY QAYTA ISHLASH.

Babakulov Zavqiddin Alaviddin o'g'li – tadqiqotchi.
e-mail: zavqiddin20021009@gmail.com.
Almardanov Hamidilla Abdig'aniyevich - Qarshi davlat texnika universiteti, dotsent
e-mail: h.almardanov@kstu.uz

Piroliz - organik chiqindilar va biomassani kislorodsiz muhitda yuqori harorat ta'sirida termik parchalanishi natijasida gazsimon, suyuq va qattiq uglerodli mahsulotlar olish imkonini beruvchi termokimyoviy jarayondir. Ushbu jarayon biomassani qayta ishlash va undan muqobil yoqilg'i hamda foydali mahsulotlar olishning istiqbolli usullaridan biri hisoblanadi [1].

Biomassa - o'simlik va hayvonot kelib chiqishiga ega bo'lgan organik materiallar majmuasi bo'lib, qayta tiklanuvchi energiya resurslarining muhim turlaridan biridir. Biomassaga fizik, fizik-kimyoviy, biologik va termokimyoviy usullar yordamida ishlov berish orqali suyuq, gazsimon va qattiq yoqilg'i mahsulotlarini olish mumkin. Biomassaga yirik va mayda shoxli chorva hayvonlari chiqindilari, turli daraxt va o'simlik qoldiqlari, g'o'zapoya, qishloq xo'jaligi chiqindilari, paxta tozalash korxonalari chiqindilari, poliz ekinlari qoldiqlari, kungaboqar poyalari va boshqa organik materiallar kiradi [2].

Biomassani yuqori haroratda termokimyoviy qayta ishlash uchun zarur bo'lgan issiqlik energiyasini qayta tiklanuvchi manbalar, xususan, quyosh energiyasi hisobidan ta'minlash ekologik va energetik jihatdan muhim ahamiyatga ega. Quyosh energiyasini konsentratsiyalash texnologiyalari yordamida yuqori harorat hosil qilish va ushbu issiqlikni piroliz reaktoriga uzatish orqali biomassani tashqi qazilma yoqilg'ilardan foydalanmasdan termokimyoviy qayta ishlash imkoniyati yaratiladi.

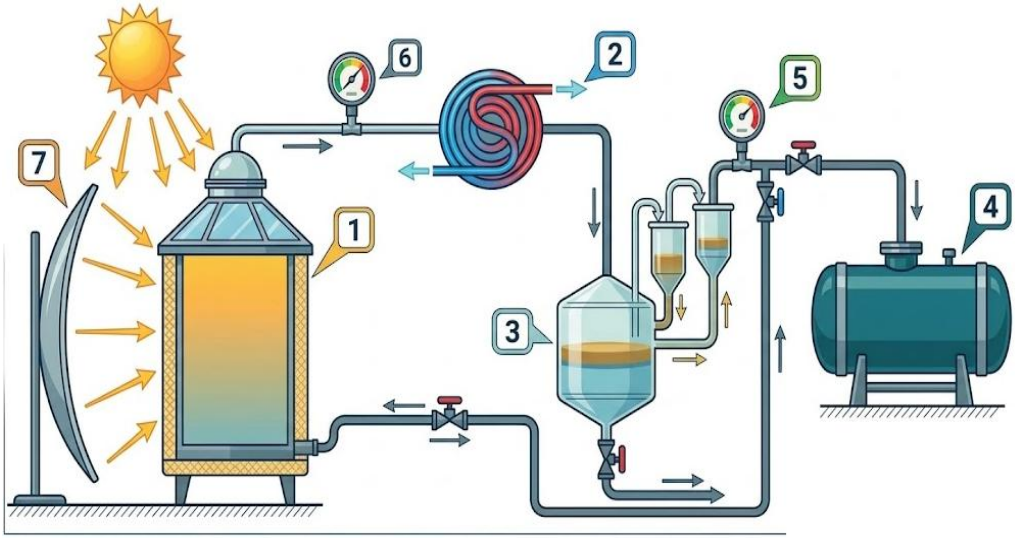
Quyosh energiyasi yordamida biomassani yuqori haroratli termokimyoviy qayta ishlash jarayonida quyosh nurlanishi maxsus konsentrator yoki quyosh issiqlik tizimi yordamida yig‘iladi va yuqori haroratli issiqlik energiyasiga aylantiriladi. Hosil bo‘lgan issiqlik piroliz reaktoriga uzatilib, biomassa kislorodsiz muhitda qizdiriladi. Natijada biomassa tarkibidagi organik birikmalar termik parchalanib, piroliz gazi, suyuq bioyoqilg‘i va bioko‘mir kabi mahsulotlar hosil bo‘ladi [3].

Mazkur texnologiyaning muhim afzalligi shundaki, piroliz jarayoni uchun zarur bo‘lgan yuqori haroratli issiqlikning asosiy qismi quyosh energiyasi hisobidan ta’minlanadi. Bu esa an’anaviy yoqilg‘ilarga bo‘lgan ehtiyojni kamaytirish, biomassadan yuqori qo‘shilgan qiymatga ega mahsulotlar olish, chiqindilarni samarali utilizatsiya qilish hamda atmosferaga chiqariladigan issiqxona gazlari miqdorini kamaytirish imkonini beradi [4,5].

Shu sababli quyosh energiyasi yordamida biomassani yuqori haroratli termokimyoviy qayta ishlash jarayonlarini tadqiq etish, piroliz jarayonining harorat rejimlarini optimallashtirish, olinadigan mahsulotlarning chiqishini aniqlash va qurilmaning issiqlik-energetik samaradorligini baholash muhim ilmiy-amaliy vazifalardan biri hisoblanadi.

Tadqiqotning maqsadi quyosh energiyasidan foydalanib biomassani yuqori haroratli termokimyoviy qayta ishlash jarayonini tadqiq etish, quyosh issiqlik energiyasini biomassani piroliz qilish uchun samarali qo‘llash imkoniyatlarini aniqlash hamda piroliz jarayonida hosil bo‘ladigan gazsimon, suyuq va qattiq mahsulotlarning chiqishini baholashdan iborat.

Biomassa pirolizi jarayoni yuqori haroratli termokimyoviy jarayon bo‘lib, o‘rtacha harorat rejimi 500÷700 ℃ ni tashkil qiladi. Piroliz qurilmasining reaktorida harorat rejimini ta’minlash va qurilmaning xususiy ehtiyojiga sarflanadigan issiqlik energiyasini tejash dolzarb masala hisoblanadi. Mahalliy biomassa (mol ekskrementi, o‘simlik chiqindilari)ni geliopiroliz usulida ishlov berish orqali muqobil yoqilg‘ilar olish jarayoni tajribalarda o‘rganildi. Geliopiroliz usuli boshqa qizdirish usullariga nisbatan bir qator afzalliklarga ega hamda energiya tejamkor va ekologik toza usul hisoblanadi. Piroliz qurilmasida quyosh konsentratorining qo‘llanilishi natijasida birinchidan, 500÷1000 ℃ yuqori harorat rejimini hosil qilish, ikkinchidan, piroliz jarayonida xususiy energiya sarfini 30 % gacha kamaytirish imkoni yaratiladi.O‘simlik biomassasi pirolizini quyosh qurilmalari asosida o‘tkazish uchun quyosh konsentratorli piroliz qurilmasi tajriba varianti ishlab chiqildi (1-rasm).



1- rasm. Quyosh konsentratorli tajriba piroliz qurilmasining sxemasi.
1-piroliz reaktori; 2- kondensator; 3- separator; 4- gazgolder;

5-GSXU(gaz sarfini hisoblash uskunasi); 6-manometr; 7- parobolik quyosh konsentratori.

Taklif etilayotgan tajriba qurilmasi orqali piroliz jarayoni uchun talab etiladigan 300-500°C haroratni quyosh konsentratori yordamida ta’minlash mumkin. Bu esa piroliz jarayonini hosil qilish uchun ketadigan energiyani tejash imkonini beradi [5].

Tajriba qurilmasida mahalliy biomassa geliopirolizi tadqiqot qilindi va dastlabki natijalar 1-jadvalda keltirildi.

1 – jadval.

Kungaboqar o‘simligi chiqindisidan muqobil yoqilg‘i olish uchun o‘tkazilgan tajriba natijalari

№	Yuklangan hom ashyo turi	Yuklangan hom ashyo massasi, m, kg	Yuklangan hom ashyo boshlang‘ich namligi, %	Yuklangan hom ashyo boshlang‘ich harorati, t, °C	Tushadigan o‘rtacha quyosh radiatsiyasi q_r, Vt/m^2	Reaktordagi o‘rtacha harorat, t_r, °C	Jarayon vaqti, τ, min	Piroliz mahsulotlari		
								suyuq, kg	gaz, kg	qattiq, kg
1	Kungabo-qar o‘simligi chiqindisi	1,0	20	27	940	430,25	120	0,10 (10%)	0,27 (27%)	0,63 (63%)

O‘tkazilgan tajriba natijalariga ko‘ra, kungaboqar o‘simligi chiqindisini quyosh energiyasi yordamida termokimyoviy qayta ishlash orqali muqobil yoqilg‘i va uglerodli mahsulotlar olish imkoniyati aniqlandi. Tajribada boshlang‘ich massasi 1,0 kg**,** namligi 20 % va boshlang‘ich harorati 27 °C bo‘lgan kungaboqar chiqindisi xomashyo sifatida olindi. Jarayon davomida o‘rtacha quyosh radiatsiyasi 940 W/m²**,** reaktordagi o‘rtacha harorat esa 430,25 °C ni tashkil etdi. Piroliz jarayoni 120 daqiqa davomida olib borildi.

Tajriba yakunida xomashyoning termokimyoviy parchalanishi natijasida 0,10 kg (10 %) suyuq**,** 0,27 kg (27 %) gazsimon va 0,63 kg (63 %) qattiq mahsulot olindi. Natijalar kungaboqar o‘simligi chiqindisini quyosh energiyasi asosida piroliz qilish orqali bir vaqtning o‘zida turli agregat holatdagi mahsulotlarni olish mumkinligini ko‘rsatdi. Ayniqsa, qattiq mahsulotning yuqori ulushi bioko‘mir olish imkoniyatining mavjudligini ko‘rsatadi.

Shunday qilib, kungaboqar chiqindilarini geliopiroliz usulida qayta ishlash biomassadan energiya resurslarini olish, chiqindilarni utilizatsiya qilish va qayta tiklanuvchi quyosh energiyasidan samarali foydalanishning istiqbolli yo‘nalishi sifatida baholanishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar

[1] Uzakov, G.N., Davlonov, H.A., Holikov, K.N. Study of the Influence of the Source Biomass Moisture Content on Pyrolysis Parameters. Applied Solar Energy (English translation of Geliotekhnika), 2018, Tom **54**, Vipusk 6, Pages 481 – 484.

[2] G.N. Uzakov, A.V. Novik, X.A. Davlonov, X.A. Almardanov, S.E. Chuliev, Heat and Material Balance of Heliopyrolysis Device. Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and

Power Engineering Associations, **66**, 1, 57-65 (2023) https://doi.org/10.21122/1029-7448-2023-66-1-57-65

[3] Szymon Sobek, Sebastian Werle. Solar pyrolysis of waste biomass: Part 1 reactor design. Renewable Energy. Volume **143**, December 2019, Pages 1939-1948.

[4] Xayrulla Davlonov, Xamidulla Almardanov, Inomjon Khatamov, Sadriddin Urunboev, Palvan Kalandarov, and Orif Olimov, "Study on heat and material balance of heliopyrolysis device", AIP Conference Proceedings **2686,** 020023 (2022) https://doi.org/10.1063/5.0111855

[5] Uzakov, G.N., Almardanov, X.A., Kodirov, I.N., Aliyarova, L.A. Studying the temperature regime of the heliopyrolysis device reactor. E3S Web of Conferences, 2023, **411**, 01040 DOI: 10.1051/e3sconf/202341101040

Sb_2S_3 И Sb_2Se_3 НА ОСНОВЕ СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КАК ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ ДЛЯ УДАЛЕННЫХ ДАТЧИКОВ

Рузимов К. М., Машарипов Ф. К., Хасанов Ж. О. Ургенчский государственный университет имени Абу Райхана Беруни, email: kruzimov27@gmail.com

Стремительное развитие технологий интернета вещей (IoT) привело к экспоненциальному росту числа удаленных датчиков и беспроводных устройств. По прогнозам, к 2027 году число IoT-устройств превысит 40 миллиардов, а к 2035 году может достичь 1 триллиона [1]. Питание столь обширной сети распределенных устройств с помощью традиционных батарей экономически нецелесообразно и экологически неустойчиво, поскольку требует частой замены и утилизации элементов питания. Эта проблема стимулировала интенсивные исследования в области технологий сбора энергии, в частности, фотовольтаики для помещений (Indoor Photovoltaics, IPV), способной преобразовывать окружающий свет в электрическую энергию[2].

Среди перспективных фотовольтаических материалов халькогениды сурьмы – Sb_2S_3 (стибнит, ширина запрещенной зоны ~1,7 эВ) и Sb_2Se_3 (Eg ~1,1–1,3 эВ) - привлекают значительное внимание благодаря уникальному сочетанию свойств: распространенные на Земле и нетоксичные компоненты, превосходная стабильность, высокие коэффициенты поглощения и одномерная (1D) кристаллическая структура, обеспечивающая механическую гибкость[3]. Настоящий тезис анализирует потенциал этих материалов как источников питания для удаленных датчиков, с особым акцентом на их работу в условиях внутреннего и низкоинтенсивного освещения.

Ключевые слова: Sb_2S_3, Sb_2Se_3, фотовольтаика для помещений, IoT-датчики, гибкие солнечные элементы, интерфейсная инженерия, работа при низкой освещенности.

Оба материала - Sb_2S_3 и Sb_2Se_3 - кристаллизуются в орторомбической структуре, характеризующейся ковалентно связанными лентами вдоль направления [001], удерживаемыми слабыми силами Ван-дер-Ваальса вдоль [100] и [010]. Эта уникальная 1D ленточная структура обеспечивает ряд преимуществ[3]:

Механическая гибкость: слабые межленточные взаимодействия позволяют материалу выдерживать деформации изгиба, что дает возможность создавать ультратонкие и гибкие солнечные элементы без значительной потери производительности.

Высокий коэффициент поглощения: Sb_2Se_3 демонстрирует коэффициент поглощения, превышающий 10^5 см$^{-1}$ в видимом и ближнем ИК-диапазонах. Sb_2S_3 также обладает высоким коэффициентом поглощения (10^4–10^5 см$^{-1}$) в видимой области.

Толерантность к дефектам: 1D-структура локализует дефекты внутри отдельных лент, снижая их влияние на общий перенос носителей заряда.

Для применений в помещениях критически важно спектральное соответствие между источником света и шириной запрещенной зоны поглотителя. Источники внутреннего освещения (светодиоды и

люминесцентные лампы) излучают преимущественно в диапазоне 400–700 нм с интенсивностью примерно в 1000 раз ниже солнечной. Sb_2S_3 с шириной запрещенной зоны ~1,7 эВ демонстрирует почти идеальное спектральное соответствие источникам внутреннего света. Согласно расчетам Hoye et al., спектрально ограниченная максимальная эффективность (SLME) Sb_2S_3 достигает 47% при освещении белым светодиодом 1000 лк[4]. Sb_2Se_3 с более узкой запрещенной зоной (1,1–1,3 эВ) лучше подходит для наружных применений, но также демонстрирует перспективные характеристики в условиях помещений.

Значительный прогресс достигнут в улучшении характеристик солнечных элементов на основе Sb_2S_3 при внутреннем освещении: Оптимизация промежуточного слоя TiO_2 под CdS позволила создать устройство Sb_2S_3 с КПД 16,54% при освещении белым светодиодом 1000 лк (3347 K)[5].

Устройства с электронно-транспортными слоями SnO_2 и буферными слоями ZnOS с градиентом ширины запрещенной зоны продемонстрировали теоретическую эффективность 46,25% под холодными белыми люминесцентными лампами[6]. Введение анионных поверхностно-активных веществ при осаждении Sb_2S_3 улучшило качество поглотителя, что привело к КПД 16,37% при освещении светодиодом 1000 лк[7]. Эти показатели уже превосходят характеристики многих конкурирующих тонкопленочных технологий в условиях помещений и приближаются к требованиям для практических IoT-применений.

1D-структура Sb_2Se_3 и совместимость с низкотемпературным осаждением делают его особенно привлекательным для гибких и легких фотовольтаических применений:
Оптимизированные гибкие солнечные элементы Sb_2Se_3 достигли рекордного КПД 6,13% и исключительного соотношения мощности к весу 2,04 Вт/г при освещении AM1.5G[8].
Испытания механической стабильности показали, что эти устройства сохраняют 96% начальной эффективности после 1000 циклов изгиба с радиусом изгиба 0,5 мм.
Был успешно продемонстрирован мини-модуль Sb_2Se_3 площадью 25 см^2, питающий IoT-датчик для мониторинга состояния синего светодиода и здоровья растений в любых погодных условиях[9].

Сравнительный анализ и ключевые преимущества

Параметр	Sb2S3	Sb2Se3
Ширина запрещенной зоны (эВ)	1,7–1,8 [3]	1,1–1,3 [3]
Оптимальное применение	Внутреннее (искусственный свет)	Наружное и гибкие устройства
Максимальный КПД в помещении	16,54% (1000 лк) [5]	~6% (AM1.5G)
Теоретический предел КПД	~47% (в помещении) [4]	~30% (AM1.5G)
Гибкость	Умеренная	Отличная (96% сохранение) [8]

Оба материала разделяют важные общие преимущества: Экологическая безопасность: сурьма, сера и селен нетоксичны и не включены в списки ограничений REACH. Низкая стоимость: цена сурьмы составляет ~$25,38/кг (сентябрь 2026), селена ~$20.4/кг[10] - значительно дешевле индия или теллура. Стабильность: превосходная устойчивость к влаге и температуре по сравнению с перовскитами и органическими материалами. Практические реализации устройств на основе Sb_2Se_3 продемонстрировали их жизнеспособность для реальных IoT-применений. гибкий прототип кардиомонитора был успешно запитан от солнечного элемента Sb_2Se_3[11]. Мини-модуль Sb_2Se_3 площадью 25 см^2 непрерывно питал IoT-датчик, отслеживающий здоровье растений в изменяющихся погодных условиях[9].

Ячейки Sb_2S_3 для помещений разрабатываются в первую очередь для питания модулей связи Bluetooth, RFID и Zigbee[12]. Обеспечения энергией датчиков температуры, влажности и освещенности в приложениях умных зданий.

Несмотря на значительный прогресс, остаются несколько проблем: рекомбинация носителей на границах раздела ETL/поглотитель ограничивает производительность устройства. Применение оптимизированных буферных слоев[6] для улучшения согласования зон и снижения интерфейсных дефектов. Дефекты на границах зерен действуют как центры рекомбинации. Надо оптимизация условий осаждения, введение поверхностно-активных веществ и пост-осадительные обработки для улучшения кристалличности.

Дорогостоящие контакты из благородных металлов как золотые электроды увеличивают стоимость устройства. Нужно замена на контакты NiOx/Ni — 7 нм NiOx/Ni сохраняет 97% эффективности устройств с Au-контактами[13].

Проект Европейского союза SUNLIFE (2024–2027) установил амбициозные цели для фотовольтаики на основе халькогенидов сурьмы: ≥15% КПД для наружных устройств, ≥18% КПД для внутренних устройств, исключение CdS и органических материалов из стеков устройств, интеграция в керамическую плитку для строительных применений[14].

Кроме того, возможность настройки ширины запрещенной зоны в диапазоне от 1,1 до 1,8 эВ посредством легирования $Sb_2(S,Se)_3$ открывает возможности для тандемных архитектур устройств[15], потенциально позволяя превзойти пределы однопереходных элементов.

Солнечные элементы на основе Sb_2S_3 и Sb_2Se_3 представляют собой высокоперспективные технологии для питания удаленных датчиков и IoT-устройств. Sb_2S_3 с его почти идеальным спектральным соответствием источникам внутреннего света и продемонстрированной эффективностью 16,54% при освещении 1000 лк (теоретический предел ~47%) становится ведущим кандидатом для применений по сбору энергии в помещениях. Sb_2Se_3 с его уникальной 1D-структурой, обеспечивающей исключительную гибкость (96% сохранение после 1000 изгибов) и высокое соотношение мощности к весу (2,04 Вт/г), идеально подходит для носимых и легких наружных применений.

Оба материала разделяют ключевые преимущества: нетоксичные и распространенные на Земле компоненты, низкая стоимость, превосходная стабильность и совместимость с масштабируемыми методами осаждения. Продолжающиеся исследования, направленные на интерфейсную инженерию, контроль дефектов и замену дорогостоящих контактов, неуклонно улучшают производительность устройств и приближают эти технологии к коммерциализации. Амбициозные цели проекта SUNLIFE (≥18% в помещении, ≥15% на улице) представляются достижимыми в ближайшие годы, что потенциально позволит широко развернуть самопитающиеся IoT-системы в различных секторах, включая умные здания, экологический мониторинг, здравоохранение и точное земледелие.

ЛИТЕРАТУРА

1. TechXplore. A system for stable simultaneous communication among thousands of IoT devices. TechXplore (2025). https://techxplore.com
2. Grandhi, G. K., et al. Promises and challenges of indoor photovoltaics. *Nat. Rev. Clean Technol.* 1(2), 132–147 (2025). DOI: 10.1038/s44359-024-00013-1
3. Competing Superior Electronic Structure and Complex Defect Chemistry in Quasi-One-Dimensional Antimony Chalcogenide Photovoltaic Absorbers. *NSF PAR* (2024). https://par.nsf.gov
4. Hoye, R. L. Z., et al. Additive engineering for Sb_2S_3 indoor photovoltaics with efficiency exceeding 17%. *EurekAlert* (2024). https://www.eurekalert.org
5. Optimizing a TiO_2 interlayer beneath CdS for efficient Sb_2S_3 indoor photovoltaics. *ScienceDirect* (2025). https://www.sciencedirect.com

6. Boosting conversion efficiency by bandgap engineering of ecofriendly antimony trisulfide indoor photovoltaics via a modeling approach. *ScienceDirect* 281, 112–123 (2024). https://www.sciencedirect.com
7. Enhanced hydrothermal heterogeneous deposition with surfactant additives for efficient Sb_2S_3 solar cells. *Chemical Engineering Journal* 435, 135–146 (2022). https://www.sciencedirect.com
8. One-dimensional Sb_2Se_3 enabling ultra-flexible solar cells and mini-modules for IoT applications. *Nano Energy* 84, 105–116 (2021). https://www.sciencedirect.com
9. Chen, C., et al. One-dimensional Sb_2Se_3 enabling ultra-flexible solar cells and mini-modules for IoT applications. *Nano Energy* 84, 105–116 (2021). (Данные о мини-модуле 25 см^2)
10. ScrapMonster. Minor Metal Prices: Antimony and Selenium. ScrapMonster (2026). https://www.scrapmonster.com
11. Transferable Highly (001) Oriented Sb_2Se_3 Nanorod Films on Flexible Substrates for Innovative Optoelectronic Devices. *Advanced Materials Interfaces* 10, 230–242 (2023). https://onlinelibrary.wiley.com
12. Zhou, R., et al. Efficient antimony sulfide indoor photovoltaics for self-powered IoT applications. *Light: Science & Applications* 14, 45–58 (2025). DOI: 10.1038/s41377-024-01620-0
13. Alternative back contacts for Sb_2Se_3 solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 192, 45–52 (2019). https://www.sciencedirect.com
14. SUNLIFE Project. VerSatility of sUstaiNable, Low-cost chalcogenide thin-Film solar cells. European Union Horizon Europe Programme (2024–2027). https://www.bayzoltan.org
15. Selenium-Graded $Sb_2(S_{1-x}Se_x)_3$ for Planar Heterojunction Solar Cell. *Advanced Energy Materials* 12, 210–220 (2022). https://onlinelibrary.wiley.com

QUYOSH SUV KOLLEKTORI ASOSIDAGI ISSIQ POL ISITISH TIZIMIDA ISSIQLIK TASHUVCHI MASSAVIY SARFINING ISSIQLIK UZATISH KO‘RSATKICHLARIGA TA’SIRINI PARAMETRIK TAHLIL QILISH

Jovliyev Abdumalik Nabi o‘g‘li
70710410 – Energiya tejamkorligi va energoaudit mutaxassisligi, ETE-825-25 guruh magistranti
Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston
Ilmiy rahbar: Xamrayev S.I.
Qarshi davlat texnika universiteti, “Energetika muhandisligi” kafedrasi dotsenti, t.f.f.d.

Binolarning isitish tizimlarida energiya sarfini kamaytirish hamda qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish ulushini oshirish energiya va resurslarni tejashning muhim yo‘nalishlaridan hisoblanadi. Quyosh suv kollektorlaridan past haroratli gidronik isitish tizimlarida foydalanish an’anaviy energiya manbalariga bo‘lgan talabni kamaytirish imkonini beradi [1,2]. Ayniqsa, issiq pol tizimining nisbatan past haroratli issiqlik tashuvchi bilan ishlashi uni quyosh issiqlik tizimlari bilan integratsiyalash uchun qulay sharoit yaratadi.

Quyosh kollektorli issiq pol tizimining energetik samaradorligi quyosh radiatsiyasi, kollektorning ish harorati, issiqlik yuklamasi, issiqlik tashuvchining harorati va uning sarfiga bog‘liq. Issiqlik tashuvchining massaviy sarfi gidronik konturda issiqlik energiyasini uzatish intensivligini belgilovchi muhim parametrdir. Massaviy sarfning yetarli bo‘lmasligi talab etilgan issiqlik quvvatini ta’minlashni cheklashi mumkin, uning ortishi esa gidravlik qarshilik va aylanish nasosining elektr energiyasi sarfiga ta’sir ko‘rsatadi [3,4].

Oldingi tadqiqotda quyosh suv kollektori, akkumulyator va issiq pol konturidan tashkil topgan tizimning umumiy energiya balansi, quyosh ulushi va past haroratli ish rejimlari o‘rganilgan. Mazkur tadqiqotning farqli jihati issiqlik tashuvchining massaviy sarfini alohida o‘zgaruvchan parametr sifatida miqdoriy tahlil qilishdan iborat.

Tadqiqotning maqsadi quyosh suv kollektori asosidagi gidronik issiq pol isitish tizimida issiqlik tashuvchi massaviy sarfining uzatiladigan issiqlik quvvatiga ta’sirini parametrik tahlil qilishdan iborat.

Issiq pol gidronik konturida issiqlik tashuvchi tomonidan uzatiladigan issiqlik quvvati energiya balansi tenglamasi asosida aniqlanadi [3]:

$$Q^{\cdot} = m^{\cdot} cp(T_{in} - T_{out}), \quad (1)$$

bu yerda $Q^{\cdot}$ - uzatiladigan issiqlik quvvati, W; $m^{\cdot}$ - issiqlik tashuvchining massaviy sarfi, kg/s; cp- suvning solishtirma issiqlik sig‘imi, J/(kg·K); T_{in} va T_{out} - issiq pol konturiga kirish va undan chiqishdagi suv haroratlari, °C.

Harorat farqi quyidagicha ifodalanadi:

$$\Delta T = T_{in} - T_{out}. \quad (2)$$

Parametrik hisoblashda suvning solishtirma issiqlik sig‘imi $c_p = 4180\ J/(kg \cdot K)$, harorat farqi esa $\Delta T = 5\ °C$ deb qabul qilindi. Ushbu ΔT qiymati tajriba natijasi sifatida emas, massaviy sarf ta’sirini alohida baholash uchun hisobiy shart sifatida qabul qilindi. Massaviy sarf 0,02; 0,04; 0,06; 0,08 va 0,10 kg/s qiymatlarda o‘zgartirildi.

Shunda issiqlik quvvatini aniqlash tenglamasi:

$$Q^{\cdot} = m^{\cdot} \cdot 4180 \cdot 5 \quad (3)$$

ko‘rinishida ifodalanadi.

Issiqlik tashuvchining turli massaviy sarflarida hisoblangan issiqlik quvvati qiymatlari 1-jadvalda keltirilgan.

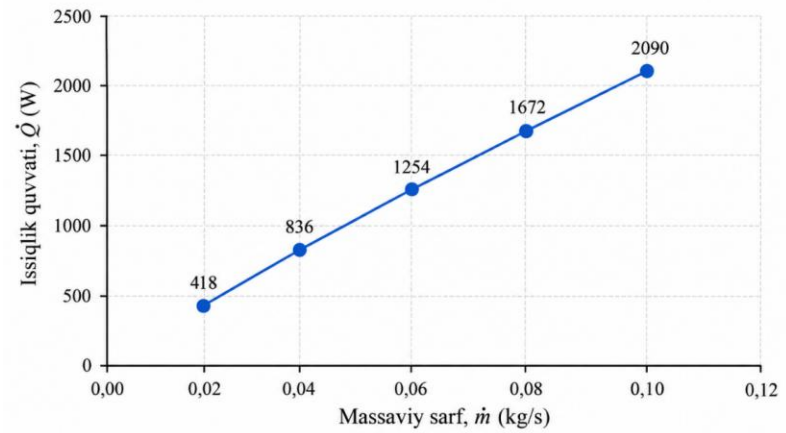
1-jadval.

Issiqlik tashuvchi massaviy sarfining hisobiy issiqlik quvvatiga ta’siri

$m^{\cdot}$, kg/s	ΔT, °C	c_p, J/(kg·K)	$Q^{\cdot}$, W
0,02	5	4180	418
0,04	5	4180	836
0,06	5	4180	1254
0,08	5	4180	1672
0,10	5	4180	2090

1-jadval natijalari massaviy sarfning ortishi bilan issiqlik tashuvchi orqali uzatiladigan hisobiy issiqlik quvvati ortishini ko‘rsatadi. ΔT=5 °C sharoitida massaviy sarf 0,02 kg/s bo‘lganda issiqlik quvvati 418 W ni tashkil etsa, 0,06 kg/s da ushbu ko‘rsatkich 1254 W ga, $0{,}10\ kg/s$ da esa $2090\ W$ ga yetadi. Shunday qilib, qabul qilingan doimiy harorat farqi sharoitida massaviy sarfning 5 marta oshirilishi hisobiy issiqlik quvvatining ham 5 marta ortishiga olib keladi.

Massaviy sarf va uzatiladigan issiqlik quvvati o‘rtasidagi hisobiy bog‘liqlik 1-rasmda keltirilgan.



1-rasm. Issiqlik tashuvchi massaviy sarfining hisobiy issiqlik uzatish quvvatiga ta’siri

1-rasmdan ko‘rinadiki, $\Delta T = 5\ °C$ sharoitida massaviy sarf $0{,}02\ kg/s$ dan $0{,}06\ kg/s$ gacha oshirilganda issiqlik quvvati $418\ W$ dan $1254\ W$ gacha, massaviy sarf $0{,}10\ kg/s$ ga yetganda esa $2090\ W$ gacha ortadi. Ushbu hisobiy sharoitda $\dot{Q}$ va $\dot{m}$ o‘rtasida chiziqli bog‘liqlik mavjud.

Biroq real gidronik tizimda massaviy sarfni oshirish faqat issiqlik uzatish jarayoni bilan chegaralanmaydi. Sarfning ortishi quvurlardagi oqim tezligi va bosim yo‘qotilishiga, natijada aylanish nasosining elektr energiyasi talabiga ham ta’sir ko‘rsatadi. Nasos uchun zarur gidravlik quvvat umumiy ko‘rinishda:

$$P_{pump} = \frac{\Delta p \dot{V}}{\eta_{pump}}, \tag{4}$$

bu yerda P_{pump} - nasos quvvati, W; Δp - gidravlik konturdagi bosim yo‘qotilishi, Pa; $\dot{V}$ - hajmiy sarf, m³/s; η_{pump} - nasosning foydali ish koeffitsiyenti.

Demak, tizimning energiya tejamkor ish rejimini tanlashda faqat yuqori issiqlik quvvatiga erishish emas, balki issiqlik uzatish va nasos elektr energiyasi sarfi o‘rtasidagi nisbatni ham hisobga olish zarur. Mazkur tadqiqotdagi hisoblar ΔT doimiy deb qabul qilingan parametrik holatni ifodalaydi. Real tizimda esa massaviy sarf o‘zgarishi chiqish harorati, harorat farqi va gidravlik qarshilikka ham ta’sir qilishi mumkin. Shu sababli olingan qiymatlar eksperimental natijalar emas, balki tizimning keyingi energetik optimallashtirish ishlari uchun nazariy-hisobiy asos hisoblanadi.

Quyosh suv kollektori asosidagi gidronik issiq pol isitish tizimida issiqlik tashuvchi massaviy sarfining issiqlik uzatish ko‘rsatkichlariga ta’siri parametrik tahlil qilindi. $c_p = 4180\ J/(kg \cdot K)$ va $\Delta T = 5\ °C$ sharoitida massaviy sarf $0{,}02\ kg/s$ dan $0{,}10\ kg/s$ gacha oshirilganda hisobiy issiqlik quvvati $418\ W$ dan $2090\ W$ gacha ortishi aniqlandi. Massaviy sarf $0{,}06\ kg/s$ bo‘lganda $1254\ W$ issiqlik quvvati olindi. Natijalar massaviy sarf issiq pol konturining issiqlik uzatish ko‘rsatkichlarini belgilovchi muhim ish parametrlaridan biri ekanligini ko‘rsatadi. Keyingi tadqiqotlarda massaviy sarf, bosim yo‘qotilishi va aylanish nasosining elektr energiyasi sarfini birgalikda hisobga olgan holda tizimning energetik maqbul ish rejimini aniqlash maqsadga muvofiq.

ADABIYOTLAR

1. Duffie J.A., Beckman W.A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. 4th ed. Wiley, 2013.
2. Kalogirou S.A. *Solar Energy Engineering: Processes and Systems*. 2nd ed. Academic Press, 2014.
3. ASHRAE. *ASHRAE Handbook: HVAC Systems and Equipment*. ASHRAE, 2020.
4. ISO 11855. *Building environment design — Design, dimensioning, installation and control of embedded radiant heating and cooling systems*. 2012.

IV SHO‘BA. ZAMONAVIY FIZIKANING DOLZARB MUAMMOLARI, ECHIMLARI VA UNI O‘QITISHDA YANGI TEXNOLOGIYALARDAN FOYDALANISH

TALABALARNI KASBIY FAOLIYATGA TAYYORLASHDA FIZIKA VA MUHANDISLIK FANLARI MASALALARI UYG‘UNLIGINI TA’MINLASHNING METODOLOGIK ASOSLARI

S.S.Xudayberdiyev, A.M.Nortojiyev, N.B.Nosirov
Toshkent arxitektura-qurilish universiteti

Zamonaviy dunyoda globalizatsiya va axborot texnologiyalarining tez rivojlanishi yangi ijtimoiy-iqtisodiy sharoitlarni keltirib chiqaradi, bu esa kasbiy faoliyatning mazmunini o‘zgartirishni talab qiladi. Bo‘lajak muhandislar uchun zamonaviy talablar nafaqat an’anaviy bilimlarni egallashni, balki doimiy yangilanib turuvchi texnologik muhitda innovatsion yechimlar topish, yangi kasbiy muammolarni bartaraf etish va yuqori darajadagi kompetentlikka erishishni nazarda tutadi.

Muhandislarni tayyorlash jarayoni murakkab va ko‘p jihatli bo‘lib, uning samaradorligi turli omillarga bog‘liq. Kasbiy mahoratni oshirish uchun ta’limda innovatsion usullarni qo‘llash, yangi pedagogik texnologiyalarni joriy etish va fundamental fanlarni chuqur o‘rganish muhim ahamiyatga ega. Chunki, aynan fundamental fanlar tabiatdagi umumiy qonuniyatlarni tushunishga asos bo‘lib, muhandislarga murakkab muammolarni hal qilishda yordam beradi. Ularni o‘rgatish jarayonida o‘quv yurti bitiruvchilarining ilmiy dunyoqarashi shakllanadi. Muhandislarning kasbiy kompetensiyalarini shakllantirishni bosqichma-bosqich, tabiiy fanlar sikllarini o‘rganishdan boshlab, maxsus fanlar bilan yaqin aloqada olib borish kerak.

Fizika va muhandislik fanlari masalalari bosqichlari ko‘p jihatdan o‘xshash va ularni amalga oshirish bir xil yondashuvlarni talab qiladi, degan xulosaga kelish mumkin. Fizikadan masalalar yechishni o‘rganishda kasbiy muammolarni muvaffaqiyatli yechish uchun zarur bo‘lgan kasbiy kompetensiyalar shakllantiriladi.

Yuqoridagi fikrlar fizikadan amaliy mashg‘ulotlar jarayonida muhandislik masalalariga uyg‘unlikni ta’minlash talabalarda shakllangan kommunikativ va kasbiy kompetensiyalarni shakllantirishda xizmat qiladi.

Masalalarni yechish jarayonida bir nechta yondashuvlar mavjud bo‘lib, ular quyidagicha tasniflanadi: 1) an’anaviy yondashuv; 2) mustaqil yechim topish; 3) algoritmik usul; 4) evristik-algoritmik yondashuv. O‘quv jarayonining amaliy bosqichlari tahlil qilinganda ma’lum bo‘ldiki, an’anaviy va mustaqil yechim usullaridan foydalanilganda, ko‘pgina talabalar muhokamalarda faollik ko‘rsatmaydi va ko‘proq tinglovchi sifatida qatnashadi. Bu esa, o‘z navbatida, kasbiy kompetensiyalarni rivojlantirishga to‘sqinlik qiladi.

Shu sababli, fizika qonunlari asosida muhandislik mazmundagi masalalarni integrallashgan holda hal qilishda eng samarali yondashuvlar algoritmik metod va maslahat usuli hisoblanadi. Ushbu usullar talabalarda yuqori darajadagi kasbiy kompetensiyalarni shakllantirishga ko‘maklashadi. Bundan tashqari, bu metodlar o‘qituvchiga o‘quvchilarning o‘zlashtirish darajasini uzluksiz kuzatish imkonini beradi, bu kuzatuv bevosita yoki bilvosita amalga oshiriladi. Fizika va arxitektura masalalarini integratsiya qilish orqali muxandislik yo‘nalishi talabalarining **amaliy, konstruktiv va ijodiy fikrlashini** rivojlantirish mumkin.

Shunday qilib, fizikadan amaliy mashg‘ulotlarni muhandislik mazmundagi masalalar bilan uyg‘unlashtirish orqali bo‘lajak muhandislarning kasbiy kompetensiyalarini shakllantirish metodologik asoslangan yondashuvlarga tayanishi lozim. Ushbu yondashuv fizika va ixtisoslik fanlarining mazmuniy uyg‘unligini ta’minlash orqali talabalarning nazariy bilimlarini amaliy faoliyat bilan bog‘lashga imkon

yaratadi. Bu esa, ularning kelajakdagi kasbiy faoliyati uchun zarur bo'lgan tayyorgarlikning poydevorini tashkil etadi.

Metodologiya termini o'zida "metod" (usul) va "logiya" (ta'limot) atamalarini mujassam etgan bo'lib, u faoliyatni tashkil etish vositalari haqidagi ilmiy-nazariy bilimlar tizimini ifodalaydi. Metodologik bilimlar, odatda, ikki asosiy ko'rinishda namoyon bo'ladi: normativ metodologiya – faoliyatning mazmuni va ketma-ketligini belgilab beruvchi normalar yig'indisi; hamda tavsifiy metodologiya – amaliy faoliyat jarayonining tavsiflovchi tahlilidir. Har ikkala holatda ham metodologiyaning asosiy vazifasi – tanlangan ob'ektni bilish va unga amaliy ta'sir ko'rsatish jarayonlarini tartibga solish hamda ichki tuzilishini tashkil etishdan iboratdir.

Talabalarni kasbiy faoliyatga tayyorlashda fizika va muhandislik fanlari masalalari uyg'unligini ta'minlashning metodologik asoslari bosh mezon hisoblanadi. Shuningdek, bunday yondashuv orqali talabalarda abstrakt tushunchalarni amaliy kontekstda qo'llay olish, kompleks obyektlarni tizimli tasavvur qilish kabi muhim kompetensiyalar shakllanadi.

Adabiyotlar ro'yhati

1. Носиров, Н. Б. (2022). Физика фанидан муҳандислик масалалари ечишнинг ўқув-методик таъминоти ва унинг босқичлари. Integration of science, education and practice. Scientific-methodical journal, 3(10), 98-103.
2. Baratovich, N. N. (2023). STUDY AND METHODOLOGY OF SOLVING ENGINEERING PROBLEMS IN PHYSICS. Conferencea, 64-67.
3. Baratovich, N. N. (2023). PHYSICAL-ENGINEERING PROBLEMS STAGES OF SOLUTION AND ITS DIDACTIVE TASKS. Conferencea, 102-104.
4. Uralbaevich, T. I., Baratovich, N. N. (2023). FORMATION OF MAIN GENERAL COMPETENCES OF FUTURE ENGINEERS AND ITS STAGES. Conferencea, 80-83.

ZAMONAVIY FIZIKANI O'QITISHDAGI YANGI METODLAR

Assistent, **Abdubannobov Mo'ydinjon Iqboljon o'g'li**
Farg'ona davlat texnika universiteti
Moydinjonabdubannobov976@gmail.com

Kirish: Bugungi kunda fan va texnologiyalarning jadal rivojlanishi ta'lim tizimiga yangi talablarni qo'ymoqda. Zamonaviy jamiyatda o'quvchidan faqat tayyor bilimlarni eslab qolish emas, balki olingan bilimlarni amaliy vaziyatlarda qo'llash, mustaqil fikrlash, muammolarni aniqlash va hal qilish, ma'lumotlarni tahlil qilish hamda yangi g'oyalarni ilgari surish talab etiladi. Shu nuqtayi nazardan fizika fanini o'qitish metodikasini takomillashtirish dolzarb pedagogik masalalardan biridir.Fizika tabiat hodisalarining umumiy qonuniyatlarini o'rganuvchi fan sifatida o'quvchilarning ilmiy dunyoqarashini shakllantirishda katta ahamiyatga ega. Biroq fizika fanidagi ko'plab tushunchalar abstrakt xarakterga ega bo'lib, ayrim jarayonlarni bevosita kuzatish yoki oddiy tajriba yordamida namoyish qilish qiyin. Shu sababli zamonaviy pedagogik va axborot texnologiyalaridan foydalanish fizika ta'limining samaradorligini oshirish uchun muhim vosita hisoblanadi.An'anaviy darslarda o'qituvchi asosiy axborot manbai bo'lsa, zamonaviy ta'limda o'qituvchi o'quvchining faoliyatini tashkil etuvchi, yo'naltiruvchi va maslahat beruvchi shaxs sifatida namoyon bo'ladi. O'quvchi esa bilimni tayyor holda qabul qiluvchi emas, balki uni mustaqil ravishda izlab topuvchi, tekshiruvchi va amaliyotda qo'llovchi faol subyektga aylanadi.Shu sababli fizika darslarida zamonaviy metodlardan foydalanishning asosiy maqsadi o'quvchilarning fanga bo'lgan qiziqishini oshirish, nazariy bilimlarni amaliy faoliyat bilan bog'lash va ilmiy fikrlash ko'nikmalarini rivojlantirishdan iborat.

1.Fizika ta’limida zamonaviy yondashuvlarning mohiyati. Zamonaviy ta’lim texnologiyalarining asosiy xususiyati o‘quvchini ta’lim jarayonining markaziga qo‘yishdir. Bunda o‘quvchi dars davomida faol harakat qiladi, savollar beradi, muammoli vaziyatlarni tahlil qiladi, tajribalar o‘tkazadi va o‘z xulosalarini asoslaydi.Zamonaviy fizika darsining asosiy elementlarini quyidagicha ifodalash mumkin:**Muammo → savol → taxmin → tajriba → tahlil → xulosa → amaliy qo‘llash.**Mazkur yondashuv o‘quvchida ilmiy izlanishning boshlang‘ich ko‘nikmalarini shakllantiradi. Masalan, “Nima uchun jismlar Yerga tushadi?”, “Nima sababdan metall sim qizdirilganda uning qarshiligi o‘zgaradi?”, “Nima uchun osmon jismlari orbital harakat qiladi?” kabi savollar o‘quvchini sabab-oqibat munosabatlarini izlashga undaydi.Zamonaviy metodlardan foydalanishda o‘qituvchi dars maqsadini aniq belgilashi kerak. Har qanday yangi texnologiyani darsga faqat zamonaviy ko‘ringani uchun kiritish maqsadga muvofiq emas. Texnologiya yoki metod o‘quv maqsadiga xizmat qilishi lozim

2.Virtual laboratoriyalar va kompyuter simulyatsiyalari

Raqamli texnologiyalarning rivojlanishi fizika fanini o‘qitishda virtual laboratoriyalardan foydalanish imkoniyatlarini kengaytirdi.

Virtual laboratoriya yordamida o‘quvchilar real laboratoriyada bajarish qiyin bo‘lgan tajribalarni kompyuter muhitida amalga oshirishlari mumkin. Masalan:

- elektr zanjirlarini yig‘ish;
- kuch va tezlanish munosabatlarini o‘rganish;
- optik hodisalarni kuzatish;
- to‘lqinlarning tarqalishini modellashtirish;
- atom va kvant hodisalarini vizualizatsiya qilish.

PhET Interactive Simulations platformasi fizika va boshqa tabiiy fanlar bo‘yicha interaktiv simulyatsiyalarni taqdim etadi. Platformadagi simulyatsiyalar o‘quvchiga fizik kattaliklarni o‘zgartirib, ularning natijaga ta’sirini bevosita kuzatish imkonini beradi.

Masalan, “Elektr zanjiri” simulyatsiyasida o‘quvchi kuchlanish va qarshilik qiymatlarini o‘zgartirib, tok kuchining qanday o‘zgarishini kuzatishi mumkin. Bu orqali Ohm qonunining mazmuni ancha tushunarli bo‘ladi.

Shuni ta’kidlash kerakki, virtual laboratoriya real laboratoriyani to‘liq almashtirmaydi. Real tajriba davomida o‘quvchi asboblar bilan ishlash, o‘lchash, xatoliklarni hisobga olish va xavfsizlik qoidalariga rioya qilishni o‘rganadi. Shu sababli real va virtual laboratoriyalarni bir-birini to‘ldiruvchi vositalar sifatida qo‘llash maqsadga muvofiq.

3.“Flipped Classroom” — teskari sinf metodi

“Teskari sinf” metodida an’anaviy dars modeli o‘zgartiriladi. O‘quvchi yangi mavzu bilan uyda video, elektron darslik yoki boshqa raqamli materiallar yordamida tanishadi. Sinfdagi vaqt esa masalalar yechish, tajribalar o‘tkazish va muhokamaga ajratiladi.

Masalan, “Elektr toki” mavzusida o‘quvchilarga darsdan oldin qisqa videomaterial taqdim etiladi. Dars vaqtida esa:

- elektr zanjiri yig‘iladi;
- ampermetr va voltmetr bilan o‘lchash bajariladi;
- Ohm qonuni tekshiriladi;
- natijalar grafikda ifodalanadi;
- masalalar yechiladi.

Bunday yondashuv o‘qituvchiga o‘quvchilar bilan individual ishlash uchun ko‘proq vaqt beradi.

4.Loyiha asosida o‘qitish

Loyiha metodi o‘quvchilarning nazariy bilimlarini amaliy faoliyat bilan bog‘lashga yordam beradi.

Fizika fanida quyidagi loyihalarni tashkil etish mumkin:

- “Quyosh energiyasidan foydalanish”;
- “Uy sharoitida energiyani tejash”;
- “Oddiy shamol generatori modeli”;
- “Issiqlik izolyatsiyasining samaradorligi”;
- “Suvning mexanik energiyasidan foydalanish”;
- “Aqlli uyda fizik jarayonlar”.

Masalan, “Uy sharoitida energiyani tejash” loyihasida o‘quvchilar maishiy elektr qurilmalarining quvvatini aniqlaydi, foydalanish vaqtini hisoblaydi va elektr energiyasini tejash bo‘yicha takliflar ishlab chiqadi.

Loyiha yakunida o‘quvchilar o‘z ishlarini taqdimot, poster, video yoki model shaklida himoya qilishlari mumkin.

5.Zamonaviy metodlarning afzalliklari

Zamonaviy metodlardan maqsadli foydalanish quyidagi pedagogik imkoniyatlarni yaratadi:

- o‘quvchilarning darsdagi faolligi oshadi;
- fizikaga bo‘lgan qiziqish kuchayadi;
- nazariy bilimlar amaliy faoliyat bilan bog‘lanadi;
- mustaqil fikrlash rivojlanadi;
- tadqiqot olib borish ko‘nikmalari shakllanadi;
- guruhda ishlash madaniyati rivojlanadi;
- o‘quvchilar o‘z fikrlarini dalillar bilan asoslashga o‘rganadi;
- raqamli texnologiyalardan foydalanish ko‘nikmasi rivojlanadi;
- individual ta’lim imkoniyatlari kengayadi.

Shuningdek, zamonaviy metodlar o‘qituvchiga o‘quvchilarning bilimini faqat yakuniy natija orqali emas, balki o‘quv jarayonidagi faoliyati orqali ham baholash imkonini beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar

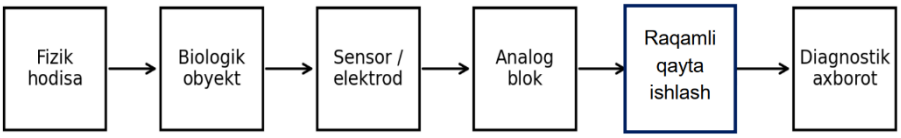
1. Wieman, C. E., Adams, W. K., Perkins, K. K. PhET: Simulations That Enhance Learning. *Science*, 2008.
2. PhET Interactive Simulations. University of Colorado Boulder. Fizika va boshqa tabiiy fanlar bo‘yicha interaktiv simulyatsiyalar.
3. Membah, M. va boshqalar. Effect of integrating physics education technology simulations on students’ conceptual understanding in physics: A review of literature. *Physical Review Physics Education Research*, 17, 023108, 2021.
4. *Physical Review Physics Education Research*. Inquiry-based experimental physics: evidence-based laboratory physics education research.
5. Podolefsky, N. S., Perkins, K. K., Adams, W. K. Factors promoting engaged exploration with computer simulations. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 6, 020117, 2010.
6. Freeman, S. va boshqalar. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2014.
7. Hake, R. R. Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 1998.
8. Mazur, E. *Peer Instruction: A User’s Manual*. Prentice Hall, 1997.
9. National Research Council. *A Framework for K-12 Science Education*. National Academies Press, 2012.
10. UNESCO. *Guidance for Generative AI in Education and Research*. UNESCO, 2023.

TIBBIYOT ELEKTRONIKASINI O‘QITISHDA FANLAR INTEGRATSIYASI VA REAL-VIRTUAL TAJRIBALARNI UYG‘UNLASHTIRISH

AXMADJONOV MEXRIDDIN FAXRIDINOVICH
Farg‘ona davlat texnika universiteti
mexriddinaxmadjonov@gmail.com

Zamonaviy tibbiyot elektronikasi fizika, elektronika, biotibbiyot muhandisligi, fiziologiya, axborot texnologiyalari va o‘lchash nazariyasi kesishgan nuqtada shakllanadigan integrativ fan hisoblanadi. Shu sababli uni faqat alohida fizik qonunlar yoki elektron sxemalarni izohlash asosida o‘qitish talabaning tibbiy qurilma ishlash prinsipini yaxlit anglashiga yetarli bo‘lmaydi. Masalan, elektrokardiografiyada biologik signalning kelib chiqishi fiziologiya bilan, elektrod–teri interfeysi biofizika bilan, signalni kuchaytirish va filtrlash elektronika bilan, raqamlashtirish va qayta ishlash esa axborot texnologiyalari bilan bog‘liq. Shuning uchun tibbiyot elektronikasini o‘qitishda fanlararo bog‘lanishlarni maqsadli tashkil etish va nazariy tushunchalarni real hamda virtual tajribalar orqali mustahkamlash dolzarb pedagogik vazifadir.

Taklif etilayotgan metodik yondashuvning markazida “fizik hodisa – biologik obyekt – sensor yoki elektrod – analog elektron blok – raqamli qayta ishlash – diagnostik axborot” mantiqiy zanjiri turadi. Bunday ketma-ketlik talabaga alohida fanlardan olingan bilimlarni bitta funksional tizim ichida birlashtirish imkonini beradi. Masalan, puls oksimetri mavzusida yorug‘likning yutilishi va sochilishi fizikasi, gemoglobinning spektral xususiyatlari, fotodiodning ishlash prinsipi, analog kuchaytirish, raqamli filtrlash va kislorod saturatsiyasini hisoblash bosqichlari yagona topshiriq doirasida ko‘rib chiqiladi. Natijada talaba qurilmaning faqat blok-sxemasini emas, balki o‘lchash zanjiridagi har bir bo‘g‘inning fizik va biologik mazmunini anglaydi.



1-rasm. Tibbiyot elektronikasini o‘qitishda integrativ didaktik zanjir modeli.

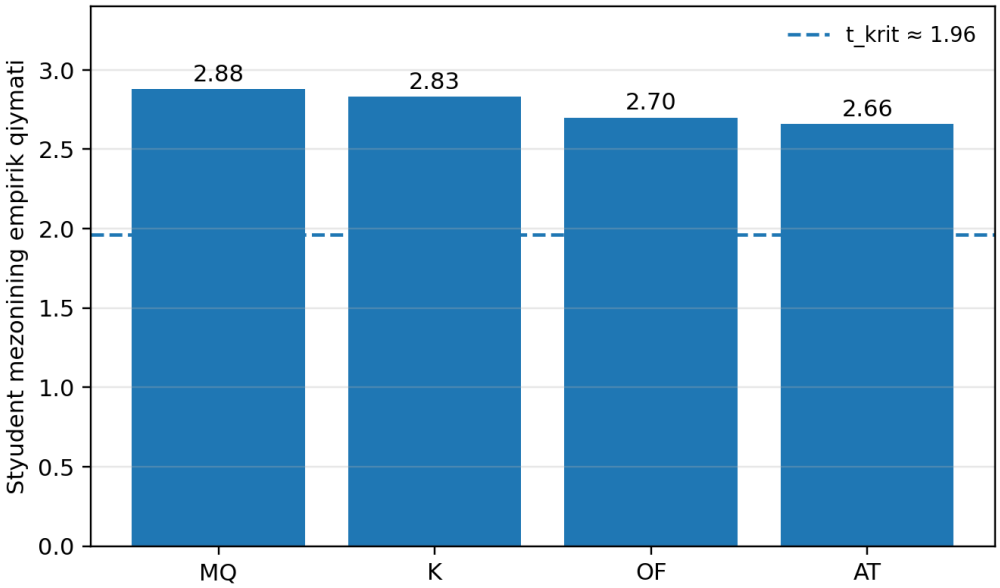
Mazkur yondashuv 2021–2024-yillarda oliy ta’lim muassasalarida o‘tkazilgan pedagogik tajriba-sinov ishlarida qo‘llanildi. Umumiy hisobda 407 nafar talaba ishtirok etib, shundan 209 nafari tajriba guruhlarida, 198 nafari nazorat guruhlarida tahsil oldi. Baholash motivatsion-qadriyatli, kognitiv, operatsion-faoliyatli va axborot-texnologik mezonlar bo‘yicha amalga oshirildi. Tajriba guruhlarida integrativ topshiriqlar, tibbiyot elektronikasining mantiqiy zanjiri, amaliy muammolarni yechish, real qurilma elementlari hamda raqamli va virtual modellar uyg‘unligidan foydalanildi. Nazorat guruhlarida esa an’anaviy o‘qitish usullari ustun bo‘ldi.

Tajriba-sinov boshida tajriba va nazorat guruhlari natijalari orasida statistik jihatdan ahamiyatli farq kuzatilmadi. Yakuniy bosqichda esa tajriba guruhlari bo‘yicha Styudent mezonining empirik qiymatlari motivatsion-qadriyatli mezonda 2,88, kognitiv mezonda 2,83, operatsion-faoliyatli mezonda 2,70 va axborot-texnologik mezonda 2,66 ni tashkil etdi. Barcha holatlarda empirik qiymat kritik qiymatdan yuqori bo‘lgani uchun tajriba va nazorat guruhlari o‘rtasidagi farq statistik jihatdan ahamiyatli deb baholandi. Ushbu natija fanlar integratsiyasiga asoslangan metodikaning talabalarning nafaqat nazariy bilimi, balki amaliy va raqamli faoliyat komponentlariga ham ijobiy ta’sir ko‘rsatganini ko‘rsatadi.

Tajriba va nazorat guruhlari natijalari orasidagi farqni statistik tekshirishda Styudent mezonining quyidagi ko‘rinishi qo‘llanadi:

$$t_{emp} = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) / \sqrt{(s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2)}$$

Mazkur formula orqali o‘rtacha ko‘rsatkichlar farqining tasodifiy tebranishlar bilan izohlanishi yoki metodik ta’sir bilan bog‘liqligi baholanadi. Bizning holatda barcha mezonlar bo‘yicha t_emp > t_krit bo‘lgani metodikaning samaradorligini tasdiqlaydi.



1-grafik. Tajriba guruhi bo‘yicha yakuniy empirik t qiymatlari va kritik chiziqning taqqoslanishi.

Tibbiyot elektronikasi kabi abstrakt va ko‘p bosqichli jarayonlarga ega fanlarda real va virtual tajribalarni qarama-qarshi qo‘yish emas, balki ularni didaktik jihatdan to‘ldiruvchi vositalar sifatida qo‘llash maqsadga muvofiq. Real tajriba talabaning o‘lchash asbobi bilan ishlash, xatolik manbalarini sezish, ulanishlarni tekshirish va xavfsiz laboratoriya ko‘nikmalarini shakllantiradi. Virtual tajriba esa ko‘z bilan kuzatish qiyin bo‘lgan signal jarayonlarini dinamik ko‘rsatish, parametrlarni tez o‘zgartirish, nosozlik holatlarini xavfsiz modellashtirish va tajribani ko‘p marta takrorlash imkonini beradi. 2001–2021-yillardagi 27 ta eksperimental tadqiqotni birlashtirgan meta-tahlilda real va virtual tajribalarni uyg‘unlashtirish fizikani o‘zlashtirishga ijobiy ta’sir ko‘rsatgani, umumiy effekt o‘lchami ES = 0,66 bo‘lgani qayd etilgan [1].

Tibbiy ta’limda ham fanlar integratsiyasi va simulyatsiya birgalikda qo‘llanganda ijobiy natijalar kuzatilmoqda. Roberts va hammualliflar fiziologiya, farmakologiya va klinik fanlarni jamoaviy o‘qitish hamda simulyatsiya orqali gorizontal va vertikal integratsiyalash modelini taklif qilgan. Ularning tadqiqotida virtual hayotiy ko‘rsatkichlar simulyatori bilan ishlashdan so‘ng bilim ko‘rsatkichlari oshgani, talabalar esa ayniqsa fanlar o‘rtasidagi bog‘lanishni yaxshiroq anglaganini bildirgan [2]. Bu tajriba tibbiyot elektronikasida ham fizik hodisani klinik mazmun va elektron o‘lchash zanjiri bilan bir vaqtda bog‘lash zarurligini tasdiqlaydi.

Virtual reallik va interaktiv simulyatsiyalarni joriy etishda texnologiyaning o‘zi emas, balki uning pedagogik ssenariysi hal qiluvchi ahamiyatga ega. 2026-yilda e’lon qilingan keng qamrovli sharhda PhET, virtual va kengaytirilgan reallik, sun’iy intellekt hamda aralash ta’lim kabi texnologiyalar fizika o‘qitishida istiqbolli ekani, biroq natijalar o‘qituvchi tayyorgarligi, infratuzilma va didaktik dizayn sifatiga kuchli bog‘liqligi ko‘rsatilgan [3]. Shu bois tibbiyot elektronikasida virtual laboratoriya real tajribani shunchaki raqamli ko‘rinishda takrorlamasligi kerak. U talabani o‘lchash zanjiridagi sabab-oqibat munosabatlarini izlashga, signal shaklini fizik jarayon bilan bog‘lashga va texnik qarorlarning diagnostik natijaga ta’sirini tahlil qilishga undashi lozim.

Taklif etilayotgan metodik model uch bosqichda tashkil etilishi mumkin. Birinchi bosqichda fizik va biologik asoslar integratsiyalangan muammo orqali faollashtiriladi. Ikkinchi bosqichda virtual model yordamida signalning shakllanishi, kuchaytirilishi, filtrlash va raqamlashtirish jarayonlari kuzatiladi hamda parametrlar o‘zgartiriladi. Uchinchi bosqichda real stend yoki tibbiy elektron qurilma elementi bilan amaliy topshiriq bajarilib, virtual va real natijalar solishtiriladi. Yakunda talaba “qaysi fizik kattalik o‘lchanmoqda?”, “signal qayerda buzilishi mumkin?”, “qaysi elektron blok bu buzilishni kamaytiradi?” va “olingan ma’lumotning tibbiy mazmuni nima?” kabi integrativ savollarga javob beradi.

Xulosa qilib aytganda, tibbiyot elektronikasini o‘qitishda fanlar integratsiyasi va real-virtual tajribalarni uyg‘unlashtirish zamonaviy fizika ta’limining muhim yo‘nalishlaridan biridir. Ushbu yondashuv talabaning fizik qonunlarni tibbiy texnologiyalar kontekstida qo‘llashi, elektron o‘lchash zanjirini tizimli tahlil qilishi va raqamli vositalardan ongli foydalanishini ta’minlaydi. Pedagogik tajriba natijalari integrativ metodikaning samaradorligini statistik jihatdan tasdiqlaydi. Kelgusida virtual laboratoriyalar, sun’iy intellekt asosidagi tahlil vositalari va real sensor ma’lumotlarini yagona o‘quv platformasida birlashtirish tibbiyot elektronikasi ta’limining amaliy yo‘naltirilganligini yanada kuchaytirishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Wang X.-M., Yu X.-H., Yu D.-D., Hwang G.-J., Lan M. Does combining real and virtual experiments improve learning achievement in physics? Evidence from a meta-analysis (2001–2021). Educational Research Review. 2025. Vol. 46. Art. 100661. DOI: 10.1016/j.edurev.2024.100661.

2. Roberts J., Zhong Q., Linger R. Integrating Foundational and Clinical Science Remotely by Combining Team-Based Learning and Simulation. Medical Science Educator. 2023. Vol. 33. P. 925–934. DOI: 10.1007/s40670-023-01817-9.

3. Daza S.L.C., Castillo-Daza C.A. Impact of technological pedagogical innovations on physics education: An umbrella review. Educational Research Review. 2026. Vol. 52. Art. 100807. DOI: 10.1016/j.edurev.2026.100807.

4. Gao F., Qiu J., Chen L., Li L., Ji M. et al. Effects of virtual reality simulation on medical students’ learning and motivation in human parasitology instruction: a quasi-experimental study. BMC Medical Education. 2023. Vol. 23. Art. 630. DOI: 10.1186/s12909-023-04589-3.

XODIMLARNING ISH FAOLIYATINI FACE ID ORQALI MONITORING QILUVCHI DASTURIY TA’MINOTNI ISHLAB CHIQISH VA BAHOLASH

Bozorov Elmurod Ostanovich
bozorovelmurod@gmail.com
“Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti” Milliy tadqiqot universiteti. Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish va boshqarish kafedrasi dotsenti (PhD), O’zbekiston
Jumaboyeva Maftuna Shavkatovna
jumaboyevamaftuna430@gmail.com
Buxoro davlat universiteti “Kompyuter tizimlari va ularning daturiy ta’minoti” ta’lim yo’nalishi magistranti, O‘zbekiston

Annotatsiya. Maqolada xodimlarning ishga kelish-ketish vaqtlarini yuz biometrikasi yordamida qayd etuvchi, ish vaqti hisobotlarini shakllantiruvchi dasturiy prototipning arxitekturasi va baholash metodikasi taklif etiladi. Tizim kamera orqali yuz tasvirini oladi, yuzni aniqlaydi, xususiyat vektorini ro‘yxatdagi shablonlar bilan taqqoslaydi va hodisani jurnalga yozadi. Natijalar bo‘limidagi sonlar real korxona tajribasi emas, hisoblashni ko‘rsatish uchun tuzilgan namunaviy simulyatsiya ma’lumotlaridir.

Kalit so‘zlar: Face ID, yuzni tanish, biometrik identifikatsiya, xodimlar monitoringi, ish vaqti hisobi, dasturiy prototip, maxfiylik.

Kirish. Korxonalarda ish vaqtini qayd etish, kechikishlarni aniqlash va davomat hisobotlarini tayyorlash ma’muriy resurs talab qiladi. Qog‘oz jurnal yoki PIN-kodga asoslangan usullar boshqa shaxs nomidan qayd kiritish, ma’lumotni kech kiritish va hisobotlarni qo‘lda jamlash kabi xatarlarga ega. Yuz biometrikasi xodimni ro‘yxatdan o‘tgan biometrik shablon bilan solishtirib, davomat hodisasini avtomatlashtirish imkonini beradi. Biroq biometrik aniqlik muhit, kamera, yoritish, yuz holati va demografik omillarga bog‘liq. NIST biometrik tizimlarni aniqlik, tezlik va turli sharoitlarda ishlash ko‘rsatkichlari bilan sinash zarurligini ta’kidlaydi. Shuningdek, biometrik ma’lumotlar maxfiyligi va taqdimot hujumlarini aniqlash (PAD) muhim hisoblanadi [1–3].

Materiallar va metodlar. Taklif etilayotgan prototip veb-kamera bilan jihozlangan kirish terminali va markaziy serverdan tashkil topadi. Amaliy realizatsiya uchun Python 3.11, OpenCV (tasvirni olish va yuzni aniqlash), yuz embeddinglarini hisoblaydigan tanish modeli, FastAPI (REST API), PostgreSQL (xodimlar va hodisalar bazasi), hamda React yoki HTML/JavaScript boshqaruv panelidan foydalanish mumkin. Model va kutubxona versiyalari tajriba oldidan qat’iy belgilanishi lozim.

Ishlash ketma-ketligi:

1) xodimning roziligi va ro‘yxatdan o‘tishi;
2) yuz tasvirini olish;
3) yuz sifati va jonlilik/PAD tekshiruvi;
4) embedding vektorini chiqarish;
5) vektorni ro‘yxatdagi shablonlar bilan masofa yoki o‘xshashlik bo‘yicha solishtirish;
6) belgilangan chegaradan o‘tsa, xodim IDsi va vaqt tamg‘asi bilan kirish/chiqish hodisasini yozish;
7) vakolatli panelda hisobot ko‘rsatish.

Arxitektura modullari: (a) Capture Service — kamera oqimi; (b) Face Processing — yuzni aniqlash, tekislash va embedding; (c) Matching Service — identifikatsiya; (d) Attendance Engine — jadvalga muvofiq kirish/chiqish; (e) API & Dashboard — qidiruv va hisobot; (f) Audit & Security — rollar, shifrlash, kirish jurnali va saqlash muddati.

Asosiy ma’lumotlar bazasi jadvallari: Employee(employee_id, name, department, status); BiometricTemplate(template_id, employee_id, encrypted_vector, created_at, consent_ref); AttendanceEvent(event_id, employee_id, event_type, timestamp, terminal_id, confidence, review_status); AuditLog(actor_id, action, timestamp). Xom yuz tasvirini doimiy saqlash o‘rniga himoyalangan shablon saqlash, ma’lumotga kirishni cheklash va belgilangan muddat tugagach o‘chirish tavsiya etiladi.

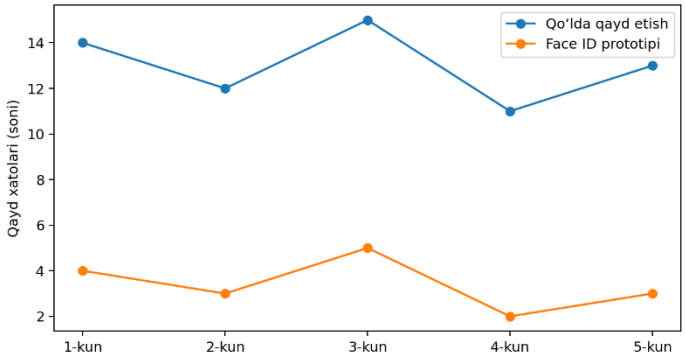
Baholash metrikalari: identifikatsiya aniqligi (to‘g‘ri tanilgan holatlar / jami sinovlar), false match rate (FMR), false non-match rate (FNMR), o‘rtacha javob vaqti, noto‘g‘ri davomat yozuvlari va tizimning mavjudlik darajasi. Ishlab chiqarishdan oldin turli yoritish, kamera burchagi va foydalanuvchi guruhlarida sinov o‘tkazish zarur. NIST SP 800-63B biometrikada PAD, muqobil autentifikatsiya yo‘li va sezgir ma’lumotlarni himoyalashga urg‘u beradi [2].

Natijalar. 1-jadvalda va grafiklar(1 va 2 rasmlar) metodikani namoyish etuvchi shartli simulyatsiya ma’lumotlaridir; ular amalda o‘lchangan natija yoki tayyor mahsulotning kafolatlangan ko‘rsatkichi emas.

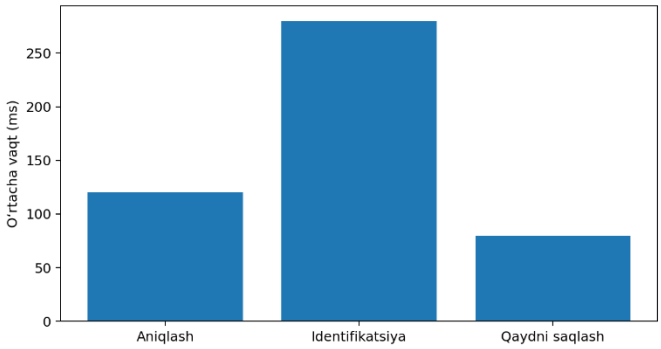
1-jadval

Ko‘rsatkich	Model qiymati	Izoh
Ro‘yxatdagi xodimlar	500	Sinov ssenariysi
Kuzatuv davri	5 ish kuni	Shartli
Qo‘lda qayd xatolari	65 ta	14+12+15+11+13
Face ID prototipi xatolari	17 ta	4+3+5+2+3
Xato kamayishi	73,8%	(65−17)/65×100

Bosqichlar yig‘indi kechikishi	480 ms	120+280+80



1-rasm. Qo‘lda qayd etish va Face ID prototipi bo‘yicha xatolar soni (simulyatsiya).



2-rasm. Modeldagi jarayon bosqichlari bo‘yicha kechikish.

Umumiy hisoblangan kechikish: T = 120 + 280 + 80 = 480 ms.

Hisoblash namunasi: xatolar kamayishi R = (E_manual − E_face)/E_manual × 100%. Berilgan model qiymatlari bilan R = (65−17)/65×100% = 73,8%. O‘rtacha bir hodisa kechikishi T_total = T_detect + T_match + T_write = 120+280+80 = 480 ms. Bu raqamlar haqiqiy tizim unumdorligini tasdiqlamaydi; ularni tasdiqlash uchun bir xil apparat va sinov to‘plamida takroriy o‘lchash talab etiladi.

Muhokama.

Model hisoblari avtomatlashtirilgan qayd tizimida xatolarni kuzatish va vaqt sarfini ajratib o‘lchash mumkinligini ko‘rsatadi, biroq simulyatsiya real muhitdagi tanish aniqligini yoki xodimlar intizomiga ta’sirni isbotlamaydi. Haqiqiy baholashda xodimlar roziligi bilan yig‘ilgan, vakillik xususiyatiga ega sinov to‘plami, xato turlari bo‘yicha chalkashlik matritsasi, FMR/FNMR, p50/p95 kechikish va tizimning uzluksiz ishlashi qayd etilishi kerak.

Cheklovlar: kamera sifati va yoritish o‘zgarishi, yuzni surat/video bilan aldashga urinish, bir vaqtda bir nechta yuzning ko‘rinishi, niqob yoki tashqi ko‘rinishdagi o‘zgarishlar, tarmoq uzilishi va noto‘g‘ri moslashtirish. Shu sababli tizimni ish haqi yoki intizomiy qarorlar uchun yagona dalil sifatida ishlatmaslik; xodimga qaydni ko‘rish va e’tiroz bildirish imkonini berish lozim.

Biometrik ma’lumotlar uchun aniq maqsad, xabardor rozilik, saqlash muddati, o‘chirish mexanizmi, shifrlash, rollarga asoslangan ruxsat va muqobil davomat usuli joriy qilinishi kerak. NIST tavsiyalari biometrik ma’lumotni sezgir axborot sifatida himoyalash, muqobil usul taqdim etish va PADni baholash zarurligini ko‘rsatadi [2,3].

Xulosa.

Maqolada xodimlar davomatini Face ID orqali qayd etish uchun modulli dasturiy prototip, ma’lumotlar bazasi tuzilmasi va baholash metodikasi taklif qilindi. Namunaviy hisobda xatolar 65 tadan 17 taga tushishi (73,8%) hamda jarayon kechikishi 480 ms bo‘lishi ko‘rsatildi; bu qiymatlar faqat simulyatsiya misolidir. Keyingi bosqichda prototipni real sharoitda, rozilikka asoslangan ma’lumotlar bilan sinash, biometrik xatolik ko‘rsatkichlarini alohida hisobot qilish va maxfiylik nazoratlarini tekshirish zarur.

Foydalanilgan adabiyotlar

[1] Phillips, P. J., Martin, A., Wilson, C. L., & Przybocki, M. An Introduction to Evaluating Biometric Systems. IEEE Computer Graphics and Applications, 2000. NIST: https://www.nist.gov/publications/introduction-evaluating-biometric-systems

[2] NIST. SP 800-63B, Digital Identity Guidelines: Authentication and Lifecycle Management. Biometrics guidance. https://pages.nist.gov/800-63-4/sp800-63b.html

[3] ISO/IEC 30107-1:2023. Information technology — Biometric presentation attack detection — Part 1: Framework. https://www.iso.org/standard/83828.html

[4] NIST. Face Recognition Technology (FRT), Face Recognition Vendor Testing overview. https://www.nist.gov/speech-testimony/facial-recognition-technology-frt

[5] AWS. (2024). Amazon Rekognition – Developer Guide. Amazon Web Services. https://docs.aws.amazon.com/rekognition

[6] PyImageSearch. (2025). Face recognition with OpenCV, Python, and deep learning. https://pyimagesearch.com/face-recognition

[7] Towards Data Science. (2024). Building a real-time face recognition system with Flutter and TensorFlow Lite. Medium. https://towardsdatascience.com/real-time-face-rec-flutter

[8] Abduqodirov, A. A. (2023). Biometrik identifikatsiya tizimlari: yuzni tanib olish algoritmlari va ularning amaliy qo‘llanilishi. Toshkent axborot texnologiyalari universiteti ilmiy jurnali, 12(4), 45–58.

[9]. Karimov, Sh. R. (2024). Suniylik intellekti asosidagi xodimlar monitoring tizimlari: axloqiy va huquqiy muammolar. O‘zbekiston Milliy universiteti axborotnomasi, 8(2), 112–125.

[10]. Ismoilova, D. B. (2022). Mobil ilovalarda FaceID texnologiyasini integratsiya qilish: Flutter framework misolida [Magistrlik dissertatsiyasi]. Inha universiteti Toshkent filiali.

GEOGEBRA DASTURI YORDAMIDA MEXANIKADAGI PARAMETRIK TENGLAMALAR VA HARAKAT TRAYEKTORIYALARINI MODELLASHTIRISH

Choriyev Islom G‘ayratovich
Termiz davlat pedagogika instituti Fizika kafedrasi o‘qituvchisi
ichoriyev0711@gmail.com

Kirish va asosiy qism:

Bugungi kunda ta’lim jarayonini raqamlashtirish, o‘quvchilarning mustaqil fikrlashini rivojlantirish hamda murakkab ilmiy tushunchalarni vizual va interaktiv shaklda o‘zlashtirish imkoniyatlarini kengaytirish fizika ta’limining muhim vazifalaridan biri hisoblanadi. Ayniqsa, mexanika bo‘limida matematik formulalar, grafiklar va fizik hodisalar o‘rtasidagi uzviy bog‘liqlikni ko‘rsatish muhim metodik ahamiyatga ega. Chunki mexanik harakatni tavsiflashda koordinata, vaqt, tezlik, tezlanish, yo‘nalish va trayektoriya kabi tushunchalar bir-biri bilan bevosita bog‘langan holda namoyon bo‘ladi.

An’anaviy ta’limda harakat trayektoriyasi ko‘pincha tayyor chizma yoki doskada qurilgan grafik yordamida tushuntiriladi. Bunday yondashuv asosiy nazariy mazmunni ochib berish uchun yetarli bo‘lsa-da, parametrlarning o‘zgarishi natijasida fizik tizimda yuz beradigan dinamik o‘zgarishlarni real vaqt rejimida kuzatish imkonini cheklaydi. Shu sababli raqamli matematik modellashtirish vositalaridan

foydalanish fizik hodisaning matematik modeli bilan uning geometrik tasviri o‘rtasidagi bog‘lanishni kuchaytiradi [1; 2].

GeoGebra dasturi geometriya, algebra, grafik tasvirlash, funksiyalar va matematik modellashtirish imkoniyatlarini yagona dinamik muhitda birlashtiradi. Dasturda algebraik ifodaning o‘zgarishi geometrik obyektning o‘zgarishiga, aksincha, geometrik obyekt ustidagi harakat esa tegishli matematik ifodaning yangilanishiga olib keladi [1]. Shu jihatdan GeoGebra mexanikadagi parametrik tenglamalar va harakat trayektoriyalarini modellashtirishda qulay pedagogik vosita sifatida qaralishi mumkin.

Fizikani o‘qitishda GeoGebradan foydalanish o‘quvchiga tayyor natijani qabul qilishdan ko‘ra, matematik modelni o‘zgartirish, natijani kuzatish, fizik mazmunini izohlash va xulosa chiqarish imkonini beradi [2]. Bu esa raqamli ta’lim muhitida tadqiqotchilikka asoslangan o‘qitish tamoyillarini amalga oshirishga xizmat qiladi.

1. Parametrik tenglamalar va dinamik sliderlar

Mexanik harakatni o‘rganishda jismning fazodagi holatini vaqtga bog‘liq koordinatalar orqali ifodalash muhimdir. Tekislikdagi harakat umumiy holda

$$x = x(t), \quad y = y(t)$$

parametrik tenglamalar sistemasi orqali berilishi mumkin. Bu yerda **t** — vaqt parametri, **x(t)** va **y(t)** esa jismning ma’lum vaqtdagi koordinatalarini ifodalaydi. Ushbu ikki tenglama birgalikda jism harakatining geometrik trayektoriyasini hosil qiladi.

GeoGebra muhitida parametrik tenglamalar asosida harakatlanuvchi nuqtani qurish va uning koordinatalarini vaqt parametriga bog‘lash mumkin. Bunda **slider** vositasi alohida metodik ahamiyatga ega. Masalan, gorizontal va vertikal tashkil etuvchilarga ega bo‘lgan jism harakati

$$x(t) = v_0 \cos\alpha \cdot t,$$

$$y(t) = v_0 \sin\alpha \cdot t - gt^2/2$$

ko‘rinishida modellashtirilishi mumkin. GeoGebrada v_0, α, **g** va **t** kabi parametrlarni slider yordamida boshqarish orqali modelning dinamik holatini kuzatish imkoniyati yaratiladi.

Masalan, uloqtirish burchagi o‘zgartirilganda trayektoriyaning geometrik ko‘rinishi ham o‘zgaradi. Talaba bunda faqat formulani yodlab qolmay, balki parametr va fizik natija o‘rtasidagi sababiy bog‘lanishni ko‘radi. Bu yondashuv matematik modelning fizik mazmunini anglashga yordam beradi [1; 3].

Parametrik modellashtirishdan foydalanishda o‘qituvchi “Parametr o‘zgarsa, trayektoriya qanday o‘zgaradi?”, “Qaysi parametr harakatning gorizontal tashkil etuvchisiga ko‘proq ta’sir qiladi?”, “Qanday shartda trayektoriya parabola ko‘rinishida bo‘ladi?” kabi muammoli savollarni qo‘yishi mumkin. Bunday savollar o‘quvchini tayyor formuladan foydalanishga emas, modelni tahlil qilishga undaydi.

2. Vektorli kattaliklar va ularning tashkil etuvchilari

Mexanikadagi asosiy fizik kattaliklarning katta qismi vektor kattaliklardan tashkil topadi. Ko‘chish, tezlik, tezlanish, kuch va impuls kabi kattaliklarning fizik mazmunini to‘liq anglash uchun ularning moduli bilan bir qatorda yo‘nalishini ham tushunish talab etiladi. Shu sababli vektorlarning grafik tasvirini mexanika ta’limida qo‘llash alohida ahamiyatga ega.

GeoGebra yordamida harakatlanuvchi nuqtaga tezlik yoki tezlanish vektorlarini biriktirish, ularni koordinata o‘qlariga proyeksiyalash va tashkil etuvchilarini alohida ko‘rsatish mumkin. Masalan, tezlik vektori

$$\vec{v} = (v_x, v_\gamma)$$

ko‘rinishida ifodalanganda uning v_x va v_γ tashkil etuvchilari grafik muhitda alohida tasvirlanadi. Vaqt o‘zgarishi bilan ushbu vektorlarning yo‘nalishi yoki qiymatidagi o‘zgarishlarni dinamik tarzda kuzatish mumkin.

Bunday modellashtirish fizik va matematik tafakkurning integratsiyasini ta’minlaydi. O‘quvchi vektorning algebraik yozuvi bilan uning geometrik tasviri o‘rtasidagi munosabatni bir vaqtning o‘zida

ko‘radi. GeoGebra’ning dinamik geometriya imkoniyatlari aynan shunday o‘zaro bog‘langan obyektlarni yaratishga imkon beradi [1; 4].

Pedagogik nuqtayi nazardan, vektorli modellashtirishni masalalar yechish jarayoni bilan bog‘lash maqsadga muvofiq. Masalan, o‘quvchiga jismning boshlang‘ich tezligi va uloqtirish burchagi berilib, tezlik vektorining tashkil etuvchilarini aniqlash, so‘ng ularni GeoGebrada grafik jihatdan tekshirish topshirig‘i berilishi mumkin. Natijada analitik hisoblash va raqamli vizual tekshirish bir butun o‘quv faoliyatiga aylanadi.

3. Mavhum tushunchalarni vizuallashtirish

Mexanikadagi ko‘plab tushunchalar bevosita kuzatish uchun murakkab yoki mavhum xarakterga ega. Masalan, oniy tezlik, tezlanish vektorining yo‘nalishi, koordinataning vaqt bo‘yicha o‘zgarishi yoki trayektoriyaning ma’lum nuqtasidagi harakat yo‘nalishini statik tasvir orqali tushuntirishda o‘quvchida turli xil tasavvurlar paydo bo‘lishi mumkin.

GeoGebra ushbu muammoni dinamik vizuallashtirish orqali qisman bartaraf etadi. Harakatlanuvchi nuqta, uning trayektoriyasi, tezlik vektori va koordinatalarini bitta ishchi oynada ko‘rsatish mumkin. Vaqt parametri o‘zgartirilganda nuqta trayektoriya bo‘ylab siljiydi, shu bilan birga uning koordinatalari va tegishli grafik elementlari ham yangilanadi [2; 4].

Bunday yondashuv “formula — grafik — fizik hodisa” o‘rtasidagi bog‘lanishni kuchaytiradi. O‘quvchi formulani faqat matematik ifoda sifatida emas, balki real fizik jarayonni tavsiflovchi model sifatida qabul qiladi. Masalan, **y = f(x)** ko‘rinishidagi trayektoriya tenglamasi va **x(t), y(t)** parametrik tenglamalari o‘rtasidagi farqni grafik tajriba orqali tushuntirish mumkin.

GeoGebra’da bir nechta trayektoriyani bir koordinata sistemasida taqqoslash ham mumkin. Bunda boshlang‘ich shartlarning o‘zgarishi harakat xarakteriga qanday ta’sir qilishi ko‘rsatiladi. Mazkur usul o‘quvchilarda grafiklarni o‘qish, taqqoslash, sabab-oqibat munosabatlarini aniqlash va matematik model asosida fizik xulosa chiqarish ko‘nikmalarini rivojlantiradi [3].

Shuningdek, GeoGebra asosida interaktiv topshiriqlar yaratish bo‘lajak fizika o‘qituvchilari uchun ham muhim metodik imkoniyatlarni ochadi. Talaba-o‘qituvchi tayyor modeldan foydalanish bilan cheklanmasdan, mustaqil ravishda parametrlarni tanlashi, obyektlar orasidagi bog‘lanishlarni yaratishi va dars mazmuniga mos interaktiv topshiriq ishlab chiqishi mumkin. Bu esa raqamli pedagogik kompetensiyaning muhim tarkibiy qismlaridan biridir.

XULOSA

GeoGebra dasturi yordamida mexanikadagi parametrik tenglamalar va harakat trayektoriyalarini modellashtirish fizik ta’limda matematik, grafik va dinamik tasvirlarni yagona o‘quv muhitida birlashtirish imkonini beradi. Parametrik tenglamalar yordamida jismning harakat qonuniyatlari ifodalanib, slider vositasi orqali boshlang‘ich shartlar va vaqt parametrlarining o‘zgarishi dinamik tarzda namoyish etiladi [1; 3].

Mazkur yondashuvning nazariy ahamiyati mexanik harakatning matematik modelini uning geometrik tasviri bilan uzviy bog‘lashdan iborat. Amaliy jihatdan esa GeoGebra yordamida dars jarayonida interaktiv grafiklar, harakat trayektoriyalari, vektorli modellar va parametrik konstruksiyalar yaratish mumkin [2; 4].

GeoGebra’dan foydalanish bo‘lajak fizika o‘qituvchilarida nafaqat fizik bilimlarni, balki matematik modellashtirish, raqamli vositalardan pedagogik maqsadda foydalanish, grafik axborotni tahlil qilish, fizik hodisalarni vizual izohlash va mustaqil interaktiv ta’lim resurslarini yaratish kompetensiyalarini rivojlantirishga xizmat qiladi.

Shuningdek, mazkur texnologiyadan foydalanish fizika va matematika fanlari integratsiyasini kuchaytiradi. Talaba parametrik tenglamaning matematik tuzilishini, uning grafik ko‘rinishini va fizik mazmunini bir vaqtning o‘zida tahlil qilish imkoniga ega bo‘ladi. Shu sababli GeoGebra’ni mexanika bo‘limini o‘qitish metodikasiga integratsiya qilish zamonaviy raqamli ta’lim muhitida fizik bilimlarni

chuqur va mazmunli o‘zlashtirishni ta’minlovchi istiqbolli pedagogik vositalardan biri sifatida qaralishi mumkin [1; 2].

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

11. Hohenwarter M., Hohenwarter J., Kreis Y., Lavicza Z. GeoGebra – Free Software for Dynamic Mathematics and its Applications. Proceedings of the 11th International Congress on Mathematical Education (ICME-11). Monterrey, Mexico, 2008.

12. Solvang L., Haglund J. How Can GeoGebra Support Physics Education in Upper-Secondary School? A Review. *Physics Education*, 2021, Vol. 56, No. 5, 055011.

13. López Alcalá M. E., Pantoja Rangel R. Prácticas de modelación con Tracker y GeoGebra con situaciones cotidianas para el estudio de las ecuaciones paramétricas. *Revista AMIUTEM*, 2024, Vol. 12, No. 2.

14. Hohenwarter M., Preiner J. Design Guidelines for Dynamic Mathematics Worksheets. *Teaching Mathematics and Computer Science*, 2008, Vol. 6, No. 2, pp. 311–323.

IXTISOSLASHTIRILGAN MAKTABLARDA MEXANIKA MAVZULARINI STEAM - DESIGN THINKING ASOSIDA O‘QITISH: MUAMMODAN MUHANDISLIK YECHIMIGACHA

Davronov Oybek Bozorovich
Qarshi tumani ixtisoslashtirilgan maktabi fizika fani o‘qituvchisi
E-mail: odavronov355@gmail.com

Fizik qonuniyat o‘quvchi ongida real hodisa, texnik qurilma yoki muhandislik muammosi bilan bog‘langanda funksional bilimga aylanadi. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021-yil 19-martdagi PQ-5032-son qarorida fizika ta’limi sifatini oshirish, STEM yo‘nalishidagi faoliyatlarni rivojlantirish va zamonaviy o‘qitish shakllarini joriy etish vazifalari belgilangan [1]. Ixtisoslashtirilgan maktab sharoitida bu talab mexanika qonunlarini faqat formulalar tizimi sifatida emas, balki kuzatish, hisoblash, tajriba va muhandislik qarori orqali o‘zlashtirishni taqozo etadi.

Xorijiy tadqiqotlarda STEM mazmunini Design Thinking bilan birlashtirish kuch, harakat, tezlanish, energiya va ishqalanish kabi fizik tushunchalarni muammoli dizayn vazifalari orqali o‘rganishga imkon berishi ko‘rsatilgan [2]. Design Thinkingning empatiya, muammoni aniqlash, g‘oya yaratish, prototiplash va sinov bosqichlari o‘quvchini tayyor yechimni takrorlovchi emas, balki dalilga asoslangan yechim ishlab chiquvchi subyektga aylantiradi [3].

Mahalliy metodik izlanishlarda ham fizika ta’limining faoliyatli tarkibiga alohida e’tibor qaratilgan. E. B. Maxmanov bo‘lajak muhandislarni tayyorlashda mantiqiy fikrlash kompetensiyalarini takomillashtirish masalasini yoritgan [4]. G. I. Ishmurodova va E. B. Maxmanov fizikadan mantiqiy masalalar yechish ko‘nikmalarini shakllantirish [5], laboratoriya mashg‘ulotlarini innovatsion yondashuv asosida tashkil etish [6] hamda master-klass asosida masala yechish mashg‘ulotlarini yo‘lga qo‘yish [7] masalalarini tadqiq etgan. Ushbu ishlar mantiqiy tahlil, tajriba va faol o‘quv faoliyatining ahamiyatini ko‘rsatadi; biroq mexanika mazmuni, STEAM komponentlari va Design Thinking siklini ixtisoslashtirilgan maktab uchun yagona, o‘lchanadigan dars modeliga birlashtirish ehtiyoji saqlanib qoladi.

Maqolaning maqsadi - mexanika mavzularini o‘qitishda fizik tahlil, mantiqiy muammo yechish, tajriba, muhandislik loyihalash va refleksiyani bitta didaktik siklda birlashtiruvchi STEAM - Design Thinking modelini ishlab chiqish va uni “Yuk ko‘taruvchi ko‘prik modeli” misolida metodik jihatdan asoslash.

Tadqiqot nazariy-metodik xarakterga ega. Unda besh o‘zaro bog‘liq usul qo‘llanildi: birinchidan, STEAM, Design Thinking hamda fizika ta’limida mantiqiy va amaliy faoliyatga doir manbalar mazmuniy tahlil qilindi [2-7]; ikkinchidan, mexanika qonunlari bilan muhandislik dizayni o‘rtasidagi bog‘lanish pedagogik modellashtirildi; uchinchidan, cheklovli real muammo asosida loyiha topshirig‘i

konstruksiyalandi; to‘rtinchidan, loyiha uchun zarur fizik hisob-kitoblar tanlandi; beshinchidan, o‘quvchi natijasini faqat tayyor prototip bilan emas, balki tushunish, tajriba, g‘oya va refleksiya orqali baholovchi mezonlar ishlab chiqildi.

1-jadval. Mexanika darsida STEAM - Design Thinking bosqichlari

Bosqich	Design Thinking funksiyasi	Fizik-muhandislik mazmuni	O‘quvchi mahsuloti
1. Muammoni anglash	Empatiya va kontekst	Real texnik ehtiyoj, cheklovlar, xavfsizlik va muvaffaqiyat mezonlari	Muammo kartasi va savollar
2. Fizik tahlil	Muammoni aniqlash	Kuchlar, og‘irlik, tayanch reaksiyasi, ΣF = 0, ΣM = 0	Kuchlar diagrammasi va gipoteza
3. G‘oya va loyihalash	G‘oya yaratish	Bir nechta konstruktiv variant, material sarfi, barqarorlik	Eskiz, variantlar taqqoslanishi va dastlabki hisob
4. Prototiplash	Prototip	Modelni xavfsiz va arzon materiallardan yig‘ish	Ishchi prototip va qaror jurnali
5. Tajriba-sinov	Sinov	Yuklash, o‘lchash, deformatsiya va buzilish joyini kuzatish	Tajriba jadvali, grafik va dalillar
6. Takomillashtirish	Iteratsiya va refleksiya	Xato sababi, fizik izoh va qayta loyihalash	Takomillashtirilgan yechim va refleksiya

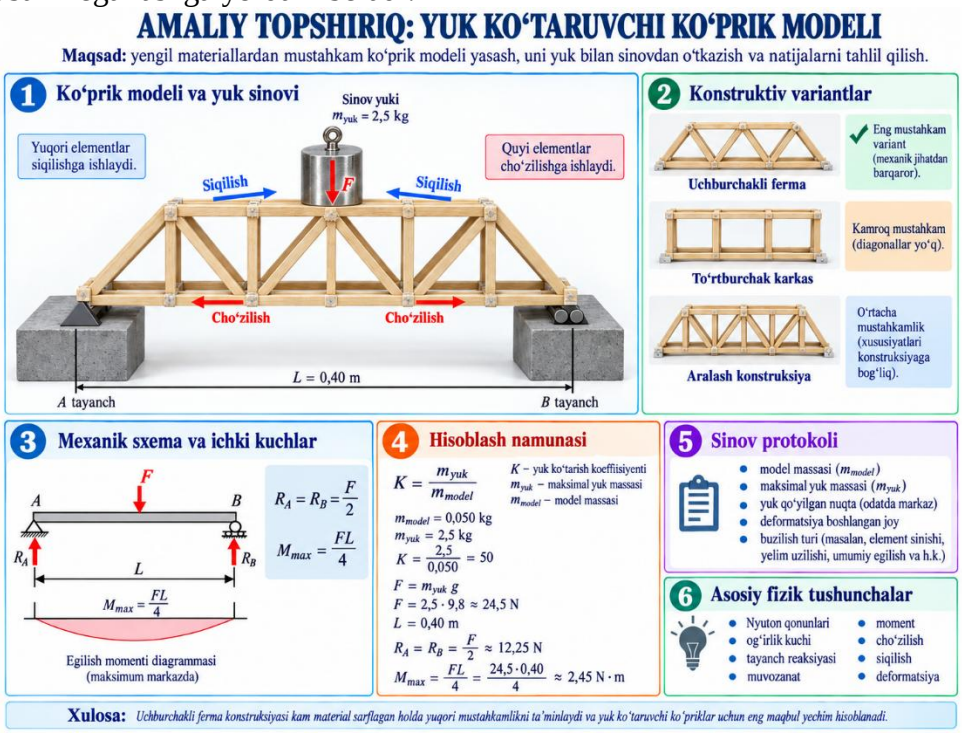
Muammo quyidagicha qo‘yiladi: “Cheklangan va xavfsiz materiallardan foydalanib, o‘z massasiga nisbatan imkon qadar katta yukni ko‘tara oladigan yengil ko‘prik modelini qanday yaratish mumkin?” O‘qituvchi ko‘prik oralig‘ini, foydalanish mumkin bo‘lgan materiallar miqdorini va sinov qoidalarini oldindan belgilaydi. Guruhlar uchburchakli ferma, to‘rtburchak karkas yoki aralash konstruksiya variantlarini ishlab chiqadi, ularni fizik dalillar bilan taqqoslaydi va bitta variantni prototiplash uchun tanlaydi.

Sinov protokolida model massasi m_{model}, maksimal yuk massasi m_{yuk}, yuk qo‘yilgan nuqta, deformatsiya boshlangan joy va buzilish turi qayd etiladi. Konstruktiv samaradorlik $K = m_{yuk} / m_{model}$ orqali, yuk kuchi esa $F = m_{yuk}g$ orqali hisoblanadi. Masalan, $m_{model} = 0{,}050$ kg bo‘lgan model $m_{yuk} = 2{,}5$ kg yukni ko‘tarsa, $K = 50$ va $g = 9{,}8$ m/s² qabul qilinganda $F \approx 24{,}5$ N bo‘ladi.

Ko‘prik ikki tayanchli va yuk markazga qo‘yilgan sodda model sifatida qaralganda tayanch reaksiyalari $R_A = R_B = F/2 \approx 12{,}25$ N, eng katta eguvchi moment esa $M_{max} = FL/4$ formula bilan aniqlanadi. $L = 0{,}40$ m bo‘lsa, $M_{max} \approx 2{,}45$ N·m. O‘quvchi nazariy jihatdan eng katta zo‘riqish kutiladigan sohani amaldagi deformatsiya yoki buzilish joyi bilan solishtiradi. Tafovut paydo bo‘lsa, elim birikmalari, elementlar geometriyasi, materialning notekisligi yoki yukning markazdan siljishi kabi sabablarni tahlil qiladi.

Bu topshiriqda Nyuton qonunlari, og‘irlik kuchi, tayanch reaksiyasi, muvozanat, moment, cho‘zilish, siqilish va deformatsiya tushunchalari yagona muhandislik vazifasida qo‘llanadi. Mantiqiy masala yechish [5] va laboratoriya faoliyatini innovatsion tashkil etish [6] bilan bog‘liq metodik yondashuvlar loyiha jarayonida kuchlar diagrammasi, tajriba protokoli va dalilga asoslangan xulosalar shaklida namoyon

bo‘ladi. Master-klassga xos qisqa namoyish va yo‘naltiruvchi savollar [7] esa o‘quvchiga tayyor yechimni bermasdan, zarur usulni egallashga yordam beradi.



Loyiha faoliyatini baholashda faqat ko‘prikning qancha yuk ko‘targani yetarli mezon emas. Kuchli prototip noto‘g‘ri fizik izoh asosida yaratilishi, aksincha, muvaffaqiyatsiz prototip to‘g‘ri tahlil va sifatli refleksiya uchun manba bo‘lishi mumkin. Shu sababli baholash to‘rtta mezon bo‘yicha 0-3 ball oralig‘ida amalga oshiriladi.

2-jadval. STEAM - Design Thinking loyihasi uchun baholash rubrikasi

Mezon	3 ball	2 ball	1 ball	0 ball
Kognitiv	Qonunlarni to‘g‘ri qo‘llaydi va asoslaydi	Asosan to‘g‘ri, mayda xato bor	Formula bor, fizik izoh sust	Asoslay olmaydi
Faoliyatli-amaliy	Tajriba rejasini mustaqil tuzadi, aniq o‘lchaydi	Yo‘naltirish bilan to‘g‘ri bajaradi	Jarayonda jiddiy xatolar mavjud	Tajriba bajarilmagan
Muammoli-ijodiy	Kamida 2 variantni dalil bilan taqqoslaydi	Bitta asoslangan yechim beradi	Yechim bor, dalil yetarli emas	Yechim taklif qilmaydi
Refleksiv	Xato sababini fizik tahlil qilib modelni yaxshilaydi	Xatoni aniqlaydi, qisman takomillashtiradi	Umumiy xulosa beradi	Refleksiya yo‘q

Umumiy maksimal natija 12 ballni tashkil etadi: 10-12 ball - yuqori, 7-9 ball - o‘rta, 0-6 ball - boshlang‘ich/past daraja. Guruhli loyiha sharoitida yakuniy bahoga individual hissa varag‘i ham qo‘shilishi maqsadga muvofiq: har bir o‘quvchi o‘z vazifasi, bajargan hisobi, kuzatuvi va taklifini qisqa qayd etadi.

Metodikaning haqiqiy samaradorligi alohida tajriba-sinov tadqiqotida tekshirilishi lozim. Bunda boshlang‘ich va yakuniy konseptual topshiriqlar, mazkur 12 ballik rubrika, tajriba protokollari va o‘quvchi refleksiyasi birgalikda tahlil qilinishi mumkin. Mazkur maqolada empirik tajriba natijalari keltirilmagan; taklif etilgan model keyingi pedagogik tajriba-sinov uchun metodik asos sifatida taqdim etiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021-yil 19-martdagi “Fizika sohasidagi ta’lim sifatini oshirish va ilmiy tadqiqotlarni rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-5032-son qarori. – www.lex.uz.

2. Simeon M. I., Samsudin M. A., Yakob N. Effect of design thinking approach on students’ achievement in some selected physics concepts in the context of STEM learning // International Journal of Technology and Design Education. – 2022. – Vol. 32. – P. 185–212. DOI: 10.1007/s10798-020-09601-1.

3. Brown T. Change by Design: How Design Thinking Transforms Organizations and Inspires Innovation. – New York: HarperCollins, 2009.

4. Махманов Э. Б. Бўлажак муҳандисларни тайёрлашда мантиқий фикрлаш компетенцияларини такомиллаштириш // Наманган давлат университети. – 2021. – Т. 1. – Б. 581.

5. Ишмуродова Г. И., Махманов Э. Б. Талабаларнинг физикадан мантиқий масалалар ечиш кўникмаларини шакллантириш // Замонавий таълим. – 2020. – № 3. – Б. 16–23.

6. Ишмуродова Г. И., Махманов Э. Б. Физика фанидан лаборатория машғулотларини инновацион ёндашув асосида ўтказиш // Современное образование (Узбекистан). – 2019. – № 8 (81). – Б. 16–22.

7. Ишмуродова Г. И., Махманов Э. Б. Мастер-класс асосида физикадан масалалар ечиш машғулотларини ташкил қилиш // Современное образование (Узбекистан). – 2020. – № 10 (95). – Б. 11–17.

RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR ASOSIDA FIZIKA FANIDAN STEAM O‘QUV RESURSLARI VA ELEKTRON TA’LIM VOSITALARINI YARATISH IMKONIYATLARI

DEHQONOVA OXISTAXON QOSIMJONOVNA
p.f.b.f.d(PhD), Farg‘ona davlat universiteti

Zamonaviy fizik ta’lim paradigmasi axborotni passiv uzatishdan o‘quvchining faol kognitiv faoliyatiga asoslangan bilim olish modeliga o‘tishni taqozo etadi. STEAM yondashuvi doirasida raqamli texnologiyalar shunchaki ko‘rgazmalilik vositasi emas, balki o‘quv jarayonining gnoseologik va didaktik asoslarini o‘zgartiruvchi kognitiv vositalar sifatida qaralishi lozim. Ular fundamental fizik nazariyalar (Science), matematik abstraksiyalar (Mathematics), muhandislik yechimlari (Engineering) va raqamli modellashtirish (Technology) o‘rtasidagi dialektik aloqadorlikni o‘quvchi ongida vizual va interfaol tarzda gavdalantirish imkonini beradi.

Fizika o‘qitish metodikasidagi fundamental gnoseologik to‘siqlardan biri — makrodunyoda bevosita kuzatiladigan hodisalar (fenomenologiya) va ularning mikrodunyodagi ko‘rinmas sabablari (mohiyat) o‘rtasidagi “kognitiv bo‘shliq”dir. O‘quvchi ampermetr strelkasining og‘ishini ko‘radi (makro-natija), biroq o‘tkazgich ichidagi zaryad tashuvchilarning tartibli harakatini (mikro-sabab) tasavvur eta olmaydi. An’anaviy statik modellar, chizmalar va formulalar bu mavhumlikni yengishda ko‘pincha ojizlik qiladi. Quyida ushbu muammoni hal etuvchi raqamli didaktik ekotizimning asosiy komponentlari tahlil qilinadi.

1. Interfaol simulyatsion muhitlar va mental modellarni shakllantirish

Ushbu yo‘nalishning “oltin standarti” sifatida Kolorado universiteti ishlab chiqqan PhET (Physics Education Technology) platformasini e’tirof etish lozim. PhET o‘quvchiga idealizatsiya qilingan virtual muhitda fizik jarayon parametrlarini real vaqt rejimida o‘zgartirish va natijani darhol ko‘rish imkonini

berish orqali yuqorida ta’kidlangan kognitiv bo‘shliqqa “raqamli ko‘prik” qo‘yadi. Uning didaktik samaradorligi quyidagi jihatlarda namoyon bo‘ladi:

kognitiv vizualizatsiya (Science & Art) — mavhum nazariy konstruktlar (kvant sonlar, to‘lqin funksiyasi, maydon potensiali) dinamik obyektlarga aylantiriladi. Bu kognitiv psixologiyadagi “ikki tomonlama kodlash” nazariyasiga mos keladi: axborot ham vizual, ham verbal kanallar orqali qabul qilinib, xotirada mustahkamroq saqlanadi;

inkviriv ta’lim (Science & Technology) — simulyatsiya tayyor javob bermaydi, balki idealizatsiya qilingan laboratoriya vazifasini bajaradi. Parametrik boshqaruv imkoniyati o‘quvchiga real hayotda ajratib olish qiyin bo‘lgan kattaliklarni (fotoeffektda yorug‘lik intensivligi va chastotasini, Kulon qonunida zaryad va masofani) mustaqil ravishda variativ o‘zgartirishga imkon beradi;

matematik abstraksiyani jonlantirish (Mathematics & Science) — simulyatsiya fizik hodisa va uning matematik modeli o‘rtasida semantik vositachi rolini o‘ynaydi. O‘quvchi slayder orqali kuchni o‘zgartirganda tezlanishning vizual o‘zgarishini va grafik qiymatlar dinamikasini bir vaqtda kuzatadi, natijada F = ma formulasidagi har bir harf ortida real fizik ma’no yotgani intuitiv darajada anglanadi;

“xavfsiz muvaffaqiyatsizlik” muhiti (Engineering & Technology) — virtual konstruktor rejimida qimmatbaho asbobni kuydirib qo‘yish qo‘rquvi yo‘qoladi; xato ta’lim jarayonining tabiiy qismiga aylanadi va iterativ muhandislik dizayni tafakkurini shakllantiradi.

2. Autentik ilmiy va muhandislik amaliyotiga o‘tish

Bugungi kunda didaktik tizim PhETning bazaviy imkoniyatlaridan interfaol muhitlarning yanada murakkab va autentik avlodiga o‘tishni taqozo etmoqda. PhETdagi sxematik modellar o‘rnini Labster kabi fotorealistik 3D virtual laboratoriyalar egallamoqda: uskunalar (mikroskoplar, sentrifugalar, lazerlar, spektrometrlar) hayotdagidek ko‘rinishga ega bo‘ladi va o‘quvchi o‘zini haqiqiy tadqiqotchi sifatida his qiladi.

Masalan, 7-sinfda “Zichlik va Arximed kuchi” mavzularidan so‘ng o‘quvchi bojxona ekspert-kriminalisti rolida musodara qilingan tojning massasi va siqib chiqarilgan suv hajmini o‘lchab, $\rho = \frac{m}{v}$ bo‘yicha hisoblaydi va natijani metallar zichligi jadvali bilan solishtiradi.

9-sinfda esa u NASA muhandisi sifatida Marsdagi rover missiyasini boshqaradi: sirt holatini tahlil qilib, eng katta ishqalanish kuchini beruvchi g‘ildirak qoplamasini tanlaydi va massani o‘zgartirish orqali normal bosimni rostlab (F = μN), roverni kraterdan chiqaradi. Bunday kontekstual topshiriqlar fizik qonunni o‘rganishni real muammo yechish faoliyatiga aylantiradi.

3. Virtual konstruktorlar va kompleks modellashtirish muhitlari

Agar PhET tipidagi simulyatsiyalar mavjud qonuniyatlarni tadqiq qilishga yo‘naltirilgan bo‘lsa, virtual konstruktorlar Crocodile Physics, Yenka, TinkerCAD Circuits, Algodoo, Falstad Circuit Simulator o‘quvchini “Bilim iste’molchisi” maqomidan “Loyihalovchi” va “Tadqiqotchi-muhandis” maqomiga o‘tkazadi hamda fizik bilimlarning analitik bosqichidan sintetik bosqichiga o‘tishini ta’minlaydi.

Bu muhitlarda o‘quvchi tizimli fikrlashning yuqori darajasiga ko‘tariladi: alohida rezistorning funksiyasini emas, uning zanjirdagi kondensator va tranzistorga ta’sirini dinamikada tushunadi hamda tizim xossasi uning qismlari xossalarining oddiy yig‘indisi emasligini, emergentlikni kashf etadi. Masalan, alohida olingan g‘altak (L) va kondensator (C) tebranmaydi, biroq ular birikkanda tebranish konturi hosil bo‘ladi. Falstad simulyatorida oqim yo‘nalishlari rangli strelkalar, kuchlanish darajalari esa rang gradienti bilan ko‘rsatilib, *p–n* o‘tishlardagi diffuziya, dreyf va rekombinatsiya jarayonlari real vaqt rejimida vizuallashtiriladi. O‘quvchi tranzistor bazasidagi kichik tok o‘zgarishi (mikro-sabab) chiqish ossillogrammasi shakliga (makro-natija) qanday ta’sir qilishini vaqt domenida bevosita kuzatadi.

Hisoblash tafakkurini integratsiya qilishning eng oliy darajasi o‘quvchining tayyor resurs iste’molchisidan mustaqil model yaratuvchiga aylanishidir. GlowScript (VPython) kabi veb-asosli dasturlash muhitlarida o‘quvchi Nyuton qonunlarini matematik formulalarga, formulalarni esa algoritm va

dasturiy kodga o‘girib, o‘zining interfaol 3D simulyatsiyasini yaratadi va o‘z kodidagi parametrlarni o‘zgartirish orqali virtual eksperiment o‘tkazadi.

4. Dinamik matematik modellashtirish muhitlari (GeoGebra)

An’anaviy ta’limda fizik hodisa va uning matematik modeli ko‘pincha ajralib qoladi: fizika darsida hodisa tushuntiriladi, matematika darsida esa mavhum funksiyalar o‘rganiladi. GeoGebra (va Desmos kabi analoglar) ushbu uzilishni bartaraf etuvchi didaktik mediator vazifasini bajarib, algebra, geometriya, matematik analiz va raqamli hisoblashlarni yagona interfaol makonda birlashtiradi.

Gorizontga burchak ostida otilgan jism harakatini o‘rganishda o‘quvchi an’anaviy doskada faqat statik trayektoriyani ko‘radi. GeoGebrada esa boshlang‘ich burchak (α) yoki boshlang‘ich tezlik (v_0) slayderini surganda u bir vaqtning o‘zida uch xil reprezentatsiya o‘zgarishini kuzatadi: trayektoriyaning geometrik shakli, harakat tenglamalari koeffitsientlari hamda tezlik proyeksiyalarining vaqtga bog‘liqlik grafiklari va energiya diagrammalari. Bu “reprezentativ ravonlik” bir xil axborotni verbal, grafik va analitik shakllarda taqdim eta olish hamda ular o‘rtasida erkin o‘tish qobiliyatini shakllantiradi va kognitiv yuklamani kamaytiradi. Bundan tashqari, GeoGebraning jadval va iterativ hisoblash imkoniyatlari havo qarshiligi mavjud harakat kabi analitik yechimi murakkab masalalarni Eyler usuli bilan qadamma-qadam modellashtirishga, ya’ni hisoblash fizikasi elementlarini o‘quv jarayoniga kiritishga imkon beradi.

5. Immersiv kognitiv muhitlar: VR va AR laboratoriyalari

Immersiv texnologiyalarning didaktik kuchi apparat ta’minotida emas, balki ular yaratadigan psixologik holat “Mavjudlik effekti”dadir. Stereoskopik ko‘rish, boshning harakatini kechikishsiz kuzatish va fazoviy ovoz uyg‘unligi vestibulyar hamda vizual tizimlar o‘rtasidagi ziddiyatni yo‘qotib, miya virtual tajribani real tajriba sifatida qayta ishlashiga olib keladi. Natijada tashqi chalg‘ituvchi omillar bloklanadi va kognitiv resurslar faqat o‘rganilayotgan obyektga yo‘naltiriladi.

Bu samarani J. Sveller ishlab chiqqan kognitiv yuklama nazariyasi asosida izohlash mumkin. An’anaviy ta’limda ishchi xotiraning katta qismini tashqi (extraneous) yuklama tushunarsiz matn, noqulay interfeys, atrofdagi shovqin egallaydi. Immersiv muhit tashqi yuklamani keskin kamaytiradi; ichki (intrinsic) yuklama o‘zgarishsiz qolgani holda bo‘shagan resurslar bog‘liq (germane) yuklamaga, ya’ni mental sxemalarni qurishga sarflanadigan foydali aqliy mehnatga yo‘naltiriladi.

VR/AR shuningdek masshtablash muammosini yechadi: o‘quvchi atom yadrosi ichiga “kirib”, s-, p-, d-orbitallarning fazoviy shakllarini kuzatishi yoki Quyosh tizimi modelida sayyoralar massasini o‘zgartirib, orbitalar shakli qanday o‘zgarishini real vaqtda ko‘rishi mumkin. “Mujassamlashgan bilish” tamoyiliga ko‘ra kinestetik kanal faollashadi: taktil qayta aloqa qurilmalari yordamida o‘quvchi Amper kuchining qarshiligini yoki virtual gaykani burash orqali richag uzunligining kuch momentiga ta’sirini tanasi orqali his qiladi. Nihoyat, VR “imkonsiz eksperimentlar”ni yadro reaktori ichidagi tajriba, vaznsizlikda suyuqliklar dinamikasi, ishqalanishsiz sirtda Nyuton qonunlarini tekshirish xavfsiz kontekstda o‘tkazish imkonini beradi.

6. O‘quvchi faoliyatini raqamli baholash va ta’lim analitikasi

An’anaviy testologiya asosan faktologik bilimlarni tekshiradi va STEAM uchun hal qiluvchi jarayonli kompetensiyalarni muammo yechish algoritmi, tanqidiy fikrlash, iterativ muhandislik yondashuvi, kreativlik baholashda ojizlik qiladi. Raqamli muhit esa o‘quvchining har bir harakatini: parametrlarni qanday ketma-ketlikda o‘zgartirgani, qancha vaqt o‘ylangani va qanday tipik xatolarga yo‘l qo‘yganini “raqamli izlar” sifatida qayd etadi.

Ushbu ma’lumotlarni intellektual tahlil qilish o‘qituvchiga o‘quvchining nafaqat nimani bilmasligini, balki nima uchun tushunmayotganini aniqlash imkonini beradi. Bu summativ baholashdan formativ va diagnostik baholashga o‘tishning texnologik poydevoridir. Sun’iy intellekt elementlariga ega tizimlar esa individual ta’lim traektoriyasini taklif etadi: qiynalayotgan o‘quvchiga tayanch tushunchalarni mustahkamlovchi qo‘shimcha topshiriq, kuchli o‘quvchiga murakkabroq muhandislik masalasi beriladi.

1-jadval. Fizika ta’limida raqamli STEAM ekotizimining tarkibiy qismlari

Vosita turi	Namunaviy platformalar	Yetakchi didaktik funksiyasi
Interfaol simulyatsiyalar	PhET, Labster	Kognitiv vizualizatsiya, mental modelni shakllantirish, inkviriv tadqiqot
Virtual konstruktorlar	Crocodile Physics, Yenka, Falstad, TinkerCAD	Muhandislik dizayni, tizimli fikrlash, “xavfsiz muvaffaqiyatsizlik”
Dinamik matematik muhitlar	GeoGebra, Desmos	Fizik-matematik sintez, reprezentativ ravonlik, hisoblash fizikasi
Immersiv muhitlar	VR/AR laboratoriyalari	Mavjudlik effekti, kinestetik o‘rganish, masshtablash
Dasturlash muhitlari	GlowScript (VPython)	Hisoblash tafakkuri, model yaratuvchilik
Baholash tizimlari	LMS, ta’lim analitikasi	Formativ diagnostika, adaptiv ta’lim traektoriyasi

Xulosa

Yuqorida tahlil qilingan raqamli texnologiyalar majmuasi fizika fanini o‘qitishning yaxlit, STEAM-orientirlangan raqamli ekotizimini tashkil etadi. Ayni paytda bu vositalar o‘z-o‘zidan ta’lim sifatini oshirmaydi, ular pedagogik jarayonning katalizatorlaridir. Ularning samaradorligi aniq didaktik maqsadlarga bo‘ysundirilganda hamda muammoli o‘qitish, loyihaviy ta’lim va tadqiqotchilikka asoslangan ta’lim bilan integratsiyalashgandagina namoyon bo‘ladi.

Raqamli texnologiyalar fizika o‘qituvchisining rolini ham tubdan o‘zgartiradi. “Bilimlar translyatori” funksiyasidan raqamli ta’lim muhitining pedagogik dizayneri, o‘quvchilarning tadqiqot va loyihaviy faoliyatining mentori hamda fasilitatori darajasiga ko‘tarilishni taqozo etadi. Bu esa fizika ta’limi metodikasida reproduktiv yondashuvdan produktiv, kreativ va kompetensiyaviy yondashuvga o‘tishning texnologik va metodik asosidir.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Wieman C.E., Adams W.K., Perkins K.K. PhET: Simulations that enhance learning // Science. – 2008. – Vol. 322, № 5902. – P. 682–683.
2. Sweller J., Ayres P., Kalyuga S. Cognitive Load Theory. – New York: Springer, 2011. – 274 p.
3. Mayer R.E. Multimedia Learning. 3rd ed. – Cambridge: Cambridge University Press, 2021. – 400 p.
4. Hohenwarter M., Fuchs K. Combination of dynamic geometry, algebra and calculus in the software system GeoGebra // Computer Algebra Systems and Dynamic Geometry Systems in Mathematics Teaching. – 2004. – P. 128–133.
5. Radianti J., Majchrzak T.A., Fromm J., Wohlgenannt I. A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education // Computers & Education. – 2020. – Vol. 147. – 103778.

FIZIKA FANINI O‘QITISHDA INTERAKTIV SIMULYATSIYA, RAQAMLI TAJRIBA VA SUN’IY INTELLEKTNI INTEGRATSIYALASHNING METODIK MODELI

Dehqonova Oxistaxon Qosimjonovna
Farg‘ona davlat universiteti Fizika kafedrasi dotsenti, p.f.b.f.d. (PhD)
Rasulov Shohruh Mo‘sinjon o‘g‘li
Farg‘ona davlat universiteti “Fizika” mutaxassisligi 2-bosqich magistranti
e-mail: dehqonova86@bk.ru

Fizika fanini o‘qitishning asosiy qiyinchiliklaridan biri shundaki, ko‘plab fizik hodisalar juda tez, juda kichik miqyosda yoki bevosita kuzatish imkoni bo‘lmagan sharoitlarda sodir bo‘ladi. Bunga maktab laboratoriyalarining jihozlanish darajasi, o‘quvchilar tayyorgarligidagi farqlar va raqamli vositalarning ko‘pincha aniq pedagogik maqsadsiz qo‘llanishi qo‘shiladi. Xalqaro tadqiqotlar ham texnologiyadan foydalanish miqdorining o‘zi ta’lim natijalarini kafolatlamasligini, hal qiluvchi omil uning qanday maqsadda qo‘llanishi ekanligini ko‘rsatadi [1].

So‘nggi yillarda generativ sun’iy intellekt vositalarining ta’limga kirib kelishi yangi imkoniyatlar bilan birga yangi xavflarni ham yuzaga keltirdi: o‘quvchi tayyor javobga tayanib qolishi, noto‘g‘ri yoki manbasiz ma’lumotni tekshirmasdan qabul qilishi mumkin [4, 6]. Shu sababli ushbu tadqiqotning maqsadi – simulyatsiya, raqamli tajriba va SI vositalarini o‘quvchining faol fikrlash faoliyatiga bo‘ysundiruvchi yaxlit metodik modelni ishlab chiqishdan iborat.

Fizika ta’limidagi muammolar va ularning raqamli yechimlari

Tahlil natijasida fizika ta’limidagi asosiy muammolar va ularni bartaraf etishga xizmat qiluvchi raqamli vositalar tizimlashtirildi (1-jadval). Jadvalning asosiy g‘oyasi shundaki, har bir vosita aniq bir metodik muammoga javob sifatida tanlanishi kerak, aksincha emas.

1-jadval. Fizika ta’limidagi muammolar va ularga mos raqamli vositalar

Muammo	Raqamli vosita	Metodik funksiyasi
Mikro- va makrojarayonlarni bevosita kuzatib bo‘lmasligi	PhET interaktiv simulyatsiyalari	Ko‘rinmas jarayonlarni vizuallashtirish, parametrlarni o‘zgartirib sabab-oqibatni tekshirish
Laboratoriya jihozlarining yetishmasligi	Raqamli laboratoriya, datchiklar, virtual tajriba	O‘lchash, ma’lumot yig‘ish, xavfli va qimmat tajribani xavfsiz o‘tkazish
Hisoblash va tahlil ko‘nikmalarining sustligi	Elektron jadval, Python dasturlari	Algoritmlashtirish, jadval va grafik asosida tahlil, xatolikni baholash
Tayyorgarlik darajasining turlichaligi	Adaptiv platformalar, SI yordamchisi	Topshiriqlarni tabaqalashtirish, individual tushuntirish
Tayyor javobga tayanish xavfi	SI javobini tekshirish topshiriqlari	Tanqidiy fikrlash, natijani fizik qonun va birliklar orqali asoslash

PhET simulyatsiyalarining samaradorligi bir qator tadqiqotlarda tasdiqlangan. Xususan, elektr zanjirlari mavzusida real jihozlar o‘rniga simulyatsiyadan foydalangan talabalar konseptual savollarda va real zanjirni yig‘ishda yaxshiroq natija ko‘rsatgan [7]. Shu bilan birga, mualliflar simulyatsiya samarasi uning aniq o‘quv maqsadi va yo‘naltiruvchi savollar bilan qo‘llanishiga bog‘liqligini ta’kidlaydi [2, 3]. Bu R. Mayerning multimedia orqali o‘qitish nazariyasiga ham mos keladi: vizual va og‘zaki axborot uyg‘unlashganda, ortiqcha elementlar esa olib tashlanganda o‘zlashtirish yaxshilanadi [5].

Sun’iy intellektdan foydalanishning metodik tamoyillari

SI fizika darsida “tayyor javob beruvchi” emas, balki o‘quvchi fikrlashini qo‘llab-quvvatlovchi yordamchi vosita sifatida qo‘llanishi lozim. UNESCO tavsiyalarida ham o‘quvchilar va o‘qituvchilarning SI kompetensiyalari tarkibida SI natijalarini tanqidiy baholash ko‘nikmasi alohida ajratilgan [4, 6]. Buni amalda so‘rov (prompt) madaniyati orqali ta’minlash mumkin. Masalan, “Ushbu masalani yechib ber” degan so‘rov o‘rniga o‘quvchiga “Bu masalada qaysi fizik qonunlardan foydalanish kerak va nima uchun?”, “Mening yechimimdagi xatoni topmasdan, qaysi qadamni tekshirishim kerakligini ko‘rsat” kabi so‘rovlar tuzish o‘rgatiladi. SI bergan har qanday javob uchta mezon bo‘yicha tekshiriladi: fizik formulaga va birliklar o‘lchamligiga mosligi, tajriba yoki simulyatsiya natijasiga mosligi hamda ishonchli manba bilan tasdiqlanishi. Bunda akademik halollik, shaxsiy ma’lumotlar xavfsizligi va vositaning o‘quvchi yoshiga mosligiga ham e’tibor qaratiladi.

Taklif etilayotgan metodik model va uning tadbiqi

Yuqoridagi tamoyillar asosida yetti bosqichli metodik model ishlab chiqildi. Modelda o‘qituvchi pedagogik dizayner va nazoratchi, o‘quvchi faol tadqiqotchi, raqamli vositalar va SI esa yordamchi vosita vazifasini bajaradi. Model bosqichlarining erkin tushish mavzusidagi tadbiqi 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval. Metodik model bosqichlari va ularning “Erkin tushish” mavzusidagi tadbiqi

Bosqich	O‘quvchi faoliyati (erkin tushish misolida)	Vosita
1. Fizik muammo	$h = 20\ m$ balandlikdan tashlangan jismning tushish vaqtini aniqlash	Hayotiy vaziyat, savol
2. Fizik model	Havo qarshiligini hisobga olmaslik, $v_0=0$; $h=gt^2/2$ bog‘lanishini tanlash	Doska, daftar
3. Algoritm va ma’lumot	t ning $0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0\ s$ qiymatlari uchun h ni hisoblash algoritmi va jadvalini tuzish	Excel / Google Sheets
4. Raqamli modellashtirish	$h(t)$ grafigini qurish, simulyatsiyada balandlik va massani o‘zgartirib kuzatish	PhET simulyatsiyasi
5. SI yordamida tahlil	“Nega tushish vaqti massaga bog‘liq emas?” savoliga SI tushuntirishini olish va uni muhokama qilish	SI yordamchisi
6. Tekshiruv	Nazariy natija $t = \sqrt{(2h/g)} \approx 2,02\ s$ ni tajriba va SI javobi bilan solishtirish, xatolikni baholash	Raqamli laboratoriya
7. Fizik xulosa	Natijani umumlashtirish, havo qarshiligi ta’siri haqida yangi savol qo‘yish	Refleksiya

Modelning muhim xususiyati – oltinchi bosqichdagi tekshiruvdir. Unda o‘quvchi elektron jadvaldagi natija ($t = 2,0\ s$ da $h = 19,6\ m$), analitik yechim ($t \approx 2,02\ s$) va SI bergan javobni o‘zaro solishtiradi. Agar SI javobida xato bo‘lsa (masalan, birliklar noto‘g‘ri ko‘rsatilgan bo‘lsa), o‘quvchi uni fizik qonun asosida o‘zi aniqlaydi. Dars yakunidagi refleksiya uchta savol asosida o‘tkaziladi: “Nimani o‘rgandim?”, “Qaysi bosqichda texnologiya yordam berdi?”, “Natijani qaysi fizik qonun tasdiqlaydi?”

Xulosa

Fizika ta’limida raqamli texnologiyalarning samaradorligi ularning soni bilan emas, balki pedagogik maqsadga muvofiq tanlanishi va o‘quvchini faol fikrlashga jalb etishi bilan belgilanadi. Taklif etilgan yetti bosqichli model fizik mazmunni asosiy o‘rinda saqlagan holda informatika vositalari orqali algoritmlashtirish va ma’lumotlar bilan ishlash ko‘nikmalarini, SI javoblarini tekshirish orqali esa tanqidiy

fikrlashni rivojlantiradi. Modelni umumiy o‘rta ta’lim maktablari va akademik litseylarda mexanika, elektr va optika bo‘limlarini o‘qitishda qo‘llash tavsiya etiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. OECD. Technology use at school and students’ learning outcomes: exploring the relationship with new data from Germany // OECD Education Spotlights. – No. 17. – Paris: OECD Publishing, 2024.
2. Perkins K., Adams W., Dubson M., Finkelstein N., Reid S., Wieman C., LeMaster R. PhET: Interactive Simulations for Teaching and Learning Physics // The Physics Teacher. – 2006. – Vol. 44, No. 1. – P. 18–23.
3. Wieman C.E., Adams W.K., Loeblein P., Perkins K.K. Teaching Physics Using PhET Simulations // The Physics Teacher. – 2010. – Vol. 48. – P. 225–227.
4. UNESCO. AI Competency Framework for Students. – Paris: UNESCO, 2024.
5. Mayer R.E. Multimedia Learning. 2nd ed. – Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
6. UNESCO. Guidance for Generative AI in Education and Research. – Paris: UNESCO, 2023.
7. Finkelstein N.D., Adams W.K., Keller C.J., Kohl P.B., Perkins K.K., Podolefsky N.S., Reid S., LeMaster R. When Learning About the Real World is Better Done Virtually: A Study of Substituting Computer Simulations for Laboratory Equipment // Physical Review Special Topics – Physics Education Research. – 2005. – Vol. 1. – 010103.

VODOROD ATOMI SPEKTRLARINING SPEKTRAL TAHLILI VA UNING KVANT-MEXANIK ASOSLARINI O’QITISHDA O’QUV MATERIALLARINI TARKIBLASHTIRISH

G.S.Uzokova[1], J.N.Xo‘jamberdiyeva[2] , Sh. D.Dilmurodov[3], K.A.Nurullayev[4]
Qarshi davlat universiteti Umumiy fizika kafedrasi
1.professori,2.katta o’qituvchisi 3.o‘qituvchi 4.talaba

Annotatsiya. Vodorod atomi spektrlarining spektral tahlili va kvant-mexanik asoslarini o‘qitishda o‘quv materiallarini tarkiblashtirishning metodik modeli yoritiladi. Tajriba dalili, empirik qonuniyat, Bor modeli va kvant-mexanik talqin o‘rtasidagi uzviylik asoslanadi. Nazariy bilimni vodorod atomining spektral tasviri, energetik diagramma, hisoblash va raqamli vizualizatsiya bilan integratsiyalash yo‘llari ko‘rsatiladi.

Kalit so‘zlar: *vodorod atomi, spektral tahlil, Balmer seriyasi, Ridberg formulasi, Bor modeli, energetik sath, Shredinger tenglamasi, kvant sonlari, tarkiblashtirish.*

KIRISH

Vodorod atomining chiziqli spektri kvant fizikasining shakllanishida hal qiluvchi ahamiyatga ega bo‘lgan tajribaviy dalillardan biridir. Uning spektral chiziqlari atom energiyasining diskretligini, elektromagnit nurlanish esa energetik sathlar o‘rtasidagi o‘tishlar bilan bog‘liqligini ko‘rsatadi. Shu bois mazkur mavzu umumiy fizika, atom fizikasi va kvant mexanikasi kurslari o‘rtasidagi muhim mazmuniy bog‘lovchi hisoblanadi.

O‘qitish amaliyotida mavzu ba’zan Balmer formulasini yodlash, spektral seriyalarni teksirish va Bor postulatlarini bayon qilish bilan cheklanadi. Bunday yondashuv spektral chiziqning kelib chiqishi, foton energiyasi va energetik o‘tishlar orasidagi bog‘lanishni to‘liq anglashga imkon bermaydi. Shuning uchun o‘quv materiali tajriba dalili – empirik qonuniyat – fizik model – kvant-mexanik talqin – amaliy qo‘llanish ketma-ketligida tarkiblashtirilishi lozim.

Maqsadimiz vodorod atomi spektrini o‘qitishda asosiy mazmuniy birliklarni aniqlash hamda ularni talabaning nazariy, hisoblash va tahliliy faoliyati bilan uyg‘unlashtiruvchi qisqa didaktik tuzilmani taklif etishdan iborat.

ASOSIY QISM

Vodorod spektridagi chiziqlar ma’lum seriyalarni tashkil qiladi. Ularning to‘lqin uzunligi Ridberg formulasi orqali ifodalanadi:

$$\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2})\,;\; m>n$$

Bu yerda R_H – vodorod uchun Ridberg doimiysi, n va m esa energetik holatlarni ifodalovchi musbat butun sonlardir. n = 1 bo‘lganda Layman, n = 2 bo‘lganda Balmer, n= 3 bo‘lganda Pashen seriyasi yuzaga keladi. Formula spektral chiziqlardagi matematik tartibni ifodalaydi, biroq energiyaning diskret bo‘lish sababini mustaqil ravishda tushuntirmaydi.

Bor modeli empirik qonuniyatga fizik mazmun berdi. Elektron faqat muayyan statsionar holatlarda mavjud bo‘ladi, nurlanish yoki yutilish bir holatdan ikkinchisiga o‘tishda sodir bo‘ladi. Foton energiyasi sathlar energiyalari farqiga teng:

$$h\nu = E_i - E_f = \frac{hc}{\lambda} \qquad E_n = -13{,}6\ eV/n^2.$$

Energetik sathlar diagrammasi bilan spektr tasvirini yonma-yon o‘rganish talaba uchun ayniqsa samaralidir. Diagrammadagi har bir pastga yo‘nalgan o‘tish emissiya chizig‘iga, yuqoriga yo‘nalgan o‘tish esa yutilish chizig‘iga mos keladi. n ortgan sari sathlar orasidagi farq kamayadi va spektral chiziqlar seriya chegarasi tomon zichlashadi. Vodorod atomi uchun birinchi sath uchun bog’lanish va ionlanish enrgiyasi -13,6 eV bo’lib energiyaning qiymati nolga tenglashguncha bo’lgan holat o’rganiladi. Atom kabi bog’langan elektroni yadrosi bilan bog’langan tizimlarda energiya manfiy qiymatni oladi

$$\hat{H}\psi = E\psi;\quad \hat{H} - Gamilton\ \ operatori.$$

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m}\Delta - \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

Bor modeli vodorodsimon atomlar energiyasini muvaffaqiyatli hisoblaydi, ammo spektral chiziqlar intensivligi, nozik tuzilish hamda tashqi maydonlardagi ajralishlarni to‘liq izohlamaydi. Kvant mexanikasida elektron aniq trayektoriya bilan emas, ψ to‘lqin funksiyasi orqali tavsiflanadi. Statsionar holatlar Shredinger tenglamasi bilan aniqlanadi:

$$\hat{H}\psi = E\psi;\quad \hat{H} - Gamilton\ \ operatori.$$

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m}\Delta - \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

tenglamaning yechimidan bosh kvant soni *n*, orbital kvant soni *l* va magnit kvant soni *m* kelib chiqadi. Orbita elektronning klassik yo‘li emas, balki uni topish ehtimolining fazoviy taqsimotidir. Orbital va magnit orbital kvant sonlari bo‘yicha tanlash qoidalariga ko‘ra o‘tishlar $\Delta l = \pm 1$ va $\Delta m = 0, \pm 1$ ehtimolligini belgilaydi. Demak, Bor modeli vodorod atomining Balmer tomonidan taklif etilgan seriyalarning hosil bo‘lishini tushuntiradi, kvant-mexanik modeli esa atomda elektronlarning holatini kvant sonlar bilan to‘liqroq tavsifi uchun xizmat qiladi.

O‘QUV MATERIALINI TARKIBLASHTIRISH BOSQICHLARI

Birinchi bosqichda tajriba va muammoli vaziyatni yaratib olamiz. Vodorod gazi bilan to‘ldirilgan razryad nayining real yoki virtual spektri namoyish qilinib, “Nima uchun vodorod atomi spektri uzluksiz emas?” va “Nega har bir elementning spektri o‘ziga xos?” kabi savollari qo‘yiladi. Tajriba davomida razryad nayidan chiqayotgan rangli chiziqlar to‘lqin uzunligi bilan energiyasi bog‘lanadi va yangi nazariy bilimga ehtiyoj yuzaga keltiriladi.

Ikkinchi bosqichda Vodorod atomi uchun yozilgan empirik qonuniyatlar asosida hisoblashlarni vodorod atomining barcha seriyalarning tajriba qiymatlari keltirilgan jadval yoki grafik asosida tahlil qilinadi.

Talabalar spektral chiziq to‘lqin uzunligini hisoblaydi, uning qaysi seriyaga tegishliligini aniqlaydi va tajriba ma’lumotlaridan Vodorod atomi uchun Ridberg doimiysini baholaydi. Hisoblash natijasi albatta fizik jihatdan izohlanadi.

Uchinchi bosqichda vodorod atomining kvant-mexanik modeli va nazariya o‘rtasidani bog‘liqlik tuziladi. Energetik sathlar diagrammasi yordamida Bor postulatlari tushuntirib beriladi, so‘ng modelning qo‘llanish chegaralari muhokama qilinib, kvant-mexanik tavsifga o‘tiladi. “Orbita – orbital”, “holat energiyasi – foton energiyasi” va “mumkin bo‘lgan o‘tish – ruxsat etilgan o‘tish” tushunchalarini taqqoslash orqali mavzuga oid aniq bilimlar shakllanadi.

To‘rtinchi bosqichda olingan nazariy bilimlar tajribada qo‘llaniladi va refleksiya amalga oshiriladi. Tajribada noma’lum gaz spektrini etalon bilan solishtirish, yulduz spektridagi Balmer chiziqlarini sharhlash va virtual simulyatsiyada energetik o‘tishlarni o‘zgartirish kabi topshiriqlar bajariladi. Talaba tajriba yakunida Bor modelini vodorod atomi uchun qo‘llashni asoslab beradi.

Mashg‘ulotda reprezentatsiyalar ketma-ket almashishi maqsadga muvofiq: spektr tasviri – sonli jadval – grafik – energetik diagramma – formula – og‘zaki xulosa. Bu ketma-ketlik kuzatiladigan hodisa bilan abstrakt matematik ifoda o‘rtasidagi bog‘lanishni mustahkamlaydi. Raqamli vositalar mikrodunyo jarayonlarini ko‘rgazmali qiladi, biroq ular real tajriba va o‘lchash faoliyati bilan uyg‘unlashtirilishi zarur.

Baholash faqat formuladan foydalanish tezligiga emas, tushunchaviy aniqlik, hisoblash, spektr yoki diagrammani tahlil qilish va model chegarasini asoslashga yo‘naltiriladi. Masalan, n = 4 dan n = 2 ga o‘tishda energiya chiqarilishi, bir seriyada yuqori sathlar ortishi bilan chiziqlarning zichlashuvi va orbitalning klassik trayektoriyadan farqi konseptual savollar yordamida tekshiriladi.

XULOSA

Vodorod atomi spektrlari мавзусини o‘qitishda nazariy mazmunni tajriba dalilidan kvant-mexanik talqingacha izchil tashkil etish mavzuning ilmiy yaxlitligini ta’minlaydi. Balmer–Ridberg qonuniyati tajriba natijalarini umumlashtiradi, Bor modeli energetik o‘tishlarni izohlaydi, Shredinger nazariyasi esa elektron holatini ehtimollik asosida tavsiflaydi.

Taklif qilingan to‘rt bosqichli tarkib tajriba, hisoblash, modellashtirish, raqamli vizualizatsiya va refleksiyani yagona o‘quv jarayoniga birlashtiradi. Natijada talaba spektral ma’lumotni tanib olish bilan cheklanmay, uni miqdoriy tahlil qilish, fizik jihatdan tushuntirish va vaziyatga mos modelni tanlash kompetensiyasiga ega bo‘ladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Bohr N. On the Constitution of Atoms and Molecules. Part I // Philosophical Magazine. – 1913. – Vol. 26. – P. 1–25.
2. Griffiths D. J., Schroeter D. F. Introduction to Quantum Mechanics. 3rd ed. – Cambridge: Cambridge University Press, 2018.
3. Eisberg R., Resnick R. Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei, and Particles. 2nd ed. – New York: Wiley, 1985.
4. Serway R. A., Moses C. J., Moyer C. A. Modern Physics. 3rd ed. – Belmont: Thomson Brooks/Cole, 2005.
5. Foot C. J. Atomic Physics. – Oxford: Oxford University Press, 2005.
6. Xo‘jamberdiyeva J.N. Atom fizikasi fanini o‘qitishda zamonaviy ta’lim texnologiyalardan foydalanish imkoniyatlari/ O‘zMU XABARLARI, 2025 1/6. 190-194 betlar. ISSN 2181-7324

OPTIKA FANINI O‘QITISH SAMARADORLIGINI OSHIRISHDA SUN’IY INTELLEKTNING O‘RNI

G.S.Uzokova[1], N.I. Qurbonova[2] , Sh. D.Dilmurodov[2]
Qarshi davlat universiteti Umumiy fizika kafedrasi
1.professori,2.o‘qituvchi

Annotatsiya. Optika fanini o‘qitishda sun’iy intellekt vositalarining shaxsiylashtirish, vizualizatsiya, tajriba ma’lumotlarini tahlil qilish va baholash imkoniyatlari yoritiladi. “Maqsad – fizik model – tajriba – SI tahlili – refleksiya” asosidagi metodik ketma-ketlik taklif etilib, ishonchlilik va akademik halollik shartlari ko‘rsatiladi.

Kalit so‘zlar: optika, sun’iy intellekt, virtual laboratoriya, spektral tahlil, adaptiv ta’lim, akademik halollik.

KIRISH

Optika fani ko‘plab abstrakt tushunchalar, mikroskopik modellar va murakkab tajribalarni o‘z ichiga oladi. Interferensiya, difraksiya, foton, energetik sath va atom spektrlarini faqat formula orqali bayon qilish talabaning hodisani yaxlit anglashiga yetarli bo‘lmasligi mumkin. Sun’iy intellekt (SI) tabiiy tilda izoh berish, tasvir va signallarni tahlil qilish, individual topshiriq yaratish hamda tezkor teskari aloqa berish orqali nazariya, tajriba va matematik model o‘rtasidagi bog‘lanishni kuchaytiradi.

Maqsadimiz SI vositalarining optika fani darslaridagi asosiy didaktik vazifalarini aniqlash va ularni mas’uliyatli qo‘llashga mo‘ljallangan metodik ketma-ketlikni taklif etishdan iborat.

ASOSIY QISM

Adaptiv tizimlar talabaning xatolari va bajarish tezligini tahlil qilib, individual topshiriq tavsiya qiladi. Geometrik optikada nur yo‘llarini chizishdan linza formulasiga, optik spektral seriyalarni hisoblashga bosqichma-bosqich o‘tish mumkin. Generativ SI bir tushunchani turli darajada izohlashi, konseptual savol va noto‘g‘ri yechim namunasini yaratishi mumkin. Biroq uning har bir javobi ishonchli manba, analitik hisob yoki tajriba bilan tekshirilishi shart.

Kompyuter interferensiya va difraksiya tasvirlaridagi maksimumlar koordinatasini, Nyuton halqalari radiusini, spektral chiziqlar holatini yoki lazer dog‘ining intensivligini aniqlashga yordam beradi. Kalibrlashdan so‘ng tasvirdan olingan ma’lumotlar asosida spektr to‘lqin uzunligi, difraksion panjara doimiysi va boshqa parametrlar hisoblanadi. Natijani qo‘lda o‘lchash bilan solishtirish algoritmik xatoni tushunishga xizmat qiladi.

Optika fanida оптик spektrlarni tasniflash, ўлчаш хатолигини kamaytirish va xarakterli chiziqlarni aniqlash uchun qo‘llanishi mumkin. Ta’limiy maqsad tayyor natijani olish emas, balki belgi tanlash, o‘quv va sinov ma’lumotlarini ajratish hamda xatolarni fizik jihatdan izohlashdir. Fotoeffekt, Frank–Gerts tajribasi va vodorod spektrining virtual modellarida talaba fizik parametrlarni o‘zgartiradi, bashorat qiladi va natijani nazariy model bilan taqqoslaydi.

METODIK INTEGRATSIYA

SI vositasini darsga kiritish besh bosqichda amalga oshiriladi. Birinchi bosqichda muammo va o‘quv natijasi belgilanadi. Ikkinchi bosqichda talaba fizik model, formula yoki diagramma asosida bashorat qiladi. Uchinchi bosqichda real yoki virtual tajriba bajarilib, ma’lumot yig‘iladi. To‘rtinchi bosqichda SI tasvir, spektr, grafik yoki yechimni tahlil qiladi va natija mustaqil usul bilan tekshiriladi. Beshinchi bosqichda talaba modelning qo‘llanish chegarasi, SI xatosi va o‘z xulosasi haqida refleksiya yozadi.

Masalan, ikki tirqish interferensiyasida talaba $\Delta x = \lambda L/d$ munosabati asosida chiziqlar oralig‘ini oldindan hisoblaydi. Virtual yoki real tasvir olinib, SI yordamida maksimumlar masofasi aniqlanadi. Olingan qiymat bashorat bilan taqqoslanadi va tafovutning sabablari izohlanadi. Vodorod spektrida esa aniqlangan chiziqlar Ridberg formulasi va energetik o‘tishlar diagrammasi orqali tekshiriladi. Shunday qilib, SI “javob beruvchi” emas, ilmiy tekshiruv vositasi bo‘ladi.

Baholashda yakuniy son bilan birga modelni tanlash, birliklar, tajriba ma’lumotini qayta ishlash va fizik xulosa hisobga olinadi. Og‘zaki himoya, individual ma’lumotlar to‘plami va tajriba jurnali akademik halollikni mustahkamlaydi. Talaba foydalangan SI vositasi va undan olingan yordamni ko‘rsatishi, yakuniy natija uchun shaxsan javob berishi kerak. Shaxsiy ma’lumotlar va baholar ochiq xizmatlarga asossiz yuklanmasligi lozim.

XULOSA

Sun’iy intellekt optika фанида ko‘rinmas jarayonlarni vizuallashtirish, o‘quv faoliyatini shaxsiylashtirish, tajriba ma’lumotlarini tez tahlil qilish va formativ baholash imkoniyatini kengaytiradi. Uning samarasi texnologiyaning o‘zidan emas, fizik maqsad, tajriba va mustaqil tekshiruv bilan metodik jihatdan uyg‘unlashtirilishidan kelib chiqadi.

O‘qituvchi ilmiy aniqlik va pedagogik maqsad uchun mas’ul bo‘lib qoladi. SI javoblarini tekshirish, manbalarni ko‘rsatish, akademik halollik va maxfiylik talablarini o‘quv topshirig‘iga kiritish talabaning tanqidiy fikrlashi va SI savodxonligini birgalikda rivojlantiradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

2. Zawacki-Richter O., Marín V. I., Bond M., Gouverneur F. Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education // International Journal of Educational Technology in Higher Education. – 2019. – Vol. 16. – Article 39.

3. Kasneci E. et al. ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education // Learning and Individual Differences. – 2023. – Vol. 103. – 102274.

4. Chiu T. K. F. et al. Systematic literature review on opportunities, challenges, and future research recommendations of artificial intelligence in education // Computers and Education: Artificial Intelligence. – 2023. – Vol. 4. – 100118.

5. Zhai X. et al. A review of artificial intelligence in education from 2010 to 2020 // Complexity. – 2021. – Article 8812542.

6. Wattanakasiwich P., Kaewkhong K., Katwibun D. Physics instructors’ acceptance and implementation of generative AI // Physical Review Physics Education Research. – 2025.

INNOVATSION TA’LIM SHAROITIDA O‘QUVCHILARGA TEBRANMA HARAKAT JARAYONLARINI RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR ASOSIDA O‘QITISH METODIKASINI TAKOMILLASHTIRISH

[1]Imomov Bahodir Umrzoqovich, [2]Jumaboyeva Sarvinoz Murodilloyevna
[3]Eshpo‘latova Parvina Dilshod qizi, [4]Norbekova Xulkaroy Azamat qizi.
[1]Samarqand davlat pedagogika instituti
[2,3,4]Samarqand davlat pedagogika instituti talabasi.
bahodirimomov@samdpi.uz

Annotatsiya: Mazkur maqolada innovatsion ta’lim muhitida tebranma harakat jarayonlarini o‘qitishda raqamli texnologiyalardan foydalanishning metodik asoslari yoritilgan. An’anaviy o‘qitish jarayonidagi kamchiliklar tahlil qilinib, ularni bartaraf etishda virtual laboratoriyalar, interaktiv simulyatsiyalar va raqamli modellashtirish vositalarining ahamiyati asoslab berilgan. Tadqiqot davomida garmonik tebranishlar, majburiy tebranishlar va rezonans hodisalarini o‘qitishda yangi metodik yondashuv ko‘rib chiqildi. Taklif etilgan metodika o‘quvchilarning tahliliy fikrlash, eksperimental ko‘nikmalar va mustaqil o‘rganish qobiliyatlarini rivojlantirishga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: Tebranma harakat, garmonik tebranish, raqamli texnologiyalar, virtual laboratoriya, simulyatsiya, rezonans, fizika metodikasi, STEAM, statistik tahlil

Kirish

Hozirgi kunda ta’lim tizimida innovatsion raqamli yondashuvlarni joriy etish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, fizika fanining “Tebranma harakat va to‘lqinlar” bo‘limi o‘quvchilar uchun murakkab va abstrakt mavzulardan biri hisoblanadi. Ushbu mavzularni an’anaviy usullar bilan o‘qitish ko‘pincha formulalarni yodlash bilan cheklanib qoladi.

Natijada o‘quvchilar fizik jarayon mohiyatini tushunmaydi, grafik va matematik bog‘lanishlarni tasavvur qila olmaydi, tajriba asosida xulosa chiqarish ko‘nikmasi shakllanmaydi.

Shu sababli, tebranma harakat jarayonlarini o‘qitishda raqamli texnologiyalarni qo‘llash metodikasini ishlab chiqish zarur. Bu o‘quvchilarga jarayonni real vaqt rejimida kuzatish, parametrlarni o‘zgartirish va natijalarni aniq hisoblash imkonini beradi, bu esa o‘z navbatida ta‘lim sifatini oshirishga xizmat qiladi. Tadqiqotning ilmiy yangiligi shundaki, unda virtual modellarning o‘quvchilar kognitiv faoliyatiga ta‘siri pedagogik tajriba-sinov ishlari orqali asoslab berilgan.

Raqamli texnologiyalar asosidagi metodik model

Tadqiqot doirasida ishlab chiqilgan metodik modelning birinchi bosqichida o‘quvchilar oldidagi muammoli vaziyat qo’yiladi.Xususan, tebranish amplitudasining keskin ortish shartlari haqidagi savol orqali ularda qiziqish uyg‘otiladi.Ikkinchi bosqichda raqamli simulyatsiya texnologiyalaridan foydalanib, virtual model yordamida amplituda o‘zgarishi, chastota ta‘siri va rezonans hodisasi bevosita kuzatiladi. Kuzatishlar natijasida, uchinchi bosqichda o‘quvchilar rezonans chastotasida amplituda maksimal qiymatga erishishi va energiya uzatilishi ortishi bo‘yicha ilmiy qonuniyatlarni aniqlaydilar. Olingan natijalar to‘rtinchi bosqichda grafik tahlil qilinib, $x(t), v(t), a(t)$ funksiyalarning grafigi hamda fazaviy diagrammalar asosida mustahkamlanadi. Metodikaning yakuniy bosqichida esa olingan bilimlar amaliy topshiriqlar orqali tizimlashtiriladi.

Virtual laboratoriyaning didaktik afzalliklari

Raqamli laboratoriyalar quyidagi imkoniyatlarni beradi: parametrlarni (A, ω, φ) erkin o‘zgartirish, real vaqt rejimida natijani kuzatish, ko‘p marotaba takrorlash, xatoliklarni kamaytirish. Bu esa o‘quvchining faol ishtirokini ta’minlaydi.

Natijalar va muhokama

Olingan natijalar quyidagilarni ko‘rsatdi: Raqamli metod o‘quvchilarning bilimini sezilarli oshiradi. Grafik tushunchalar yaxshiroq o‘zlashtiriladi. Mustaqil fikrlash rivojlanadi.

Yana shuni aytishimiz mumkinki- pedagogik tajriba jarayonida shuni kuzatdikki, virtual laboratoriya yordamida tebranish chastotasini o‘zgartirish o‘quvchilarga rezonans hodisasining fizik tabiatini tushunishga bo‘lgan ishtiyoqini oshirdi. Ayniqsa , vizual ravishda amplitudaning keskin o‘sishi o‘quvchilar xotirasida formulalardan ko‘ra mustahkamroq saqlanib qolmoqda.

Ilmiy taqqoslash. Tadqiqot davomida an‘anaviy va raqamli o‘qitish metodlari bir nechta sifat ko‘rsatkichlari bo‘yicha qiyoslandi.Olingan natijalar raqamli texnologiyalar o‘quvchilarning mavzuni o‘zlashtirish darajasini sezilarli darajada oshirishni ko‘rsatdi. Bu natijalar boshqa tadqiqotlar bilan ham mos keladi.(Usova, Orexov)

Xulosa. Innovatsion raqamli texnologiyalar asosida tebranma harakatni o‘qitish: bilim sifatini, oshiradi, o‘quvchilarni faol ishtirok etishga undaydi, murakkab jarayonlarni tushunarli qiladi. Raqamli simulyatsiyalar murakkab fizik jarayonlarni vizuallashtirish orqali nazariy bilimlarni amaliy ko‘nikmalar bilan mustahkamlashga xizmat qiladi. Taklif etilgan metodika zamonaviy ta’lim talablariga to‘liq javob beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. STEAM ta'lim metodikasi. – Innovatsiya va texnologiyalarni rivojlantirish jurnali, 2022. https://in-academy.uz
2. S.X. Zoirov, M.F. Aoyeva, F.N. Jurayev - FIZIKA O'QITISH METODIKASI. DARSLIK.2025 https://in-academy.uz
3. Q.T. Xoliqov, M.X. Kuliyeva, K.A. Qayumova - STEAM YONDASHUV ASOSIDA FIZIKA VA ASTRONOMIYA O'QITISH METODIKASI http://scienceproblems.uz
4. PhET Interactive Simulations. – University of Colorado Boulder. https://phet.colorado.edu.
5. M. Abduraxmonov, A. Ikromov, N. Toshmurodov, Sh. Xomitov, M. Norqulova – Mexanika o'quv qo'llanmasi .
6. B.V.Turimov, Sh.E. Karshiboyev, M. Norqulova, B.Imomov, Sh.K.Bektemirov, Sh.A.Hayitov – Mexanika fanidan fizik praktikum o'quv qo'llanmasi.
7. M.Usmonov – Fizika o'quv qo'llanmasi
8. B.S.Abdullayeva – Fizika kursini o'qitishda fanlararo aloqalardan foydalanish texnologiyasi//Zamonaviy ta'lim 2014.
9. M.Jo'rayev – Fizika o'qitish metodikasi-Toshkent:Abu Ali ibn Sino,2002

UMUMIY O'RTA TA'LIM MAKTABLARIDA FIZIKA FANINING ELEKTR BO'LIMINI ÓQITISHDA RAQAMLI TEXNOLOGIYALARDAN FOYDALANISH METODIKASINI TAKOMILLASHTIRISH

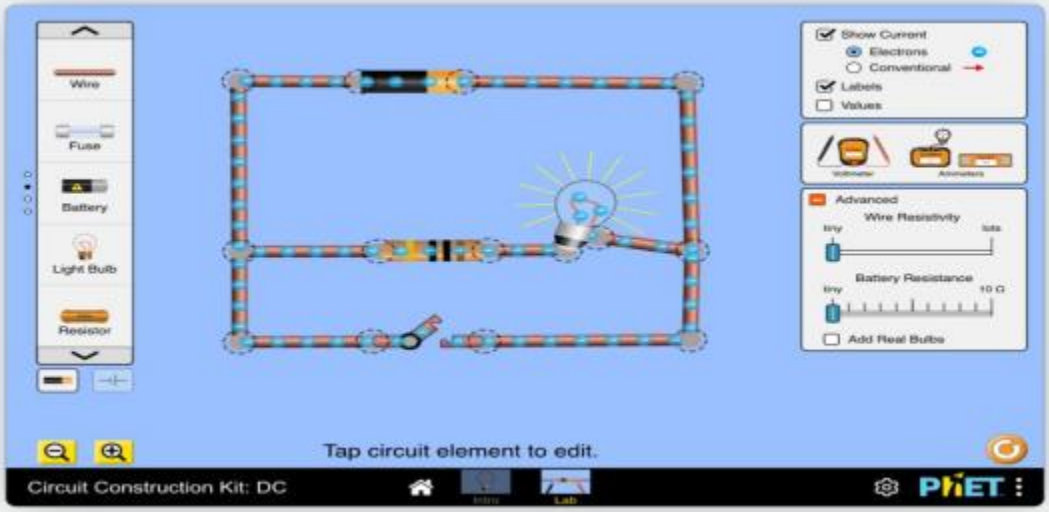
[1]Imomov Bahodir Umrzoqovich, [2]Jumaboyeva Sarvinoz Murodilloyevna.
[3]Norbekova Xulkaroy Azamat qizi, [1]Samarqand davlat pedagogika instituti
[23]Samarqand davlat pedagogika instituti talabasi.
bahodirimomov@samdpi.uz

Kalit so'zlar: fizika ta'limi, elektr bo'limi, raqamli texnologiyalar, virtual laboratoriya, interaktiv simulyatsiya, metodikani takomillashtirish, AKT, PhET platformasi, pedagogik dasturiy vositalar.

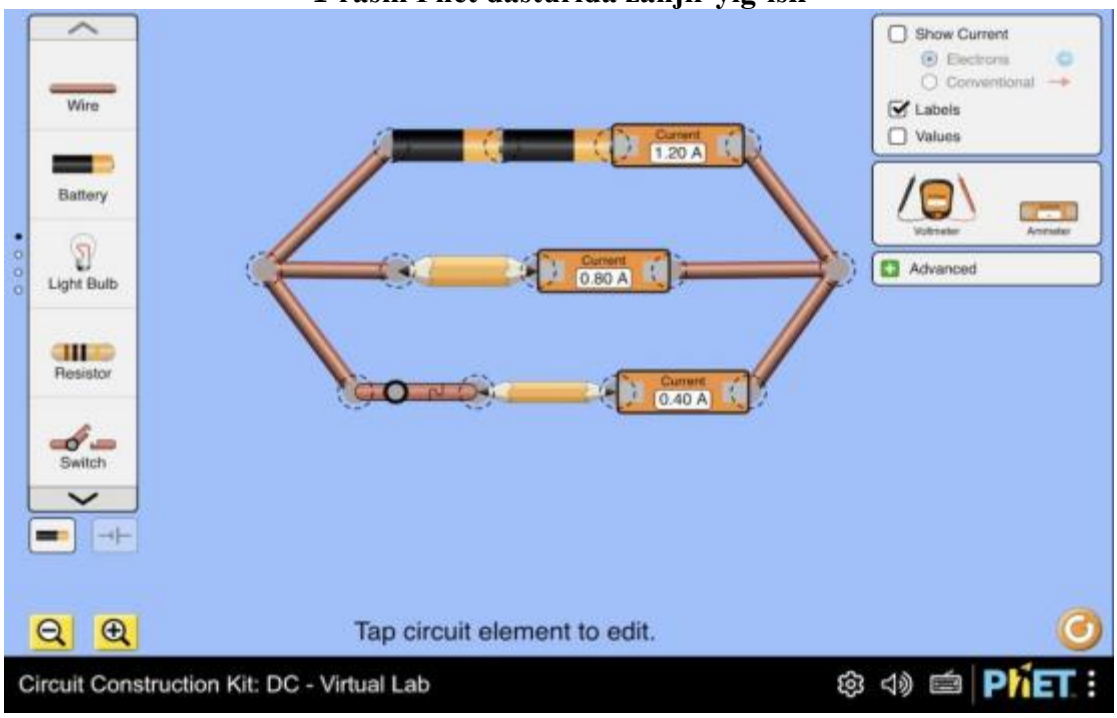
Kirish: Rivojlanib borayotgan jahonda ilm-fan va texnologiyalarning shiddatli rivojlanishi ta'lim tizimi oldiga mutlaqo yangi vazifalarni qo'yadi. Jamiyatning raqamli texnalogiyalar sharoitida umumiy o'rta ta'lim maktablarida tabiiy fanlarni, xususan, fizika kursini o'qitish sifatini oshirishda dolzarb vazifalardan hisoblanadi.

Prezidentimizning 2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning Taraqqiyot strategiyasi ham ta'limni raqamlashtirishga qaratilgan qator qarorlar qabul qilingan. Fizika fani asosi bo'lgan elektr, texnika, energetika elektronika va raqamni texnalogiyalar sohaning poydevori hisoblanadi. Biroq ushbu bo'limdagi ko'plab tushunchalar (masalan, elektr maydoni, zaryadlarning harakati, elektromagnit induksiya hodisasi) mavhum xarakterga ega bo'lib, o'quvchilar tomonidan an'anaviy metodlar yordamida o'zlashtirilishi birmuncha qiyinchilikni yuzaga keltirib chiqaradi .Bugungi kunda maktab laboratoriyalaridagi mavjud moddiy-texnik baza ba'zan mikrodunyoda sodir bo'ladigan dinamik jarayonlarni to'liq va ko'rgazmali namoyish etish imkonini bermaydi ya'ni misol qilib zaryadlar o'zaro ta'sirlashadi yoki musbat va manfiy zaryadlar bir-biriga tortiladi deb aytishning o'zi yetarli bo'lmay qoldi. Shu sababli, elektr bo'limini o'qitishda **raqamli texnologiyalar, virtual laboratoriyalar, interaktiv simulyatsiyalar (PhET, Yenka va b.) hamda mobil ilovalardan** foydalanish metodikasini takomillashtirish dolzarb pedagogik muammo hisoblanadi. Raqamli vositalar o'quvchilarning darsga bo'lgan motivatsiyasini oshirish bilan birga, ularda XXI asr ko'nikmalari — tanqidiy fikrlash, mustaqil

tadqiqot olib borish va xotirada yaxshi saqlanishiga xizmat qiladi sababi hozir rivojlanib borayotgan aavlod uchun turli xil animatsiyalarni kuzatish va bajarish ancha tushunarli qabul qilishi oson .



1-rasm Phet dasturida zanjir yig’ish



2-rasm Phet dasturida tajriba

3.1. Tajriba sinov ishlari**.**

3.2. Umumiy o‘rta ta’lim maktabining 8-sinf o‘quvchilarida elektr zanjiri, tok kuchi va kuchlanish tushunchalarini PhET virtual laboratoriyasi yordamida shakllantirish hamda raqamli metodikaning dars samaradorligiga ta’sirini aniqlash.

3.3. Tajriba Samarqand tumani 41-umumiy o‘rta ta’lim maktabining 8-sinf o‘quvchilari ishtirokida o‘tkazildi. O‘quvchilar ikki guruhga ajratildi:

3- rasm

4- rasm

3-rasmda ko’rsatilgandek ;Nazorat guruhi, an’anaviy usul: doska, darslik va oddiy laboratoriya.

4-rasm. Tajriba guruhi,PhET simulyatsiyasi orqali virtual elektr zanjiri yig‘ish.

Dars davomida o‘quvchilar batareya, lampochka, kalit va rezistordan iborat elektr zanjirini mustaqil ravishda yig‘dilar. Simulyatsiya yordamida ampermetr va voltmetr ko‘rsatkichlari kuzatildi hamda rezistor qiymati o‘zgartirilganda tok kuchining qanday o‘zgarishi tahlil qilindi.

3.4. Bajarilgan topshiriqlar

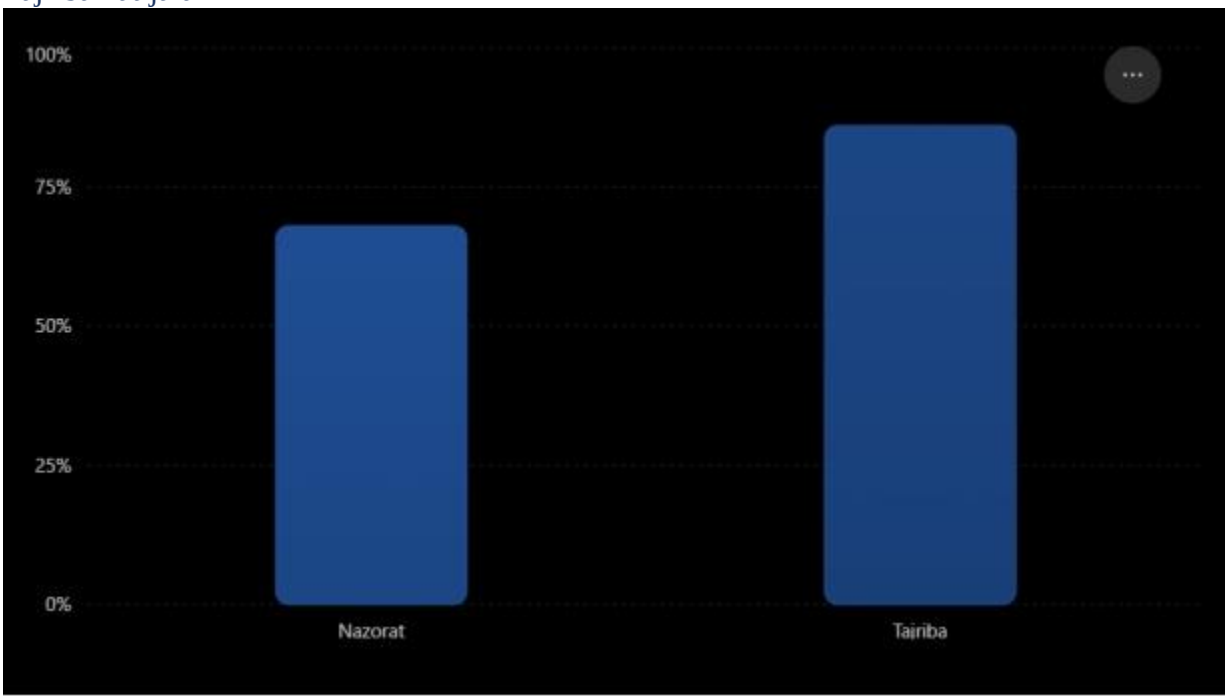
Batareya, kalit va lampochkadan elektr zanjiri yig‘ish.

Kalit ochiq va yopiq holatda lampochkaning ishlashini kuzatish.

Rezistor qiymatini 10 Ω dan 50 Ω gacha o‘zgartirib tok kuchini solishtirish.

Voltmeter va ampermetr ko‘rsatkichlarini jadvalga yozish.

3.5. Tajriba natijalari



Tajriba yakunida o‘quvchilarga 10 ta test va 2 ta amaliy topshiriq berildi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, PhET simulyatsiyasidan foydalangan guruhning o‘rtacha ko‘rsatkichi 86%, an’anaviy usulda o‘qigan guruhniki esa 68% ni tashkil etdi. Bu raqamli metodikaning dars samaradorligini oshirishini ko‘rsatadi.

Kuzatishlar davomida o‘quvchilar elektr maydoni va tokning yo‘nalishi kabi mavhum tushunchalarni virtual muhitda vizual ko‘rganlari sababli mavzuni tezroq angladilar. Ayniqsa, rezistor qiymatini o‘zgartirish orqali tok kuchining kamayishini real vaqt rejimida kuzatish ularning mantiqiy fikrlashini va mustaqil xulosa chiqarish ko‘nikmalarini rivojlantirdi.PhET platformasidagi Circuit Construction Kit simulyatsiyasidan foydalanish elektr bo‘limini o‘qitishda nafaqat nazariy bilimlarni mustahkamlaydi, balki o‘quvchilarning amaliy kompetensiyalari, darsga qiziqishi va tadqiqotchilik faoliyatini ham sezilarli darajada oshiradi.

Fizika ta’limida axborot-kommunikatsiya va raqamli texnologiyalardan foydalanish masalalari xorijiy va respublikamiz olimlari tomonidan keng o’rganib chiqilgan. Respublikamizda fizika o‘qitish metodikasini rivojlantirishga va ta’limni raqamlashtirishga oid izlanishlar olib borilgan bo‘lsa-da, aynan elektr bo‘limidagi murakkab va real olib chiqich tajriba qilish xavfli yoki imkonsz mavzularni zamonaviy raqamli ekotizimlar (VR/AR texnologiyalar, STEM yondashuv, sun'iy intellekt elementlari) yordamida o‘qitishning pedagogik-psixologik mexanizmlari va metodik tizimi hali to‘liq tizimlashtirilmagan.

Xulosa qilib aytganda, umumiy o‘rta ta’lim maktablarida fizika fanining elektr bo‘limini o‘qitishda raqamli texnologiyalardan samarali foydalanish metodikasini takomillashtirish va dars samaradorligini oshirish bo‘yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqishdan iborat.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O‘zbekiston Respublikasining “Ta’lim to‘g‘risida”gi Qonuni. Toshkent, 2020.
2. PhET Interactive Simulations. University of Colorado Boulder. Circuit Construction Kit: DC virtual laboratory.
3. Crocodile Physics (Yenka). Interactive Physics Simulation Software. Crocodile Clips Ltd.
4. Halliday D., Resnick R., Walker J. Fundamentals of Physics. 11th Edition. Wiley, 2018.
5. Serway R. A., Jewett J. W. Physics for Scientists and Engineers. Cengage Learning, 2019.
6. To‘laganov A. Fizika o‘qitish metodikasi. Toshkent: O‘qituvchi, 2021.
7. Rasulov A. Umumiy fizika: Elektr va magnetizm. Toshkent, 2020.
8. STEM ta’limida raqamli texnologiyalar va virtual laboratoriyalardan foydalanish bo‘yicha metodik tavsiyalar. Respublika ta’lim markazi, 2023.
9. . Kamolov J., Ismoilov I., Begimqulov U., Avazboyev S. Elektr va magnetizm. – Toshkent: IQTISOD-MOLIYA, 2007. – 280 b.
10. Saidaxmedova Z.V., Xudayberdiyeva A.I. Fizika (Elektr va magnetizm). O‘quv qo‘llanma. – Toshkent: Tafakkur tomchilari, 2019. – 248 b
11. Izbosarov B.F., Kamolov I.R. Elektromagnetizm. Darslik. – Toshkent: IQTISOD-MOLIYA, 2006. – 360 b.

DIFFERENTIATED PHYSICS EDUCATION FOR FUTURE ENGINEERS

Imomov Obidjan Elamonovich
Karshi State Technical University
e-mail: Imomov _1985@bk.ru

The deliberate and context-sensitive selection of appropriate teaching methods, or their effective integration, allows educators to address specific didactic objectives by considering the individual characteristics and needs of students. One instructional strategy involves encouraging students to submit written questions related to the topic during lectures. These questions are formulated approximately 2–3 minutes after the topic is introduced. The instructor then spends an additional 3–5 minutes grouping and interpreting the questions based on semantic meaning. The lecture proceeds without directly answering the individual questions but is instead developed in a structured, logical, and coherent manner that indirectly

addresses the students' inquiries. At the end of the session, the instructor reflects on the submitted questions as a measure of the learners' understanding and interest in the topic.

In our view, using social media platforms such as Telegram, Facebook, or Instagram to facilitate active learning outside the classroom is highly effective. Moderators are selected from among students to oversee these group discussions. This strategy helps to optimize classroom time by shifting theoretical exploration into students' self-paced study environments, allowing the class to focus on the more complex and essential aspects of the subject. Additionally, this model enables repeated access to lecture materials, supports differentiated instruction, and caters to various learning styles and cognitive processing speeds.

Practical lessons can also be structured using active methodologies that promote critical thinking and real-world problem-solving skills. These include:

- **Project-Based Learning (PBL):** An instructional model where students gain knowledge and skills through the completion of progressively more complex tasks. These tasks are carried out independently or in groups under the guidance of the instructor and involve various formats such as research, planning, design, and graphical work. PBL is a powerful blend of both active and interactive teaching strategies that cultivates students' initiative, responsibility, and creativity.
- **Portfolio Method:** This method serves as both an assessment tool and a developmental resource, compiling selected student works over time. It allows for an evaluation of the student's academic progress, alignment with learning goals, and readiness for professional practice.
- **Game-Based Learning:** A pedagogical strategy that encourages collaborative, scenario-based problem-solving. Rather than simply testing knowledge, this method transitions students from passive to active learning modes, helping them develop soft skills such as communication, teamwork, and decision-making.
- **Training Sessions:** These consist of structured combinations of exercises and educational games that promote active participation, cooperation, and the development of new competencies, both academic and professional.
- **Case-Based Learning:** This method immerses students in analyzing practical, ambiguous real-world situations, thereby enhancing their capacity for critical thinking, reasoning under uncertainty, and applying theoretical knowledge to practical contexts.

After conducting an introductory assessment to evaluate students' baseline understanding of the theoretical content, learners are invited to solve physics problems individually or in pairs. These may involve reviewing correct solutions presented on the board or engaging in independent problem-solving without guidance. To conclude the practical lesson, a formative assessment is implemented using tiered tasks of varying complexity. Students select their preferred challenge level, encouraging self-regulated learning and strategic problem-solving. Tasks at higher difficulty levels require a deeper application of logical reasoning and analytical operations.

Interactive education differs in essential ways from traditional pedagogical models. In modern interactive courses, approximately 86% of instructors prefer using interactive whiteboards or digital presentation tools to engage students. From a psychological standpoint, interactive learning is based on the dynamics of interpersonal relationships. It recognizes both the teacher and the student as active agents in the knowledge creation process. Beyond enhancing memory, attention, and perception, interactive instruction fosters creativity, communication, behavior modulation, and critical thinking.

Additional interactive strategies include:

- **Brainstorming:** A collaborative technique in which group members generate ideas by posing questions and counterexamples. The instructor facilitates the creation of problem scenarios, and students actively participate in their resolution, promoting group creativity and cognitive flexibility.

- **Synectics Method:** This method promotes creative thinking by drawing analogies and metaphors. It requires broad intellectual engagement and fosters the development of imaginative and divergent thinking skills. The method facilitates instruction through operational mechanisms that utilize comparisons to generate innovative ideas.
- **Expanded Use of Case Methods:** Beyond transmitting knowledge, case-based instruction promotes the formation of practical and professional competencies by placing students in situations similar to those encountered in real-life engineering contexts.

Thus, students must first be familiar with the diverse formats in which academic discussions may be conducted and secondly understand the distinct features and pedagogical purposes of each method. However, organizing and facilitating meaningful academic discussions requires significant time and preparation from both students and instructors. Consequently, the implementation of such strategies must be reconciled with the reduced duration of bachelor's programs and the need to streamline subject matter and optimize the use of instructional time.

Conclusion. Differentiated and interactive teaching methods play a pivotal role in enhancing students' academic engagement and professional competencies in engineering disciplines. By incorporating digital tools, scenario-based learning, and student-centered strategies, educators can create a dynamic and inclusive learning environment tailored to the diverse needs of future engineers.

References:

1. Smolkin, A.M. *Methods of Active Learning: A Methodological Guide for Instructors and Organizers of Vocational and Economic Training*. Moscow: Vysshaya Shkola, 1991, p. 175.
2. Abulkhamova, K.A., Vasina, N.V., Lapteva, L.G., Slastenin, V.A. (Eds.). *Psychology and Pedagogy*. Moscow: "Sovershenstvo", 1998.
3. Imomov, O. E. (2024). FIZIKADAN DIFFERENSIAL YONDASHUV ASOSIDA LOYIHA FAOLIYATINI TASHKIL ETISH..
4. Imomov O. E. TECHNIQUE OLIY TALIM MUASSSSALARIDA PHYSICADAN DIFFERENTIAL TALIM BERISH NAZARYASI.
5. Imomov, O. E., "Amaliy mashg'ulotlar darslarida ta'lim texnologiyalaridan foydalanish: xususiyatlari." – Zamonaviy fan va ilmiy tadqiqotlar bo'yicha xalqaro konferensiya materiallari, 2024-yilda Parijda (Fransiya) onlayn tarzda o'tkazilgan.

MAGNIT MAYDONINI DIFFERENSIAL USULDA O'RGANISHNING METODIK USLUBI

Imomov Obidjon Elamonovich
Qarshi davlat texnika universiteti
e-mail: Imomov _1985@bk.ru.

Differensial ta'lim berishdan maqsad har bir talabaga ta'lim mazmunini o'zlashtirish jarayonida ularning xususiyatlarini maksimal hisobga olish, qobiliyatlarini, rivojlantirish, bilish ehtiyojlari va qiziqishlarini qondirish uchun sharoit yaratishdan iborat. Ushbu metdik tizimni amalga oshirishda fizika fanidan laboratoriya mashg'ulotlarini o'tkazish ham ikki shaklda: faol va interfaol usulda amalga oshiriladi.Quyida to'g'ri o'tkazgich va aylanma halqaning magnit maydonini o'rganish nomli laboratoriya ishi misolida ko'rib chiqamiz.

Bio – Savar qonuniga asosan I tok o'tayotgan o'tkazgich atrofidagi P nuqtadagi magnit maydoni o'tkazgichning cheksiz kichik qismlarining magnit maydonlarining ulushlarining yig'indisidan iborat bo'ladi.

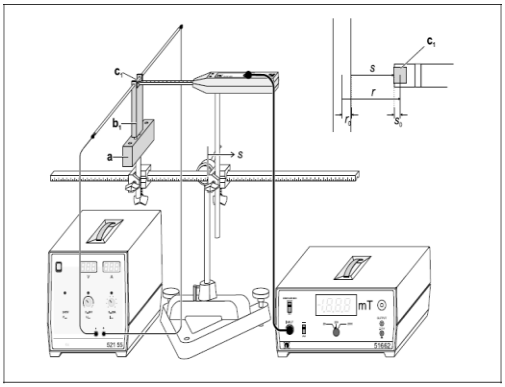
$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{r^2} \cdot ds \cdot \frac{r}{r}, \ \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \, H/m \qquad (1)$$

Masalan cheksiz uzun o‘tkazgichning magnit maydoni o‘tkazgich o‘qidan r masofada

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot I \frac{2}{r} \tag{2}$$

va maydon kuch chiziqlari silindr o‘qi atrofida konsentrik shaklda bo‘ladi . Radiusi R bo‘lgan aylanma halqa shaklidagi o‘tkazgichning aylana o‘qi ustida halqa markazidan x masofadagi nuqtaning magnit maydoni

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot I \cdot 2\pi \frac{R^2}{\left(R^2 + X^2\right)^{\frac{3}{2}}}$$



Magnit maydoni kuchlanganligining nafaqat qiymatini balki uning yo‘nalishini ham aniqlash mumkin. To‘g‘ri o‘tkazgich uchun magnit oqimi zichligi B ning r masofadan bog‘liqligi o‘rganiladi, aylanma shakldagi o‘tkazgich uchun esa fazoviy koordinata x dan bog‘liqligi o‘rganiladi. Bundan tashqari, magnit maydon induksiyasi B va tok kuchi I o‘rtasidagi proporsionallik ham tekshirib ko‘riladi.Differensial ta’limni amalga oshirish maqsadida guruhni qobiliyatiga qarab kichik guruhlarga ajratamiz.

Guruhlash: Talabalar 3-4 kishilik **kichik guruhlar**ga bo‘linadi. Har bir guruhga kerakli jihozlar to‘plami tarqatiladi. Guruh a’zolari o‘zida rol taqsimlaydi: **tajriba bajaruvchi**, **kuzatuvchi**, **yozib boruvchi**, va **hisobot beruvchi** kabi. O‘qituvchi guruhlarga xavfsizlik texnikasi qoidalarini eslatadi: elektr toki bilan ishlashda ehtiyotkorlik, nam qo‘l bilan tegmaslik, ortiqcha tok bermaslik, qisqa tutashuvni oldini olish va h.k.

- **Amaliy tajriba :** Guruhlar laboratoriya ishi bajarishga kirishadi. Avval to‘g‘ri sim uchun tajriba: shtativda vertikal mahkamlangan sim orqali tok o‘tkaziladi. Sim o‘rtasiga gorizontal tekislikda yupqa karton qog‘oz qo‘yiladi, unga mayda temir chang (kukun) sepiladi. Tok manbai ulanishi bilan kartonni sekin tebratib, changlarning joylashuvi kuzatiladi – ular aylana shaklida joylashganini ko‘rishadi. Shu orqali kuch chiziqlari aylana ekanini ko‘rsatiladi. Har bir guruh kartonini ustiga bir nechta magnit strelkalarni ham qo‘yib ko‘radi – strelkalar hamma joyda simga radial yo‘nalishda tik holatda turishini, ya’ni magnit maydon doirasimon yo‘nalganini tasdiqlaydi. Keyin aylanma halqa uchun tajriba: oldindan aylana shaklga keltirilgan o‘ram (1 dona) tok manbaiga ulanadi. Halqaning markaziga va atrofiga magnit strelkalar qo‘yib, tok o‘tkazilganda ularning qanday yo‘nalishga intilishini kuzatishadi. Strelkalar halqa tekisligiga tik tarzda safalanadi – halqa markazida magnit maydon mavjudligini va uning yo‘nalishi halqaning bitta tomoniga normal (tik) ekanini bildiradi. Guruhlar kuzatish natijalarini daftarlariga rasm chizib belgilashadi: to‘g‘ri o‘tkazgich uchun aylana chiziqlar, halqa uchun esa halqa ichidan chiqib tashqariga qayrilgan yopiq chiziqlar. Agar jihozlar imkon bersa, ayrim guruhlar tokni oshirib-kamaytirib ko‘rib, magnit maydon kuchining o‘zgarishini ham sifat jihatdan baholaydi.
- **Tahlil va baholash :** Guruhlar bajarilgan ish natijasini navbatma-navbat taqdimot qiladilar. Har bir guruhdan vakil chiqib, o‘z tajribasi va kuzatgan hodisasi haqida gapiradi: kuzatilgan magnit chiziqlar, ularning yo‘nalishi, tokning ta’siri haqida. Boshqa guruhlar tinglaydi va savollar beradi. O‘qituvchi muhokamani facilitator sifatida boshqaradi, kerak joyida qo‘shimcha savollar bilan muammoli vaziyat yaratadi yoki to‘ldiradi. Masalan, halqa natijalarini muhokama qilayotganda: *“Agar halqa o‘rniga ko‘p*

o‘ramli g‘altak olsak, magnit maydon kuchayadimi? Muammo asosida fikrlashga undash – kompetensiyaga yo‘naltirilgan yondashuvning bir ko‘rinishi.

Muhokama yakunida o‘qituvchi har bir guruh ishiga baholash mezonlari asosida to‘xtaladi va rag‘batlantiradi. Baholash mezonlari oldindan e’lon qilingan bo‘lib, unda quyidagilar inobatga olingan: Nazariy tushuncha (masalan, talaba magnit maydon yo‘nalishini to‘g‘ri tushuntira oldi), tajriba o‘tkazish mahorati (jihozlarni to‘g‘ri ulash, xavfsizlikka rioya qilish, kuzatuv olib borish), natijalarni tahlil qilish (chizgan rasm va izohlar to‘g‘ri, xulosalar ilmiy asosli) va jamoaviy ishtirok (guruhda faol hamkorlik qilganlik). Har bir guruh ushbu mezonlar bo‘yicha og‘zaki va/yoki balль ko‘rinishida baholanadi. O‘qituvchi alohida e’tiborga molik jihatlarni ta’kidlab o‘tadi, kamchiliklar bo‘lsa, konstruktив fikr bildiradi.

Qobiliyatga qarab farqlangan topshiriqlar (differensial yondashuv)

Talabalarning bilim va ko‘nikma darajasiga qarab, amaliy mashg‘ulot davomida farqlangan topshiriqlar taklif qilinadi:

- Barcha uchun (bazaviy): Yuqoridagi laboratoriya ishini bajarish – to‘g‘ri sim va halqa atrofidagi magnit maydonni kuzatish va chizib chiqish. Har bir talaba minimal darajada ushbu vazifani bajarishi shart. Natija sifatida magnit kuch chiziqlari tasvirini to‘g‘ri chizib, yo‘nalishlarini ko‘rsata olish.
- Qo‘shimcha kuzatuv (o‘rtacha): Temir kukunlari bilan tajriba vaqtida tok kuchini o‘zgartirib ko‘rish (masalan, 2 A, 4 A, 6 A) va magnit maydon kuchidagi o‘zgarishni sifat jihatdan solishtirish. Kuchliroq tokda temir kukunlari aniqroq joylashishini yoki strelka og‘ishi kattaroq bo‘lishini qayd etish. Talabalar bu kuzatuvdan xulosa chiqaradi: B ning qiymati I ga mutanosib. Shuningdek, to‘g‘ri sim uchun masofani oshirib yoki kamaytirib ko‘rish, B ga teskari bog‘liq degan xulosaga kelish.
- Yuqori qobiliyatli talabalar uchun**:** Mustaqil ravishda qo‘shimcha savol ustida ishlash: *“Nega aylanma halqa magnit maydon hosil qiladi va uni qanday kuchaytirsa bo‘ladi?”* Bu savolga javoban iqtidorli talabalar g‘altak (ko‘p o‘ramli halqa) tushunchasini keltirib chiqarishlari mumkin.
- Ijodkorlik uchun: Ayrim talabalar (ish tez va to‘g‘ri bajargan guruhlar) uchun ijodiy topshiriq: *“Magnit maydon chiziqlarini boshqa usulda ham ko‘rish mumkinmi?”* kabi. Masalan, guruhga temir qirindilar o‘rniga bir nechta kichik LED diodli indikatorlar va batareykalar beriladi – ular Hall effektiga asoslangan sensor yasab ko‘rishga harakat qilishlari mumkin (murakkabroq, ammo qiziquvchan talabalar uchun qiziq vazifa). Yoki, ularga ikkita parallel o‘tkazgich bilan tajriba qilib, qarama-qarshi yo‘nalishli tokning magnit maydonlarini kuzatish va o‘zaro ta’sirni payqash (agar vaqt qolsa). Bu topshiriqlar ixtiyoriy va murakkabroq bo‘lib, qobiliyatli talabalarni band qilish va rivojlantirishga xizmat qiladi.

Differensial yondashuv bilan berilgan topshiriqlar har bir talabaning o‘z qobiliyati darajasida faollashishini ta’minlaydi. Natijada kuchli talabalar zerikib qolmaydi, qiynalayotganlarga esa yengilroq topshiriq bilan mavzuni o‘zlashtirish imkoni beriladi.Dars davomida kompetensiyaga yo‘naltirilgan elementlardan quyidagi ttartibda foydalanamiz.

Kompetensiyaga yo‘naltirilgan ta’lim – bu olingan bilim va ko‘nikmalarni keyinchalik real hayotda amaliy qo‘llashga qaratilgan ta’limdir. Mazkur dars ham shu tamoyilga asoslangan holda tuzilgan bo‘lib, quyidagi kompetensiyalar shakllantirilishiga e’tibor qaratildi:

- **Muammoni yechish kompetensiyasi:** Talabalarga dars boshlanishida muammo tarzida savol qo‘yildi (tokli sim atrofidagi hodisani tushuntirish). Dars davomida ular tajriba orqali ushbu muammoni mustaqil hal qildilar va ilmiy asosini topdilar. Shuningdek, muhokama qismida qo‘shimcha masalalarni birgalikda tahlil qilib, yechim topishga intilishdi.
- **Tahlil qilish kompetensiyasi:** Talabalar kuzatgan hodisalarni nazariy bilimlar bilan solishtirib analiz qildilar. O‘lchash natijalarini formulalar bilan taqqoslashdi, turli parametrlar (tok, masofa, o‘ram soni) ta’sirini tahlil qilib ko‘rishdi. Bu jarayon ularning ilmiy-tahliliy fikrlash qobiliyatini oshiradi.

- **Amaliy qo‘llash kompetensiyasi:** Darsning amaliy qismida talabalar nazariy bilimni bevosita tajribada qo‘llashdi. O‘z qo‘llari bilan elektr zanjirini yig‘ib, magnit maydonni “ko‘rinadigan” qilib ko‘rsatdilar. Bu orqali olgan bilimlarini real qurilma va jarayonlarga tatbiq etishni o‘rganishdi. Dars yakunida keltirilgan hayotiy misollar (elektrodvigatel, elektromagnit rele, kompas) esa ularning bilimini yanada qo‘llash doirasini kengaytirdi.
- **Axborot bilan ishlash kompetensiyasi:** Talabalar nazariy ma’lumotlarni tinglab, muhimlarini ajratib oldilar, tajriba jarayonida o‘z kuzatishlarini yozib bordilar, guruhlar taqdimotini tinglab axborotni qayta ishlashdi. Bu dars ularga ilmiy axborotni tushunish va foydalanish malakasini ham shakllantiradi.
- **Kommunikativ va hamkorlik kompetensiyalari:** Guruhlarda ishlash orqali talabalarda jamoaviy faoliyat ko‘nikmalari rivojlanadi. Ular bir-biri bilan muloqotda bo‘lib, vazifalarni bo‘lib olishdi, birgalikda xulosa chiqardilar. Taqdimot va muhokama jarayonida ham fikrlarini ravon ifoda etish, savollarga javob berish orqali kommunikativ qobiliyatlarini mustahkamlashdi.

Mazkur elementlar darsning har bir bosqichiga singdirilgan. Kompetensiyaga yo‘naltirilgan yondashuv natijasida talabalar nafaqat fizikadan nazariy bilim oldilar, balki uni qanday tatbiq etishni, jamoada ishlashni va mustaqil o‘rganishni ham o‘rgandilar. Bu esa ularning shaxsiy va kasbiy rivojiga zamin yaratadi.

Talabalarning nazariy bilimlari mustahkamlandi, amaliy ko‘nikmalari shakllandi va ular jamoaviy muhokama orqali mantiqiy-tahliliy fikrlashni mashq qildilar. Bunday yondashuvdagi darslar talabalarni faollikka, mustaqil o‘rganishga va o‘z ustida ishlashga undaydi. Bu esa zamonaviy ta’limning asosiy talabi – kompetent kadrlarni voyaga yetkazishga xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Imomov O. E. FIZIKADAN AMALIY MASHG’ULOT DARSLARIDA O ‘QUVCHILARNING KREAKTIV FAOLIYATINI RIVOJLANTIRISH. – 2025.
2. Imomov O. DIFFERENTIATED PHYSICS EDUCATION FOR FUTURE ENGINEERS //Journal of Multidisciplinary Sciences and Innovations. – 2025. – Т. 1. – №. 2. – С. 3-5..
3. Imomov , O. . (2025). DIFFERENTIATED PHYSICS EDUCATION FOR FUTURE ENGINEERS. Journal of Multidisciplinary Sciences and Innovations, 1(2), 3–5. Retrieved from https://inlibrary.uz/index.php/jmsi/article/view/84945.
4. Imomov O. E. METHODOLOGICAL MODEL OF DIFFERENTIAL EDUCATION IN TEACHING PHYSICS //World Bulletin of Management and Law. – 2021. – Т. 5. – С. 31-35.
5. Elamonovich I. O. The use of differential education in the organization of practical training in physics //innovative developments and research in education. – 2025. – Т. 3. – №. 36. – С. 12-14.
6. Имомов, О. Э. "ТЕХНИКА ОЛИЙ ТАЪЛИМ МУАССАСАЛАРИДА ФИЗИКАДАН ДИФФЕРЕНЦИАЛ ТАЪЛИМ БЕРИШ НАЗАРИЯСИ." 360.

УМУМИЙ ЎРТА ТАЪЛИМ МАКТАБЛАРИДА ЎҚУВЧИЛАРНИ ЛОЙИҲАВИЙ ФАОЛИЯТГА ЙЎНАЛТИРИШ МЕТОДИКАСИ

Ismonov Turgunpulat To‘lqinovich
Namangan davlat pedagogika instituti mustaqil izlanuvchisi
turgunpolatismanov@gmail.com

Замонавий таълим парадигмасида ўқувчининг таълимий натижаси фақат предметга оид билимларни ўзлаштириш даражаси билан эмас, балки мазкур билимларни янги ва ностандарт вазиятларда қўллай олиши, муаммони мустақил аниқлаши, ахборот манбаларини танлаши,

фаолиятни режалаштириши, муқобил ечимларни ишлаб чиқиши ва олинган натижаларни баҳолай олиши билан белгиланади. Шу нуқтаи назардан лойиҳавий таълим ўқувчининг субъектлик позициясини кучайтирувчи, назарий билимларни амалий фаолият билан интеграцияловчи педагогик технология сифатида алоҳида аҳамият касб этади.

Тадқиқотнинг назарий-методик таҳлили натижасида лойиҳавий фаолиятнинг «муаммо → ғоя → мақсад → режалаштириш → ахборот излаш → амалий-тадқиқот фаолияти → натижа → тақдимот → рефлексия» мантиқий структураси аниқланди. Мазкур структура лойиҳавий фаолиятнинг ички мантиғини ифодалайди ҳамда ўқувчининг муаммони англашидан бошлаб мустақил ечим ва амалий натижага эришишигача бўлган фаолият компонентларининг ўзаро боғлиқлигини таъминлайди. Шу асосда умумий ўрта таълим мактабларида ўқувчиларни лойиҳавий фаолиятга йўналтиришнинг беш босқичли методик модели ишлаб чиқилди.

Биринчи босқич — мотивацион-муаммоли босқич**.** Унда ўқувчиларда лойиҳавий фаолиятга ички мотивация шакллантирилади ва реал ҳаётий вазиятга асосланган муаммо қўйилади. Муаммонинг ўқувчи ёшига мослиги, амалий аҳамиятга эгалиги, бир нечта ечим варианти мавжудлиги ва мустақил изланиш учун имконият яратиши асосий методик талаблар сифатида белгиланади.

Иккинчи босқич — лойиҳалаш-режалаштириш босқичи. Унда лойиҳанинг мақсад ва вазифалари, амалга ошириш босқичлари, ахборот манбалари, муддатлари, иштирокчилар вазифалари ва якуний маҳсулот шакли аниқланади. Мазкур босқич ўқувчиларда мақсад қўйиш, режалаштириш ва қарор қабул қилиш кўникмаларининг шаклланишига хизмат қилади.

Учинчи босқич — амалий-тадқиқот босқичи. Бу босқичда ўқувчилар ахборот қидиради, кузатиш, тажриба, ўлчаш, сўровнома ва моделлаштириш каби тадқиқот усулларидан фойдаланади, олинган маълумотларни қайта ишлайди ва дастлабки хулосаларни шакллантиради. Бунда ўқитувчининг функцияси тайёр ечимни тақдим этишдан кўра, ўқувчининг мустақил фаолиятини методик жиҳатдан қўллаб-қувватлашга йўналтирилади.

Тўртинчи босқич — натижани расмийлаштириш ва тақдим этиш босқичи. Олинган натижалар муайян лойиҳа маҳсулоти — модель, макет, постер, электрон тақдимот, видеоролик, ҳисобот, тавсиянома ёки бошқа шаклда ифодаланади. Тақдимот жараёни ўқувчининг натижани асослаш, далиллаш ва аудитория олдида ҳимоя қилиш компетенцияларини ривожлантиради.

Бешинчи босқич — рефлексив-баҳолаш босқичи. Унда ўқувчи белгиланган мақсадга эришиш даражасини, фаолият жараёнида юзага келган муаммоларни, қўлланилган усулларнинг самарадорлигини ва олинган натижаларни таҳлил қилади. Рефлексия кейинги лойиҳавий фаолият учун индивидуал тажрибани умумлаштириш ва ўз-ўзини ривожлантириш механизми вазифасини бажаради. Тадқиқотда ўқувчиларнинг лойиҳавий мустақиллигини шакллантириш динамикаси ҳам аниқлаштирилди. Унга кўра, репродуктив-йўналтирувчи даражада ўқувчи ўқитувчи томонидан белгиланган мавзу ва алгоритм асосида фаолият юритади; қисман мустақил даражада лойиҳанинг айрим усуллари, ечимлари ва фаолият босқичларини мустақил белгилайди; мустақил ижодий-лойиҳавий даражада эса муаммо, мақсад, тадқиқот усули ва якуний маҳсулотни мустақил танлаш имкониятига эга бўлади. Мазкур динамика ўқувчининг ташқи педагогик бошқарувдан ўз-ўзини бошқаришга босқичма-босқич ўтишини ифодалайди.

Ўқувчиларнинг лойиҳавий фаолиятга тайёрлигини аниқлаш учун мотивацион, когнитив, фаолиятли, коммуникатив, ижодий ва рефлексив мезонлар тизимлаштирилди. Ушбу мезонлар орқали ўқувчининг лойиҳага қизиқиши ва ташаббускорлиги, лойиҳа фаолияти мантиғини англаши, режалаштириш ва қарор қабул қилиш қобилияти, жамоада ҳамкорлик қилиши, муқобил ғояларни илгари суриши ҳамда ўз фаолиятини танқидий таҳлил қила олиши баҳоланади. Лойиҳавий ёндашувнинг амалий имкониятларини физика фани мисолида ҳам кўриш мумкин. Жумладан, 9-синфда «Капилляр ҳодисаларнинг табиат ва турмушдаги аҳамияти» мавзусида турли диаметрдаги

найчаларда сувнинг кўтарилиш баландлигини тажриба асосида аниқлаш, олинган натижаларни таққослаш ва физик боғланишларни таҳлил қилиш ўқувчиларнинг тадқиқотчилик кўникмаларини ривожлантиради. «Қуёш энергиясидан самарали фойдаланиш» мавзусида эса қуёш коллектори ёки қуёш печи моделини ишлаб чиқиш, турли конструкцияларда ҳарорат ўзгаришини ўлчаш ва натижаларни график асосида таҳлил қилиш орқали лойиҳавий ва амалий компетенциялар интеграциялашади.

ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР

1. Бехтенова Е.Ф. Педагогические условия формирования проектной деятельности учащихся: на материале национально-регионального компонента школьного исторического образования: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.01. – Новосибирск, 2006. – 276 с.
2. Морозова М.М. Метод проектов как феномен образовательного процесса в современной школе: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.01. – Ульяновск, 2005. – 231 с.
3. Теплоухова Л.А. Формирование универсальных учебных действий учащихся основной школы средствами проектной технологии: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.01. – Пермь, 2012. – 250 с.
4. Гребенникова О.А. Проектная деятельность как средство развития познавательных интересов старшеклассников: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.01. – Великий Новгород, 2005. – 181 с.
5. Блохин А.Л. Метод проектов как личностно-ориентированная педагогическая технология: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.01. – Ростов-на-Дону, 2005. – 154 с.

FIZIKA TA’LIMI SAMARADORLIGINI OSHIRISHDA RAQAMLI TA’LIM TEXNOLOGIYALARIDAN FOYDALANISH METODIKASI (Oliy ta’lim muassasalari misolida)

Jumanov Shokir Eshimovich, Qarshi davlat universiteti Nazariy va eksperimental fizika kafedrasi o‘qituvchisi

1. Kirish

O‘zbekiston Respublikasi oliy ta’lim tizimini 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasida ta’lim jarayoniga raqamli texnologiyalarni joriy etish, o‘quv jarayonini shaxsga yo‘naltirish va natijadorlikni oshirish ustuvor vazifa sifatida belgilangan. Fizika esa mavhum tushunchalar (maydon, to‘lqin, kvant holat) va matematik apparatning murakkabligi sababli talabalar tomonidan qiyin o‘zlashtiriladigan fanlardan biri hisoblanadi. An’anaviy ma’ruza-seminar shakli talabani asosan passiv tinglovchiga aylantiradi, real tajriba o‘tkazish uchun esa asbob-uskunalar va vaqt yetishmaydi.

Shu bois tadqiqotning maqsadi — fizika ta’limida raqamli texnologiyalarni pedagogik jihatdan asoslangan tizim asosida qo‘llash metodikasini ishlab chiqish va uning samaradorligini tajribada baholashdan iborat.

2. Nazariy asoslar va tadqiqot metodlari

Tadqiqotda uchta konsepsiya asos qilib olindi. **TPACK** (Mishra va Koehler, 2006) modeli o‘qituvchining fan, pedagogika va texnologiya bo‘yicha bilimlari uyg‘unligini talab qiladi. **SAMR** (Puentedura) modeli texnologiyadan foydalanish darajasini to‘rt bosqichda — almashtirish, kengaytirish, o‘zgartirish va qayta shakllantirish — baholashga imkon beradi. **Konstruktivizm** nazariyasiga ko‘ra talaba bilimni tayyor holda qabul qilmaydi, balki faol tajriba orqali o‘zi quradi.

Tadqiqot 2024–2025 o‘quv yilida “Mexanika va molekulyar fizika” bo‘limi bo‘yicha o‘tkazildi. Ikkita guruh shakllantirildi: nazorat guruhi (n = 62) an’anaviy usulda, tajriba guruhi (n = 64) esa quyida keltirilgan raqamli metodika asosida o‘qitildi. Ma’lumotlar Force Concept Inventory (FCI) tipidagi konseptual test, masalalar yechish va laboratoriya ishlari bo‘yicha nazorat topshiriqlari orqali to‘plandi.

3. Raqamli o‘qitish metodikasining modeli

Ishlab chiqilgan metodika to‘rt bosqichli siklik model ko‘rinishida tuzildi (1-rasm). Har bir bosqich muayyan pedagogik texnologiya va raqamli vosita bilan ta’minlangan, yakuniy bosqichda olingan natijalar keyingi siklni takomillashtirish uchun teskari aloqa sifatida ishlatiladi.

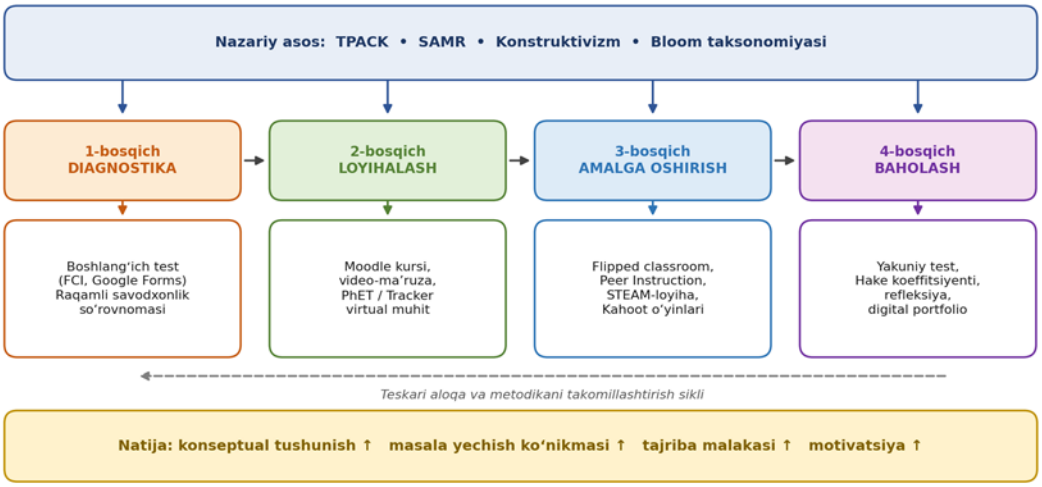
Modelning asosiy tamoyillari quyidagilardan iborat:

– Aralash ta’lim (blended learning): nazariy material Moodle/Google Classroom platformasida video-ma’ruza va interaktiv testlar orqali dars oldidan o‘zlashtiriladi;

– Teskari sinf (flipped classroom): auditoriya vaqti masala yechish, munozara va tajribaga ajratiladi;

– Virtual eksperiment: PhET Interactive Simulations, Tracker (video tahlil) va Phyphox (smartfon sensorlari) yordamida tajribalar o‘tkaziladi;

– Gamifikatsiya va formativ baholash: Kahoot, Quizizz va Mentimeter orqali o‘zlashtirish real vaqtda kuzatiladi.



1-rasm. Fizika ta’limida raqamli texnologiyalarni qo‘llash metodikasining to‘rt bosqichli modeli

1-jadvalda mavzular bo‘yicha raqamli vositalarning pedagogik texnologiyalarga mosligi ko‘rsatilgan.

1-jadval. Fizika mavzulari bo‘yicha raqamli vosita va texnologiyalar mosligi

Mavzu	Raqamli vosita	Pedagogik texnologiya	SAMR darajasi
Nyuton qonunlari	PhET “Forces and Motion”	Tadqiqotga asoslangan ta’lim (IBL)	Modifikatsiya
Garmonik tebranishlar	Phyphox, Tracker	STEAM-loyiha, video tahlil	Qayta shakllantirish
Molekulyar kinetik nazariya	PhET “Gas Properties”	Vizualizatsiya, muammoli ta’lim	Kengaytirish
Elektr maydoni	PhET, GeoGebra	Peer Instruction	Modifikatsiya
To‘lqin optikasi	Virtual laboratoriya (Algodoo)	Flipped classroom	Modifikatsiya
Kvant fizikasi asoslari	AR/VR ilovalar, YouTube	Keys-stadi, gamifikatsiya	Qayta shakllantirish

4. Dars ssenariysi: teskari sinf asosida

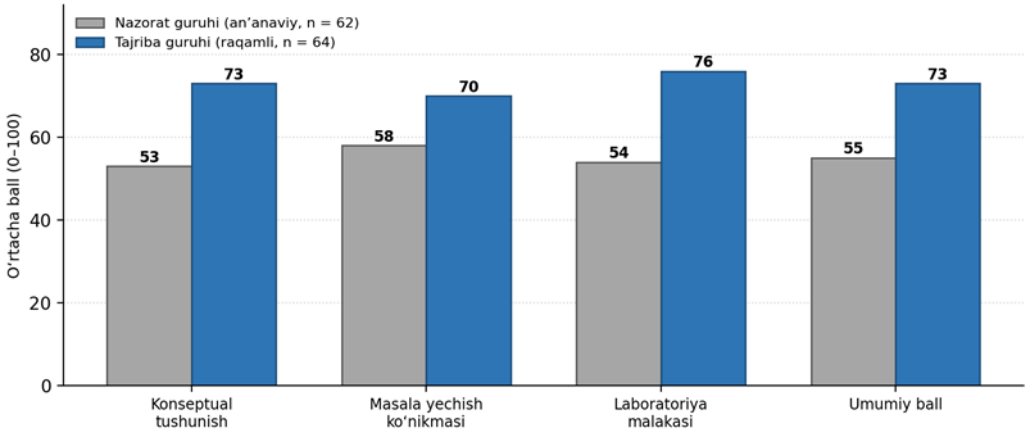
Metodikaning amaliy joriy etilishini “Garmonik tebranishlar” mavzusidagi 80 daqiqalik dars misolida ko‘rish mumkin (2-jadval). Talaba dars oldidan 10–12 daqiqalik video-ma’ruza ko‘radi va Moodle’da 5 ta savoldan iborat test topshiradi; natijalar asosida o‘qituvchi auditoriya mashg‘ulotini moslashtiradi.

2-jadval. “Garmonik tebranishlar” mavzusidagi darsning bosqichlari

Bosqich	Vaqt	Faoliyat mazmuni	Vosita
Dars oldi	15 daq.	Video-ma’ruza, kirish testi, savollar forumi	Moodle, H5P
Faollashtirish	10 daq.	Konseptual savol, talabalar ovoz berishi	Mentimeter
Munozara	15 daq.	Kichik guruhlarda tengdosh muhokamasi, qayta ovoz berish	Peer Instruction
Tajriba	30 daq.	Smartfon bilan mayatnik davrini o‘lchash, grafik qurish	Phyphox, Excel
Mustahkamlash	15 daq.	Blits-so‘rov, o‘yin ko‘rinishidagi test	Kahoot
Dars keyin	20 daq.	Refleksiya, hisobot va portfolio yuklash	Google Classroom

5. Tajriba natijalari va muhokama

Tajriba boshida guruhlar o‘rtasida sezilarli farq kuzatilmadi (nazorat guruhida 38,4 ball, tajriba guruhida 39,1 ball). O‘quv sikli yakunida tajriba guruhining barcha ko‘rsatkichlari nazorat guruhidan yuqori bo‘ldi (2-rasm). Ayniqsa laboratoriya malakasi va konseptual tushunish bo‘yicha o‘sish yaqqol namoyon bo‘ldi, bu virtual eksperiment va tengdoshlar muhokamasining ta’siri bilan izohlanadi.



2-rasm. Yakuniy test natijalari (o‘rtacha ball) bo‘yicha guruhlarni solishtirish

O‘zlashtirish dinamikasi Hake bo‘yicha normallashtirilgan o‘sish koeffitsiyenti g = (post − pre) / (100 − pre) formulasi orqali baholandi (3-jadval).

3-jadval. Guruhlar bo‘yicha o‘zlashtirish dinamikasi

Guruh	n	Boshlang‘ich ball	Yakuniy ball	g	Daraja
Nazorat (an’anaviy)	62	38,4	55,0	0,27	Past
Tajriba (raqamli)	64	39,1	73,0	0,56	O‘rta–yuqori

Hake tasnifiga ko‘ra g < 0,3 past, 0,3–0,7 o‘rta darajadagi o‘sishni bildiradi. Tajriba guruhida koeffitsiyent nazorat guruhiga nisbatan taxminan 2 baravar yuqori bo‘lib, farq statistik jihatdan ahamiyatli (Styudent mezoni bo‘yicha p < 0,01). Talabalar so‘rovnomasida ishtirokchilarning aksariyati o‘zlashtirish qiziqarli va tushunarli bo‘lganini qayd etdi.

Eslatma: *maqoladagi tajriba ko‘rsatkichlari namunaviy (illyustrativ) xarakterga ega bo‘lib, muallif o‘z tadqiqot ma’lumotlari bilan almashtirishi lozim.*

6. Joriy etishdagi muammolar va tavsiyalar

Tajriba jarayonida raqamli metodikani amalga oshirishda bir qator to‘siqlar aniqlandi. 4-jadvalda ularning asosiy turlari va tavsiya etilgan yechimlar keltirilgan.

4-jadval. Asosiy muammolar va ularni bartaraf etish yo‘llari

Muammo	Sababi	Tavsiya etilgan yechim
Internet va qurilmalar yetishmasligi	Auditoriyalarda Wi-Fi sifatsiz, ba’zi talabalarda smartfon yo‘q	Oflayn kontent (H5P, PDF), 2–3 kishilik guruhlarda ishlash
O‘qituvchining raqamli kompetensiyasi past	Muntazam malaka oshirish yo‘qligi	Ichki treninglar, TPACK asosidagi mentorlik dasturi
Talabalarning dars oldi tayyorgarligi past	Video-ma’ruzaga mas’uliyatsizlik	Kirish testi, ball tizimi, badge va reyting
Virtual tajribaning real tajribani siqib chiqarishi	Faqat simulyatsiyaga tayanish	Gibrid model: avval virtual, keyin real o‘lchash

Shuningdek, virtual laboratoriya real eksperimentni to‘liq almashtirmasligini, balki uni oldindan tayyorlovchi va chuqurlashtiruvchi vosita sifatida ishlatilishi maqsadga muvofiqligini alohida ta’kidlash lozim.

7. Xulosa

Tadqiqot natijalari fizika ta’limida raqamli texnologiyalarni tizimli, pedagogik maqsadga yo‘naltirilgan holda qo‘llash o‘zlashtirish sifatini sezilarli oshirishini ko‘rsatdi. Metodikani muvaffaqiyatli joriy etish uchun: (1) texnologiya emas, balki o‘quv maqsadi birlamchi bo‘lishi; (2) dars oldi, auditoriya va dars keyingi bosqichlar bir-biri bilan bog‘lanishi; (3) o‘qituvchining raqamli kompetensiyasi muntazam rivojlantirilishi; (4) formativ baholash orqali doimiy teskari aloqa ta’minlanishi zarur.

Kelgusi tadqiqotlarda sun’iy intellektga asoslangan shaxsiy o‘quv yordamchilari (AI-tutor), kengaytirilgan reallik (AR) laboratoriyalari va o‘quv analitikasi (learning analytics) vositalarini metodikaga kiritish orqali har bir talabaning o‘zlashtirish traektoriyasini individuallashtirish ko‘zda tutilmoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 8-oktyabrdagi PF-5847-son Farmoni. O‘zbekiston Respublikasi oliy ta’lim tizimini 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasi.
2. Mishra P., Koehler M.J. Technological Pedagogical Content Knowledge: A framework for teacher knowledge // Teachers College Record, 2006, 108(6), pp. 1017–1054.
3. Hake R.R. Interactive-engagement versus traditional methods // American Journal of Physics, 1998, 66(1), pp. 64–74.
4. Crouch C.H., Mazur E. Peer Instruction: Ten years of experience and results // American Journal of Physics, 2001, 69(9), pp. 970–977.
5. Wieman C.E., Adams W.K., Perkins K.K. PhET: Simulations that enhance learning // Science, 2008, 322, pp. 682–683.
6. Bergmann J., Sams A. Flip Your Classroom: Reach Every Student in Every Class Every Day. ISTE, 2012.

7. Puentedura R. SAMR: A Contextualized Introduction. Hippasus, 2013.

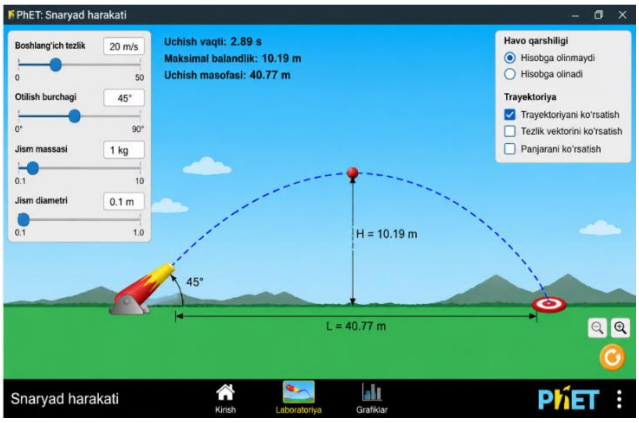
SNARYAD HARAKATI QONUNIYATLARINI INTERAKTIV SIMULYATSIYA MUHITIDA MODELLASHTIRISH VA TAHLIL QILISH

Karshiboyev Shavkat Esirgapovich
Samarqand davlat pedagogika instituti
Samiyeva Sitora Abduroziq qizi
Samarqand davlat pedagogika instituti
Tabiiy fanlar fakulteti Fizika va astronomiya yo‘nalishi 4- kurs talabasi
Alqarova Marjona Azizbek qizi
Samarqand davlat pedagogika instituti Fizika yo‘nalishi 2-kurs talabasi
shavkatarshiboyev@samdpi.uz

Kirish: Mexanika bo‘limida snaryad harakati jismlarning ikki o‘lchamli harakat qonuniyatlarini o‘rganishda muhim mavzulardan biri hisoblanadi. Bunday harakatda jismning gorizontal va vertikal yo‘nalishdagi harakati bir vaqtda sodir bo‘lib, natijada parabola ko‘rinishidagi trayektoriya hosil bo‘ladi. Boshlang‘ich tezlik va otilish burchagining o‘zgarishi esa uchish masofasi, maksimal balandlik hamda harakat davomiyligiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi.

Mazkur jarayonlarni faqat matematik ifodalar orqali tushuntirish o‘quvchilarda harakat trayektoriyasini to‘liq tasavvur qilishda qiyinchilik tug‘dirishi mumkin. Shu sababli interaktiv simulyatsiyalar yordamida snaryad harakatini modellashtirish fizik parametrlarni boshqarish va ularning natijaga ta’sirini bevosita kuzatish imkonini beradi. Virtual tajribada olingan natijalarni nazariy hisob-kitoblar bilan taqqoslash esa o‘quvchilarning kuzatish, tahlil qilish va fizik qonuniyatlar asosida xulosa chiqarish ko‘nikmalarini rivojlantiradi.

PhET “Snaryad harakati” virtual laboratoriyasida otilish burchagining jism harakatiga ta’sirini o‘rganish



Ushbu virtual tajribada gorizontga burchak ostida otilgan jismning harakat trayektoriyasi o‘rganiladi. Tajribaning asosiy maqsadi — otilish burchagi o‘zgarganda jismning uchish masofasi, maksimal ko‘tarilish balandligi va uchish vaqtining qanday o‘zgarishini aniqlash. Buning uchun PhET simulyatsiyasida boshlang‘ich tezlik $v_0 = 20\ \frac{m}{s}$ qilib olinadi va tajriba davomida o‘zgartirilmaydi.

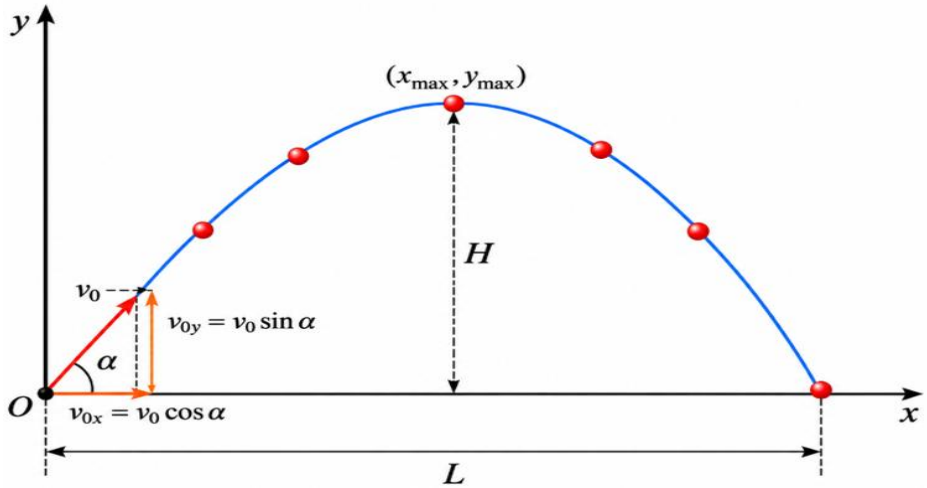
Dastlab havo qarshiligi hisobga olinmaydi. Jism navbat bilan $30^0,\ 45^0\ va\ 60^0$ burchaklarda otiladi. Har bir holatda hosil bo‘lgan trayektoriya kuzatilib, jismning maksimal balandligi H, uchish masofasi L va uchish vaqti t aniqlanadi. Olingan qiymatlar jadvalga kiritilib, o‘zaro taqqoslanadi.

Otilish burchagi, a	Boshlang‘ich tezlik, $v_0, (\frac{m}{s})$	Maksimal balandlik, H (m)	Uchish masofasi, L, (m)	Uchish vaqti, t, (s)
30°	20 m/s	H_1	L_1	t_1
45°	20 m/s	H_2	L_2	t_2
60°	20 m/s	H_3	L_3	t_3

Virtual tajriba natijalari nazariy formulalar bilan taqqoslanadi:

$$L = \frac{v_0^2 sin2a}{g}, H = \frac{v_0^2 sin^2 a}{2g}, t = \frac{2v_0 sina}{g}$$

Tajriba orqali o‘quvchilar bir xil boshlang‘ich tezlikda 30° va 60° burchaklarda uchish masofalari teng bo‘lishini, biroq maksimal balandlik va uchish vaqti farq qilishini kuzatadilar. Ideal sharoitda 45^0burchakda esa jism eng katta uchish masofasiga erishadi.



Keyingi bosqichda havo qarshiligi yoqilib, tajriba qayta bajariladi. Olingan natijalar ideal holat bilan taqqoslanadi. Shu orqali o‘quvchilar nazariy model va real harakat sharoiti o‘rtasidagi farqni virtual tajriba asosida tahlil qilish imkoniyatiga ega bo‘ladilar.

Otilish burchagi snaryadning trayektoriyasi, maksimal balandligi, uchish vaqti hamda uchish masofasini belgilovchi asosiy parametrlardan biridir. Virtual tajriba ushbu bog‘lanishlarni bevosita kuzatish va nazariy formulalar bilan solishtirish imkonini beradi.

Xulosa

Snaryad harakatini interaktiv simulyatsiya muhiti asosida modellashtirish mexanik jarayonlarning fizik mohiyatini chuqurroq anglash hamda nazariy qonuniyatlarni amaliy natijalar bilan uyg‘un holda tahlil qilish imkonini beradi. PhET virtual laboratoriyasida boshlang‘ich tezlik va otilish burchagi parametrlarini boshqarish orqali snaryad trayektoriyasi, maksimal ko‘tarilish balandligi, uchish vaqti hamda gorizontal uchish masofasining mazkur parametrlarga bog‘liqligi vizual va miqdoriy jihatdan o‘rganiladi. Olingan natijalarni nazariy formulalar asosida hisoblangan qiymatlar bilan taqqoslash o‘quvchilarda fizik qonuniyatlarni tahlil qilish, eksperimental natijalarni izohlash va ilmiy xulosa chiqarish ko‘nikmalarining shakllanishiga xizmat qiladi. Shu sababli interaktiv simulyatsiyalardan foydalanish mexanika bo‘limini o‘qitishda samarali didaktik vosita sifatida muhim ahamiyat kasb etadi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Ismailov F.R., Karshiboyev Sh.E., Murodov S.N., Hayitova G.N. Fizika fanidan laboratoriya ishlarini bajarish bo‘yicha uslubiy qo‘llanma. – Samarqand, 2023. Manba SamDPI elektron kutubxonasida o‘zbek tilida qayd etilgan.
2. Xoliqov Q.T., Karshiboyev Sh.E., Sulaymanov O.A., Egamberdiyev T.X. Fizika ta’limida onlayn virtual laboratoriyalardan foydalanishning afzalliklari // Fan va ta’lim integratsiyasi. – 2023. – №1. Maqolada PhET platformasidan foydalanish ham yoritilgan.
3. Karshiboyev Sh.E., Murodov D., Patinov J. Raqamli texnologiyalar vositasida laboratoriya mashg‘ulotlarini tashkil etish va o‘tkazish metodikasini takomillashtirish // Models and Methods in Modern Science. – 2024. – J. 3, №2. – B. 109–113.
4. Inatov A., Karshiboyev Sh., Musakulov Q., Eliboyev S. Talabalarning fizika fanidan mustaqil ta’limga oid kasbiy kompetentligini shakllantirishda raqamli texnologiyalardan foydalanish metodikasi // Innovative Development in Educational Activities. – 2024. – J. 3, №8. – B. 69–77.
5. Zoirov S.X., Ikromov A., Karshiboyev Sh.E., Norqulova M.M., Xoshimov T.F. “LabVIEW” dasturida virtual laboratoriyalarni yaratish metodikasi // Fan va ta’lim integratsiyasi. – o‘zbek tilida.
6. Mamatov Z.U., Zoirov S.X., Imomov B.U. Laboratoriya darslarini samarali tashkil qilish omillari // Science and Education. – 2024. – J. 5, №12. – B. 224–228. Mualliflar orasida O‘zbekiston–Finlandiya pedagogika instituti vakillari mavjud.
7. Dusmuratov M.B., Suyarov K.T., Tillaboyev A.M. Umumiy fizika. Mexanika. – Toshkent: City of Books, 2023. – 432 b.
8. Eshchanov E.X., Dusmuratov M.B., Rustamov U.R. Umumiy fizika. Mexanika va molekulyar fizikadan masalalar yechish. – Toshkent: Zebo Print, 2023. – 301 b.
9. Ernazarov A.N., Dusmuratov M.B., Isroilov Sh.Sh., Astonova D.O. Fizikadan masalalar yechish metodikasi. – Toshkent: Zebo Prints, 2024. – 211 b.

MEXANIK ENERGIYANING SAQLANISH QONUNI VA UNING FIZIK JARAYONLARDAGI AHAMIYATI

Karshiboyev Shavkat Esirgapovich
Samarqand davlat pedagogika instituti
Samarqand Sh.,140100. Spitamen shoh ko‘chasi 166-uy
shavkatarshiboyev@samdpi.uz
Samiyeva Sitora Abduroziq qizi
Samarqand davlat pedagogika instituti
Fizika va astronomiya yo‘nalishi 4-kurs talabasi

Mexanik energiyaning saqlanish qonuni klassik mexanikaning muhim fundamental qonunlaridan biri hisoblanadi. U jismlarning harakati, o‘zaro ta’siri va fazodagi holati o‘zgarganda sodir bo‘ladigan energetik jarayonlarni tushuntirish imkonini beradi. Harakat davomida jismning kinetik va potensial energiyalari o‘zgarishi mumkin, biroq faqat konservativ kuchlar ta’sir qiladigan yopiq sistemada ularning umumiy yig‘indisi o‘zgarmas qiymatni saqlaydi. Shu jihatdan energiya tushunchasi mexanik hodisalarni yagona fizik qonuniyat asosida tavsiflash imkonini beradi.

Mexanik energiyaning fizik jarayonlardagi ahamiyati

Mexanik energiyaning saqlanish qonuni tebranma harakatlarni o‘rganishda ham muhim ahamiyat kasb etadi. Masalan, matematik mayatnik chekka holatga yetganida uning tezligi nolga teng bo‘lib, potensial energiyasi eng katta qiymatga ega bo‘ladi. Mayatnik muvozanat holatiga yaqinlashgan sari uning balandligi kamayadi, tezligi esa ortadi. Natijada potensial energiya kinetik energiyaga aylanadi. Muvozanat nuqtasida

kinetik energiya maksimal qiymatga yetadi. Qarama-qarshi tomonga ko‘tarilish jarayonida esa kinetik energiya yana potensial energiyaga aylanib boradi.

Prujinali sistemada energiyaning saqlanish qonuni elastik potensial energiya orqali namoyon bo‘ladi. Prujina siqilgan yoki cho‘zilgan holatda unda elastik energiya to‘planadi. Ushbu energiyaning qiymati:

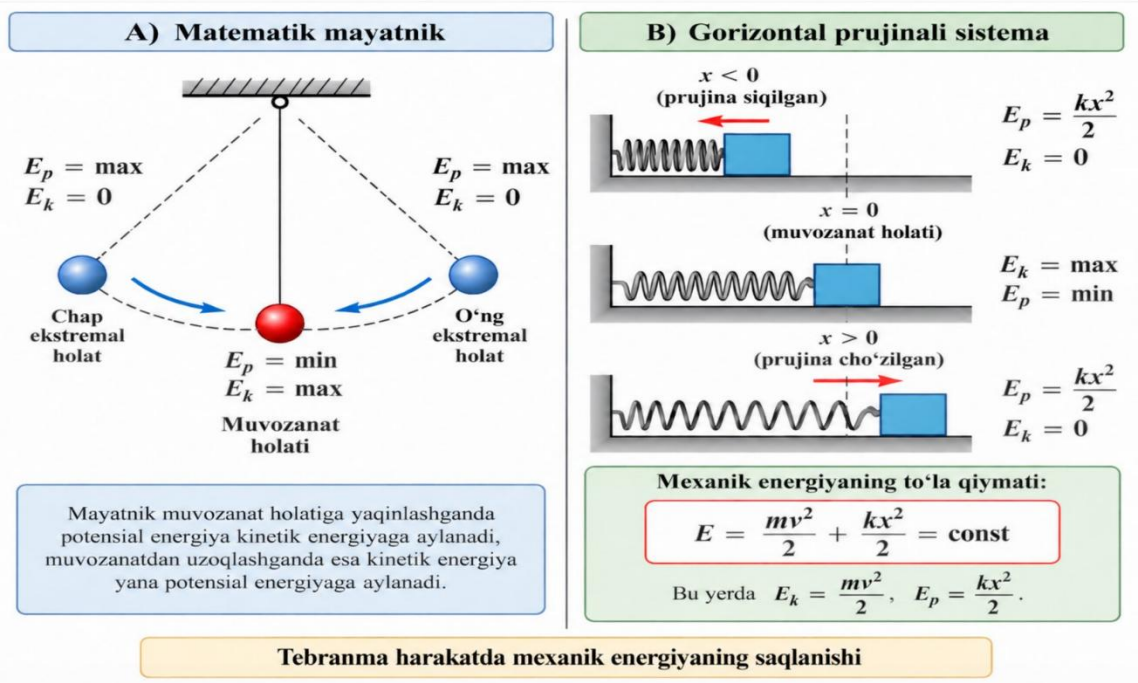
$$E_p = \frac{kx^2}{2}$$

formula bilan ifodalanadi.

Bu yerda k - prujinaning bikrlik koeffitsiyenti, x - deformatsiya kattaligi. Prujina erkin qo‘yib yuborilganda elastik potensial energiya jismning kinetik energiyasiga aylanadi. Ideal prujinali sistemada umumiy mexanik energiya:

$$E = \frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2} = const$$

ko‘rinishida ifodalanadi. Ushbu munosabat tebranish jarayonining energetik tabiatini tushuntirishga yordam beradi.



Mexanik energiyaning saqlanish qonuni energetika, transport, mashinasozlik va boshqa texnik sohalarda ham keng qo‘llaniladi. Masalan, gidroelektr stansiyalarida balandlikda joylashgan suvning potensial energiyasi uning oqimi davomida kinetik energiyaga aylanadi. Suv turbinalarni aylantiradi va mexanik energiya generator orqali elektr energiyasiga aylantiriladi. Shuningdek, transport vositalari, liftlar, mexanik qurilmalar, attraksionlar va sport jarayonlarida ham energiyaning bir turdan boshqa turga o‘tishi kuzatiladi.

Real mexanik sistemalarda ishqalanish kuchi, havo qarshiligi va deformatsiya kabi omillar mavjud bo‘lganligi sababli mexanik energiyaning bir qismi boshqa energiya ko‘rinishlariga o‘tishi mumkin. Masalan, avtomobil tormozlanganda uning kinetik energiyasining bir qismi issiqlik energiyasiga aylanadi. Bunda mexanik energiya kamayadi, biroq umumiy energiya yo‘qolmaydi. Bu holat mexanik energiyaning saqlanish qonuni umumiy energiyaning saqlanish qonunining xususiy ko‘rinishi ekanligini ko‘rsatadi.

Xulosa: Mexanik energiyaning saqlanish qonuni jismlarning harakati va o‘zaro ta’sirini tushuntirishda fundamental ahamiyatga ega. Kinetik va potensial energiyalar mexanik jarayon davomida bir-biriga aylanib

boradi, lekin ideal yopiq sistemada ularning umumiy yig'indisi o'zgarmaydi. Erkin tushish, matematik mayatnik va prujinali tebranishlar ushbu qonunning fizik mohiyatini yaqqol ko'rsatadigan jarayonlardir. Energiya usuli orqali mexanik sistemalarning turli holatlarini miqdoriy va sifat jihatdan tahlil qilish imkoniyati yaratiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Avezmurotov O. Umumiy fizika (mexanika) fanidan o'quv qo'llanma. – Buxoro: Durdona, 2024. – 152 b.
2. Axmedov Sh.B., Dusmuratov M.B. Fizika. 1-qism. – Toshkent: Navro'z, 2021. – 498 b.
3. Bozorov E.X., Suyarov K.T., Dusmuratov M.B. Fizika. 1-qism. Mexanika va molekulyar fizika. – Chirchiq: City of Book, 2023. – 244 b.
4. Dusmuratov M.B., Suyarov K.T., Tillaboyev A.M. Umumiy fizika. Mexanika. – Toshkent: City of Book, 2023. – 432 b.
5. Ernazarov A.N., Dusmuratov M.B., Isroilov Sh.Sh., Astonova D.O. Fizikadan masalalar yechish metodikasi. – Toshkent: Zebo Prints, 2024. – 211 b.
6. Eshchanov E.X., Dusmuratov M.B., Rustamov U.R. Umumiy fizika. Mexanika va molekulyar fizikadan masalalar yechish. – Toshkent: Zebo Print, 2023. – 301 b.
7. Ibadullayev G'.A., Avezmuratova Z.A. Fizikadan masalalar yechish. – Buxoro: Durdona, 2024. – 112 b.

MOBIL ILOVALAR YORDAMIDA KVANT ELEKTRONIKASINI TAKOMILLASHTIRISHNING PEDAGOGIK JIHATLARI

Xaydarov Xayrillo Safarovich *Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti* dossenti,
xaydarovx75 @gmail.com

Kvant elektanikasida yorug'likning majburiy yutilishi, spontan va majburiy nurlanishlarni talabalarga tushuntrishda va idrok etishda axborot texnologiyalardan foydalanish ko'lamining keng miqyosda qo'llashni taqoza etmoqda. Bu esa o'z navbatida mobil ilovalar, mobil ta'lim tushunchalarini kirib kelishiga asos bo'lmoqda. Oliy ta'lim muassasalarida o'quv jarayoni samaradorligini oshirishda mobil vositalar asosidagi ilovalarini takomillashtirish alohida o'rinni egallamoqda. Mobil ilovalar axborot texnologiyalarining dasturiy vositalari bo'lib, ularga qaraganda sifatli va ixcham hamda ishlatish uchun qulay hisoblanadi. Bunday mobil ilovalar planshetlarda, noutbuklarda va kompyuterlarda internetga ulanish uchun qiyinchilik tug'dirmaydi. Mobil texnologiyalardan foydalanib o'qitishda mobil ilovalar muhim rol o'ynaydi. Bu dars berishda dasturiy vosita sifatida xizmat qiladi, hamda oliy ta'lim muassasalarida o'quv jarayonini mobil ilovalar asosida samaradorligini oshirish, o'quv jarayonini takomillashtirish kabi vazifalarni dolzarb ekanligini tasdiqlaydi.

Bu ishda oldin paydo bo'lgan "Mobil Applications" "M-learning" atamalarini ko'rish mumkin. Xorij olimlari tomonidan Axborot kommunikasion texnologiyalarining istiqboli aynan "Mobil ilova", "Mobil ta'lim" jarayonining jadallashuvi bilan uzviy bog'liqligini ko'rish mumkin. Mobil ilova va mobil o'qitishning ustuvor jihatlaridan biri, bugungi kunda barcha talabalarda mobil telefonlarning mavjudligi, hamda mobil aloqalardan samarali foydalanayotganligidadir. Mobil telefonlar uchun cheksiz internetdan foydalanish barcha rivojlangan davlatlarda keng yo'lga qo'yilgan. Shuni ta'kidlash lozimki, rivojlanayotgan mamlakatlarda mobil telefon, mobil ilovalarning turli xususiyatlaridan ko'proq foydalanilmoqda. Shuni ta'kidlash lozimki, mobil ilovalardan foydalanib o'quv jarayonini takomillashtirish yo'nalishida foydalanilyapti, ammo xorijiy davlatlarda mobil vositalarini ta'lim jarayonini integrasiyalash yo'nalishi

rivojlantirilmoqda. Rivojlangan davlatlarda oxirgi yillarda mobil ilovalarni ta’lim jarayoniga tutgan o‘rni to‘g ‘risida xalqaro konferensiyalar, davra suhbatlari, seminarlar o‘tkazilib kelmoqda. Yevropada oxirgi 20 yildan beri “M-learning” xalqaro konferensiyasi doimiy ravishda o‘tkazilmoqda. Maqsad - ta’lim tizimida mobil qurilmalardan foydalanib o‘qitish metodikasini samaradorligini oshirish bo‘lgan “MoLeNET” xalqaro konferensiyasi Buyuk Britaniyada 2007-yildan beri o‘tkazib kelinmoqda.

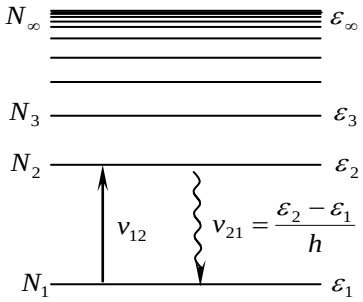
A.M.Molchanovaning tadqiqotida universitetlarda chet tilini o‘qitishda mobil ilovalardan foydalanish imkoniyatlari ko‘rib chiqilgan. Memrise mobil ilovasidan foydalanib mashg‘ulotlarni darslardan bo‘sh vaqtlarida, auditoriyadan tashqarida talabalarga mustaqil ta’lim olish imkonini berishi, berilgan vazifa va topshiriqlarni mobil ilovalarda amalga oshirish, talabalarga qo‘shimcha motivasiya berishi tabiiyligi,tadqiqotchilar tomonidan o‘tkazilgan tajribada mobil ilovalar orqali mustaqil o‘rganib, imtihon topshirgan talabalarning o‘zlashtirish foizi, an’anaviy usulda o‘qitilgan talabalarning yakuniy natijalariga qaraganda yuqori bo‘lishini ta`kidlagan.

Xozirgi texnologiyalarga murojaat qilishning maqsadi an‘anaviy usullardan ko‘ra yaxshiroq o‘rganishga yordam beradigan va mustahkamroq bo‘lgan pedagogikani topishdir. Murakkab g‘oyalar yoki yuqori darajadagi ko‘nikmalarni o‘zlashtirish uchun nima talab qilinishini tushunishga harakat qilib, biz o‘quvchilar mo‘ljallangan ta’lim natijalariga erishish uchun bajarishi kerak bo‘lgan kognitiv faoliyatni boshlashi mumkin bo‘lgan pedagogikani loyihalashimiz mumkin. Bugungi kunga kelib, xorijiy pedagogik adabiyotlarda mobil qurilmalarning texnologik xususiyatlaridan yoki ushbu texnologiyalar tomonidan taqdim etilgan didaktik imkoniyatlardan kelib chiqqan holda mobil ta’limning bir nechta talqinlari va ta’riflari mavjud.

Yuqrorida keltirilgan ilmiy tadqiqotlarda Fizika yo‘nalishidagi “Kvant elektanikasi” fanidan oliy ta’lim muassasalarida mobil ilovalar asosida o‘quv jarayonini takomillashtirish masalasi xususiy hollarda ayrim tadqiqotlarda esa umuman tahlil qilinmagan. Yuqoridagi fikr mulohazalardan kelib chiqqan holda “Kvant elektanikasi” fanidan oliy ta’lim muassasalarida mobil ilovalar asosida o‘quv jarayonini takomillashtirish dolzarb masala ekanligini asoslaydi. Tahlillarga qarasak mobil ilovalar o‘zida video, audio, matn, grafika, testlar, multimedia, animasiya, kompyuter imitasion modellarni mujassamlashtiradi. Shuning uchun biz tadqiqotimizda “Kvant elektanikasi” fanidan fizik jarayonlarni talabalar yaxshi tushunishi uchun mazmun mohiyatini ochib beradigan kompyuter modellarni tayyorladik.

Quyida “Kvant elektanikasi” fanining “Yorug‘likning majburiy yutilishi, spontan va majburiy nurlanishlar” mavzusi bo‘yicha yaratilgan KIMlarni keltiramiz:

Faraz qilaylik, modda bir jinsli atomlardan tashkil topgan bo‘lsin. Atomlar o‘rtasida o‘zaro ta’sir bo‘lmaganda, Bor postulatiga ko‘pa alohida ajratib olingan yakka atomning elektron spektri qator ustma-ust joylashgan energetik sathlardan iborat bo‘ladi. Agar energetik sathlarning energiya qiymatlarini ε_1, ε_2, ε_3,..., ε_∞ deb belgilasak, ular o‘rtasida $\varepsilon_1 < \varepsilon_2 < \varepsilon_3 < ... < \varepsilon_\infty$ munosabat mavjud. Energetik sathlarning bunday ketma-ket to‘plamiga atomning energetik spektri deb ataladi. Energiyaning eng kichik qiymatiga mos keluvchi E_1 energetik sathga – atomning asosiy holati, undan yuqori $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3,..., \varepsilon_\infty$ energetik sathlarga atomning uyg‘ongan holatlari deyiladi. Atomda elektronlar bir energetik sathdan ikkinchi energetik sathga o‘tganda, atom elektromagnit to‘lqinlarini chiqarishi yoki yutishi mumkin.



1-rasm. E_1, E_2, E_3, ... , E_∞ - statsionar energetik sathlarning energiya qiymatlari. N_1, N_2, N_3, ... , N_∞ - energetik holatlardagi atomlar soni.

Shu energetik sathlardan ikkitasini alohida olib qaraymiz. Atomlarning ikki energetik sathli modeli yorug‘likning atomlar bilan o‘zaro ta’sirini o‘rganishni va o‘zaro ta’sirlarni ifodalashni osonlashtiradi. Birinchi energetik holatdagi atomlar sonini N_1 va ikkinchi energetik holatdagi atomlar sonini esa N_2 deb belgilaymiz. Agar modda atomi E_2 energetik sathda, ya’ni uyg‘ongan holatda bo‘lsa, ma’lum vaqtdan keyin tashqi yorug‘lik maydoni ta’sirisiz o‘z-o‘zidan (spontan ravishda) E_1 ga qaytishga intiladi va qaytganda (E_2-E_1) energiya farqiga teng energiya ajralib chiqadi. Uyg‘ongan atomning asosiy energetik holatga o‘z-o‘zidan qaytishi va o‘sha vaqtda yorug‘lik kvantini chiqarishi hodisasiga spontan nurlanish deyiladi. Spontan nurlanish tufayli ajratib chiqarayotgan kvantlar ixtiyoriy yo‘nalishda tartibsiz tarqaladi. Nurlanish chastotasi ν_{21} quyidagicha aniqlanadi:

$$\nu_{21} = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{h}$$

$h = 6{,}62.10^{-27}$ *erg/ s* - Plank doimiysi.

Ma’lum bir *dt* vaqt davomidagi spontan o‘tishlar soni quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$dN_{21}^{s.n.} = A_{21} N_2 dt$$

Bunda: A_{21} - spontan nurlanishning ehtimoliyati yoki spontan nurlanish uchun Eynshteyn koeffitsiyenti deyiladi. Bu koeffitsiyent ikkinchi energetik holatdagi atomning yashash vaqti bilan quyidagicha bog‘langan:

$$A_{21} = \frac{1}{\tau_{sp}}$$ vaqt birligidagi spontan kvant o‘tishlar soni orqali aniqlanadi.

Talabalarga bilim berishda axborat texnologiyalaridan foydalanishda materialning mazmunini chuqurroq o‘rganishga, o‘qitishning turli usullaridan samarali foydalanish orqali o‘quvchilar tushinishi qiyin bo‘lgan bavzularni tushuntrish va tushinish osonlashadi. Kvant elektanika fizikasi fanidan tayyorlagan mobil ilovalar ko‘rib bo‘lmaydigan fizik jarayonlarni kompyuter modellari asosida dushintradi. Yuqoridagi rasmlarda “Nurlanishlar” mavzusini talabalarga oson tushunush imkoniyadlarini beradi. Jumladan tashqi kuch ta’sirida atomning uyg‘ongan xolatga o‘tishini talabalar bevosita mobil qurilmalarida kuzatish imkoniga ega bo‘ladilar. Jarayonlarni kompyuter modellarida tayyorlab mobil ilovalar asosida ma‘ruza, laboratoriya mashg‘ulotlari olib borilsa talabalarda kvant elektanikasi fani tushinishlari va qiziqishlari yanada ortadi.

Adabiyotlar ro‘yxati

1. Colley J., DeGani A., Stead G. What in the World Are You Doing with Your Mobile Phone? World Differences in the Use of Mobiles. Cambridge, 2010.
2. Kukulska-Hulme A. Mobile Learning for Quality Education and Social Inclusion. UNESCO IITI. M., 2010.
3. T.V.Samosenkova, I.V.Savochkina, A.V.Goncharova. Mejdunarodnыy elektronnыy nauchnыy jurnal. Adres vыpuska: pnojournal. wordpress. com/archive19/19-02/ Data publikasii: 30.04.2019.
4. A.M.Molchanova, Bolshoye yevraziyskoye partnyorstvo: lingvisticheskiye, politicheskiye i pedagogicheskiye aspektы moskva, 10 dekabrya 2020 goda
5. Traxler J. Current State of Mobile Learning // M- Learning: Transforming the Delivery of education and Training. 2009. URL: http://www.aupress.ca/index.php/books/ 120155.
6. Kodirov M.K, Urokov Sh.R, Xaydarov X.S. Lazerlarning ishlash prinsipini tushuntirishda klaster metodidan foydalanishning o‘ziga xos jihatlari. Namangan davlat universiteti ilmiy axborotnomasi, 2025-5, b.97-101.

FIZIK KADRLAR TAYYORLASHDA LABORATORIYA ISHLARINI BAJARISHNING MUHIM AHAMIYATI

Kodirovich Mumin Kodirov SamDU professor, Xaydarov Xayrillo Safarovich SamDU dossenti,
xaydarovx75 @gmail.com

Zamonaviy iqtisodiyotning jadal rivojlanishi va ta’lim tizimidagi islohotlar mehnat bozorida yuqori malakali, raqobatbardosh muhandis texnik mutaxassislarni tayyorlash masalasi oliy ta’lim tizimidagi eng ustuvor vazifaga aylandi. Bu esa oliy ta’lim muassasalarida muhandislik yo‘nalishida kadrlar tayyorlash samaradorligini oshirishda o‘qitishning ilg‘or pedagogik texnologiyalarni amaliyotga kiritish zaruriyatini kun tartibiga qo‘ymoqda (06.09.2019-yildagi PF-5812-son). Shu jihatdan, o‘qitish jarayonida faol va interaktiv usullardan foydalanish muhandis mutaxassislarni tayyorlash jarayonining ajralmas qismi bo‘lib, bu talabalarning nazariy bilimlarini amaliy ko‘nikmalar bilan mustahkamlashga xizmat qiladi(Kopilov, 2018).

Amerikalik o‘qituvchi Konni Staut 1994 yilda aytgan gaplari bugungi kunda ham o‘zining dolzarbligini yo‘qotgan emas. Bundan 30-40 yillar oldin diplom olgan o‘qituvchi bugungi kunda ham sinfga kirib xotirjam dars o‘tish holatlari mavjud bo‘lgan vaziyatda bunga o‘xshash holatni xirurgiyada tasavvur qilish mumkin emas. Bu nimadan dalolat beradi? O‘quv jarayoni maktab ta’limida ham, hattoki oliy ta’limda ham Gerbart va Komenskiy davridan juda kam o‘zgargan, ya’ni o‘sha sinf – dars va mashg‘ulotlarni ma’lum sxema asosida o‘tish tizimi tubdan o‘zgargan emas. Albatta aksariyat o‘qituvchilar va ta’lim tizimiga mutasaddi rahbarlar bu fikrga keskin e’tiroz bildiradilar, chunki u davrlardagidan yangi kasblar paydo bo‘ldi va shunga mos ravishda ta’lim mazmuni tubdan o‘zgardi, ko‘plab yangicha o‘qitish vositalari paydo bo‘ldi. Lekin ta’lim tizimida hozirgi kunda ham XIX asrda qabul qilingan o‘qitish paradigmasi: “*o‘qituvchi-o‘quvchi-o‘qituvchi*” sxemasidan foydalanish davom etmoqda. Bu tizim o‘qituvchiga yo‘naltirilgan bo‘lib, bu jarayonda o‘qituvchi markaziy rolni o‘ynaydi va o‘quvchi ta’lim faoliyatining obekti hisoblanadi. O‘quvchi ta’lim jarayonini sub’ekti degan barcha chaqiriq va harakatlar amalda yetarli darajada amalga oshmayapti.

Shu sababdan ham hozirgi vaqtda dunyoning barcha rivojlangan mamlakatlari o‘zlarining ta’lim tizimlarini islohotlashtirish zaruriyatini tushunib yetgan holda, ta’lim oluvchi (o‘quvchi, talaba) haqiqatan ham o‘quv jarayonining markaziy figurasi bo‘lishi kerakligi va uning kognitiv (bilish) faoliyati pedagog tadqiqotchilar, ta’lim dasturlarini, o‘qitish vositalarini ishlab chiquvchilarning diqqat e’tibori markazida

bo‘lishi kerakligini, bilish jarayoni bu o‘qitish emas ekanligini, a’nanaviy ta’limda hozirgacha shunday bo‘lib kelganligini tushunib yetdilar. Bu holat barcha rivojlangan mamlakatlarda o‘rta ta’lim majburiylik maqomini olishi bilan, Yaponiyada esa bunday maqomga oliy ta’lim ham ega bo‘lishi tufayli yanada aniq bo‘ldi.

Laboratoriya mashg‘ulotlari ta’lim jarayonining uzviy qismi sifatida. Oliy ta’lim tizimidagi laboratoriya mashg‘ulotlari o‘quv jarayonining uzviy va amaliy qismi bo‘lib, u talabalar tomonidan nazariy bilimlarni chuqur o‘zlashtirish uchun turli vositalardan (kuzatish, o‘lchash, nazorat, hisoblash texnikasi va h.k.) foydalanish orqali amaliy ko‘nikma va kasbiy malakaga ega bo‘lishiga bevosita xizmat qiladi. Boshqacha aytganda, laboratoriya mashg‘ulotlari talabalarning mustaqil fikrlashini rivojlantirish, ilmiy tadqiqot olib borish ko‘nikmalarini shakllantirish va kelajakdagi kasbiy faoliyatiga tezda kirishib ketishida muhim o‘rin tutadi (Skupina., 2008).

Oliy ta’lim muassasalarida fizika laboratoriya ishlari o‘quv jarayonida muhim o‘rin tutib, talabalarga nazariy bilimlarini amaliyotda qo‘llash, tajriba-sinov ishlari va tanqidiy fikrlash qobiliyatlarini rivojlantirish, hamda ilmiy tadqiqot metodlarini puxta egallash imkonini beradi.

Oliy ta’lim muassasalarida fizika fanini o‘rganishda laboratoriya ishlarining o‘rni va ahamiyatini quyidagicha tavsiflash mumkin:

1. Nazariy bilimlarni mustahkamlash: Laboratoriya ishlari talabalarga ma’ruza va seminar mashg‘ulotlarida o‘rgangan fizik qonuniyatlar va hodisalarni aniq ko‘rish va tushunish imkonini beradi. Eksperimentlarni amaliy bajarish nazariy materiallarni yaxshiroq o‘zlashtirish va eslab qolishga yordam beradi.

2. Amaliy ko‘nikmalarni rivojlantirish: Laboratoriya ishlarini bajarish jarayonida talabalar o‘lchov asboblari va qurilmalari bilan ishlash ko‘nikmalarini egallaydilar, o‘lchashlarni o‘tkazish, ma’lumotlarni qayta ishlash, natijalarni tahlil qilish va xulosa chiqarishni o‘rganadilar. Bu muhim ko‘nikmalar nafaqat o‘qishlarida, balki kelajakdagi ilmiy va kasbiy faoliyatida ham foydali bo‘ladi.

3. Tadqiqot ko‘nikmalarini shakllantirish: Laboratoriya ishlari eksperimentning maqsadi va vazifasini belgilash, eksperimentni rejalashtirish, o‘tkazish metodikasini tanlash, natijalarni tahlil qilish va xulosalar chiqarish kabi tadqiqot ko‘nikmalarini rivojlantirishga yordam beradi. Talabalar mustaqil ishlashga, qaror qabul qilishga, natijalar uchun mas’uliyatli bo‘lishga o‘rganadilar.

4. Tanqidiy fikrlash: Laboratoriya ishlari tanqidiy fikrlashni rivojlantiradi, chunki talabalar olingan natijalarni tahlil qilishlari, mumkin bo‘lgan xatoliklar manbalarini aniqlashlari, natijalarning ishonchligini baholashlari va asosli xulosalar chiqarishlari kerak bo‘ladi.

Umuman olganda, fizika fanidan laboratoriya ishlari oliy ta’limning ajralmas qismi bo‘lib, talabalarga nafaqat nazariy bilimlarni egallash, balki, muvaffaqiyatli ilmiy va kasbiy faoliyat uchun zarur bo‘lgan muhim amaliy va tadqiqotchilik ko‘nikmalarini rivojlantirish imkonini beradi.

Mamlakatimiz oliy ta’lim muassasalarida talabalar tomonidan laboratoriya ishlari va amaliy mashg‘ulotlarni bajarish, o‘tgan asrning 60-yillarida amaliyotga kiritilgan bo‘lib, frontal, guruhli va individual mashg‘ulotlar shaklida tashkil etiladi. Laboratoriya mashg‘ulotlarida talabalarning mustaqil ishlashi, tajribalar o‘tkazishi, fizik asbob-uskunalarda olingan o‘lchash natijalarini mavjud nazariy qonun va tamoyillar asosida tushuntirishi ta’lim sifatini oshirishda muhim rol o‘ynaydi (Kodirov, Urakov, Xaydarov. 2025). Bugungi globallashuv va ta’limning xalqarolashuvi keskin tus olayotgan davrda bo‘lajak mutaxassis kadrlarni zamonaviy chaqiriqlarga javob beradigan, tez o‘zgarib borayotgan ijtimoiy-iqtisodiy sharoitda yashashi va faoliyat yuritishi bevosita ularning kasbiy bilim va malakasiga bog‘liq. Bunday shaxs real sharoitlarda moliyaviy savodxonlikdan tortib tanqidiy fikrlashgacha olgan bilimlarini qo‘llay olish qobiliyatiga ega bo‘lishi kerak.

Laboratoriya ishlarining soni va ularning hajmi ko‘p jihatdan ta’lim muassasasi laboratoriyalarining imkoniyatlariga bog‘liq. Talabalar auditoriyasida turli darajadagi tayyorgarlik darajasidagi talabalar

mavjudligini, mavzu va kelajakdagi kasbiy faoliyat bilan ishlash usullari o‘rtasidagi bog‘liqlikni batafsil muhokama qilgan holda ilmiy tadqiqot elementlarini o‘z ichiga olgan laboratoriya ishlarini olib borish oddiy laboratoriya ishiga qaraganda samaraliroqdir (Seryukova, Nasluzova. 2017).

Laboratoriya mashg‘ulotlarini tashkil etish va o‘tishda mavjud kamchilik va muammolar. Laboratoriya mashg‘ulotlarini tashkil etish va o‘tkazishda ta’lim muassasalarida barcha uchun umumiy bo‘lgan quyidagi kamchiliklarni ko‘rish:

laboratoriya ishlarini bajarish ketma-ketligi aksariyat hollarda tasodifiy xarakterga ega;

talabalarda har doim ham tajriba o‘tkazilayotgan fizikaviy hodisa va qonuniyatlarni tahlil qilish ko‘nikmalari yetarli darajada shakllanmagan;

laboratoriya ishlari uchun o‘ta batafsil metodik tavsiflarning berilishi ularni avtomatik tarzda qayta takrorlashga olib keladi;

talabalarda tajribalarni mustaqil bajarish tayyorgarligi yetarli emas;

har doim ham talabalarning individual tayyorgarlik darajasi e’tiborga olinmaydi;

talabalar asosiy vaqtlarini asosiy maqsadga erishishga emas, ikkinchi darajali ishlarni bajarish, hisobotlarni rasmiyatchilik uchun topshirishga sarflaydilar.

Laboratoriya mashg‘ulotlari uchun qulay sharoit yaratish, har bir talabaga individual ish maydoni taqdim etish, zamonaviy laboratoriya jihozlari bilan ta’minlash zarur. Shuningdek, talabalar bir-birlariga o‘zaro xalaqit bermasligi uchun maxsus zonalar tashkil etish; yuqori aniqlik va diqqatni talab qiluvchi mashg‘ulotlar uchun maxsus jihozlangan xonalar yaratish; laboratoriya ishlarini bosqichma-bosqich tahlil qilishni yo‘lga qo‘yish maqsadga muvofiq deb o‘ylaymiz. Laboratoriya mashg‘ulotlari muhandislik va texnik ta’limning ajralmas qismi bo‘lib, ularning samarali tashkil etilishi talabalar bilim darajasini oshirishda muhim rol o‘ynaydi.

Xulosa. Laboratoriya ishlari samaradorligini oshirish maqsadida quyidagilarni taklif qilamiz:

-eng avvalo, laboratoriya mashg‘ulotlarini tashkil etish va talaba bilimini baholash tartibini qayta ko‘rib chiqish orqali takomillashtirish;

-laboratoriya mashg‘ulotlarini unga mos ma’ruza darslari tugagandan so‘ng dars jadvaliga qo‘yish;

-laboratoriya mashg‘ulotlarida talabalar ishlarni individual bajarishini yo‘lga qo‘yish va baholashning adolatli va ob’ektiv mexanizmini ishlab chiqish;

-laboratoriya darslarida olingan baholarga fizika kursining muayyan bo‘limi bo‘yicha baholashda ustuvorlikni berish;

-talabalarda mustaqil ishlash va fikrlash ko‘nikmalarini shakllantirish mexanizmlarini yaratish;

- maktab va oliy ta’lim bo‘g‘inlari orasida integratsiya jarayonlarini takomillashtirish, jumladan iqtidorli o‘quvchilarni muhandislik sohalariga oid kasblarga motivatsiya shakllantirish maqsadida ta’lim muassasalarida amaliy-uslubiy tadbirlarni amalaga oshirish kerak.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati

1. “Professional ta’lim tizimini yanada takomillashtirishga doir qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining Farmoni, 06.09.2019-yildagi PF-5812-son;

2. Копылов С.Н. Лабораторнаya работа как элемент формированиya профессионалных компетенций бакалавра профессионалного обуcениya Высшее образование сегоднya. 2018. №3. URL: https://cyberleninka.

3. Скипина К.П. Рол вузовской науки в развитии творcческого мышлениya студентов // Фундаменталные исследованиya. 2008. № 9. С. 86-88; URL.

4. Kodirov M.K, Urokov Sh.R, Xaydarov X.S. Lazerlarning ishlash prinsipini tushuntirishda klaster metodidan foydalanishning o‘ziga xos jihatlari. Namangan davlat universiteti ilmiy axborotnomasi, 2025-5, b.97-101.

5. Серюкова И.В, Наслузова О.И. Методика проведениуа лабораторных зануатий по физике в вузе на основе дифференцированного подхода педагогические науки. -2017-41-3-08. Вестник. Красноуарского государственного педагогического университета им. В.П.Астафева.

6. Qodirov M., Urakov Sh., Nizomov X. Umumta’lim maktablarida fizika fanini o‘qitish: Uslubiy qo‘llanma.-Samarqand: SamDU nashriyoti, 2014.-136 b.

ZAMONAVIY FIZIKA TA’LIMIDA INNOVATSION PEDAGOGIK TEXNOLOGIYALAR VA O‘QUVCHILARNING ILMIY TAFAKKURINI RIVOJLANTIRISH

DSc. A.Xakimov, PhD.M.B.Rasulova, talaba G.D.Doniyorbekova
Andijon davlat universiteti
E-mail: gulxayodoniyorbekova@gmail.com

Bugungi kunda fan va texnikaning jadal rivojlanishi ta’lim tizimiga, xususan, fizika fanini o‘qitish metodikasiga yangi talablarni qo‘ymoqda. Fizika zamonaviy texnika, energetika, axborot texnologiyalari, nanotexnologiya, tibbiyot va muhandislik sohalarining nazariy asosini tashkil etuvchi fundamental fanlardan biridir. Shu sababli yosh avlodga fizik bilimlarni zamonaviy pedagogik yondashuvlar asosida yetkazish, ularda ilmiy dunyoqarash, mantiqiy va tanqidiy fikrlash, tadqiqotchilik hamda amaliy muammolarni hal qilish kompetensiyalarini shakllantirish bugungi ta’lim tizimining muhim vazifalaridan hisoblanadi[1]. Mazkur ishda zamonaviy fizika ta’limining dolzarb masalalari, fizik bilimlarni shakllantirishda innovatsion pedagogik texnologiyalardan foydalanish imkoniyatlari hamda o‘quvchilarning ilmiy tafakkurini rivojlantirishning metodik jihatlari tahlil qilinadi. Fizika fanini o‘qitishda an’anaviy yondashuvlarni zamonaviy raqamli texnologiyalar, virtual laboratoriyalar, kompyuter modellashtirish, STEM-ta’lim, muammoli va loyihaviy ta’lim metodlari bilan uyg‘unlashtirish masalalariga alohida e’tibor qaratiladi. Shuningdek, nazariy bilimlarni amaliy faoliyat bilan bog‘lash, murakkab va abstrakt fizik tushunchalarni vizuallashtirish, tajriba natijalarini tahlil qilish hamda o‘quvchilarning mustaqil izlanish ko‘nikmalarini rivojlantirish imkoniyatlari yoritiladi. Zamonaviy pedagogik texnologiyalarning ta’lim samaradorligiga ta’siri va ularni fizika darslarida maqsadga muvofiq qo‘llash shartlari ko‘rib chiqiladi.

An’anaviy fizika ta’limida ko‘proq nazariy bilimlarni o‘zlashtirish, formulalarni yodlash va standart masalalarni yechishga e’tibor qaratilgan bo‘lsa, zamonaviy ta’lim jarayoni o‘quvchilardan bilimlarni mustaqil tahlil qilish, fizik hodisalarni kuzatish, tajriba asosida xulosa chiqarish, olingan natijalarni izohlash va ularni real hayotiy jarayonlarda qo‘llay olishni talab etmoqda. Ayniqsa, kvant fizikasi, atom va yadro fizikasi, elektromagnit hodisalar, yarimo‘tkazgichlar fizikasi kabi mavzularni o‘rganishda abstrakt tushunchalarni aniq tasavvur qilish muayyan metodik qiyinchiliklarni yuzaga keltiradi. Bunday sharoitda an’anaviy metodlar bilan bir qatorda innovatsion ta’lim texnologiyalaridan foydalanish muhim ahamiyat kasb etadi[2].

Hozirgi davrda raqamli texnologiyalarning ta’lim jarayoniga keng joriy etilishi fizika fanini o‘qitish imkoniyatlarini sezilarli darajada kengaytirmoqda. Virtual laboratoriyalar, kompyuter modellashtirish, interaktiv taqdimotlar, multimedia vositalari va onlayn ta’lim platformalaridan foydalanish orqali o‘quvchilar murakkab fizik jarayonlarni vizual tarzda kuzatish, parametrlarning o‘zgarishini tahlil qilish va nazariy qonuniyatlarni tajriba bilan bog‘lash imkoniyatiga ega bo‘lmoqda. Ayniqsa, real sharoitda namoyish etish qiyin yoki xavfsizlik nuqtayi nazaridan cheklangan jarayonlarni virtual muhitda modellashtirish fizika ta’limining ko‘rgazmalilik va amaliy yo‘nalishini kuchaytiradi.

Zamonaviy fizikani o‘qitish jarayonida o‘quvchilarning ilmiy tafakkurini rivojlantirish, murakkab fizik tushunchalarni samarali o‘zlashtirish hamda nazariy bilimlarni amaliy faoliyat bilan bog‘lash asosiy vazifalardan biridir. Fizika ta’limida abstrakt tushunchalarni tushuntirish, laboratoriya mashg‘ulotlarini

samarali tashkil etish, tajriba natijalarini tahlil qilish va o‘quvchilarning fanga bo‘lgan qiziqishini oshirish bilan bog‘liq qator muammolar mavjud.

Bundan tashqari, barcha o‘quvchilarning bilimni o‘zlashtirish sur’ati va uslubi bir xil emasligi individual va differensial yondashuvni talab etadi. Shu sababli zamonaviy fizika darslarida o‘quvchining faqat tayyor bilimni qabul qilishi emas, balki savol qo‘yishi, gipoteza ilgari surishi, tajriba o‘tkazishi, natijalarni tahlil qilishi va mustaqil xulosaga kelishiga imkon beruvchi ta’lim muhiti yaratilishi lozim.

1-jadvaldan ko‘rinib turibdiki, zamonaviy fizika ta’limidagi muammolarni bartaraf etishda innovatsion texnologiyalar kompleks vosita sifatida namoyon bo‘ladi. Xususan, virtual laboratoriyalar va kompyuter modellashtirish murakkab fizik jarayonlarni tushunarli shaklda namoyish etish imkonini bersa, STEM va loyiha asosidagi ta’lim o‘quvchilarning nazariy bilimlarini amaliy faoliyat bilan bog‘lashga xizmat qiladi.

1-Jadval

Zamonaviy fizika ta’limidagi muammolar va ularning innovatsion yechimlari

	Fizika ta’limidagi dolzarb muammo	**Innovatsion ta’lim texnologiyasi**	**Kutilayotgan natija**
	Abstrakt fizik tushunchalarni o‘zlashtirishning qiyinligi	Kompyuter modellashtirish, animatsiya va multimedia vositalari	Fizik jarayonlarni vizual va dinamik tarzda tushunish imkoniyati oshadi
	Nazariy bilimlarni amaliyot bilan bog‘lash muammosi	STEM-ta’lim, loyiha va muammoli ta’lim	Amaliy, muhandislik va tadqiqotchilik kompetensiyalari shakllanadi
	Laboratoriya tajribalarining vaqt, jihoz va xavfsizlik jihatidan cheklanganligi	Virtual laboratoriyalar va raqamli tajribalar	Tajribalarni xavfsiz, takroriy va individual tarzda bajarish imkoniyati yaratiladi
	O‘quvchilarning darsdagi faolligi pastligi	Muammoli ta’lim, interfaol metodlar va guruhli ish	Mustaqil fikrlash, muloqot va ijodiy yondashuv rivojlanadi
	O‘lchash natijalarini tahlil qilishdagi qiyinchiliklar	Elektron jadvallar, grafik dasturlar va raqamli o‘lchash vositalari	Tajriba natijalarini qayta ishlash va statistik tahlil qilish ko‘nikmasi rivojlanadi
	Individual ta’lim ehtiyojlarini hisobga olishning murakkabligi	Raqamli ta’lim platformalari va differensial topshiriqlar	O‘quvchilarning individual imkoniyatlariga mos ta’lim tashkil etiladi

Raqamli vositalardan foydalanishning yana bir muhim jihati fizik tajribalar natijalarini qayta ishlash va tahlil qilish imkoniyatlarining kengayishidir. Masalan, tajribada olingan qiymatlarni elektron jadvallarga kiritish, ularning grafik bog‘lanishlarini qurish, o‘rtacha qiymatlarni aniqlash, o‘lchash xatoliklarini baholash va natijalarni nazariy model bilan taqqoslash o‘quvchilarda nafaqat fizik, balki matematik-statistik kompetensiyalarni ham shakllantiradi. Shuningdek, muammoli va tadqiqotga asoslangan ta’lim o‘quvchini tayyor formulani qo‘llashdan ko‘ra, fizik muammoning sababini aniqlash, turli taxminlarni ilgari surish va ularni tajriba orqali tekshirishga yo‘naltiradi. Bunday yondashuv o‘quvchilarda ilmiy izlanish madaniyatining dastlabki elementlarini shakllantirishga yordam beradi. STEM-ta’lim doirasida esa fizik bilimlar matematika, informatika, texnologiya va muhandislik elementlari bilan integratsiyalashadi. Masalan, energiya samaradorligi, quyosh energetikasi, issiqlik almashinuvi, elektr zanjirlari yoki ekologik

monitoringga oid loyihalar orqali o‘quvchilar fizik qonuniyatlarning real texnologik jarayonlardagi ahamiyatini anglashlari mumkin[3].

Zamonaviy fizikani o‘qitish jarayonini tahlil qilish shuni ko‘rsatadiki, bugungi ta’lim tizimida fizik bilimlarni samarali shakllantirish uchun an’anaviy metodlar bilan bir qatorda innovatsion pedagogik texnologiyalardan foydalanish muhim ahamiyat kasb etadi. Chunki zamonaviy fizika nafaqat fundamental bilimlar sohasi, balki energetika, elektronika, axborot texnologiyalari, nanotexnologiya, tibbiyot va boshqa ko‘plab ilmiy-texnik yo‘nalishlarning rivojlanishiga asos bo‘luvchi fan hisoblanadi.

Fizika ta’limidagi asosiy muammolardan biri murakkab va abstrakt tushunchalarni o‘quvchilarga tushunarli shaklda yetkazish hamda nazariy bilimlarni amaliy faoliyat bilan bog‘lashdan iborat. Ushbu muammolarni bartaraf etishda raqamli texnologiyalar, virtual laboratoriyalar, kompyuter modellashtirish, interaktiv ta’lim vositalari va tadqiqotga asoslangan metodlardan foydalanish muhim pedagogik imkoniyatlarni yaratadi. Innovatsion ta’lim texnologiyalari o‘quvchilarning fizik hodisalarni chuqurroq anglashiga, mustaqil fikrlashiga, tajriba natijalarini tahlil qilishiga va ilmiy izlanish ko‘nikmalarini rivojlantirishiga yordam beradi. Ayniqsa, STEM-ta’lim, muammoli o‘qitish va loyiha asosidagi ta’lim orqali o‘quvchilar fizik bilimlarni real hayotiy masalalar bilan bog‘lash, tajriba asosida xulosa chiqarish va amaliy muammolarni hal qilish imkoniyatiga ega bo‘ladilar. Shuningdek, zamonaviy fizika ta’limining samaradorligi ko‘p jihatdan o‘qituvchining kasbiy kompetensiyasi, raqamli savodxonligi va innovatsion yondashuvlarni maqsadga muvofiq tanlay olish qobiliyatiga bog‘liq. O‘qituvchi texnologiyani shunchaki namoyish vositasi sifatida emas, balki o‘quvchining fikrlashi, tajriba qilishi, tahlil qilishi va mustaqil xulosa chiqarishini ta’minlovchi pedagogik vosita sifatida qo‘llashi lozim.

Xulosa qilib aytganda, fizikani o‘qitishda innovatsion ta’lim texnologiyalaridan oqilona foydalanish ta’lim sifatini oshirish, o‘quvchilarning fanga qiziqishini kuchaytirish, ilmiy va tanqidiy tafakkurini rivojlantirish hamda nazariy bilimlarni amaliy faoliyat bilan bog‘lashning muhim shartlaridan biridir. Zamonaviy pedagogik yondashuvlarni ta’lim jarayoniga izchil joriy etish orqali fizik bilimlarni chuqur o‘zlashtirgan, mustaqil fikrlaydigan, tadqiqot olib borishga qodir va zamonaviy texnologiyalarni tushunadigan kompetent mutaxassislarni tayyorlash imkoniyatlari kengayadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. **Botirov Sh.** Ta’limda innovatsion pedagogik texnologiyalarning ta’lim sifatini oshirishga ta’siri // *Pedagogika va psixologiya fanlari*. — 2023. — Vol. 3, No. 3. — P. 149–151.
2. **Murodova F.Sh.** Ta’lim jarayonida innovatsion pedagogik texnologiyalarning ahamiyati va samaradorligi // *Журнал академических исследований Нового Узбекистана*. — 2026. — Vol. 3, No. 6. — P. 105–107. DOI: **10.5281/zenodo.20710866**
3. **Axmatova S.** Fizika o‘qitish metodikasidagi dolzarb muammolar va ularni bartaraf etish bo‘yicha tavsiyalar // *Central Asian Journal of Education and Innovation*. — 2025. — Vol. 4, No. 7. — P. 61–71. DOI: **10.5281/zenodo.16351792**

OLIY TA’LIMDA FIZIKA KURSINI O’QITISHDA MUAMMOLI TA’LIM TEXNOLOGIYASIDA FOYDALANISH USULLARI

DSc. A. Xakimov, dots. M.O. Qo‘chkarova, PhD.M.B. Rasulova
Andijon davlat universiteti
E-mail: muqaddasquchqarova@gmail.com

Jamiyat va mamlakatning rivojlanishi o’zaro bog’langan yagona jarayonning asosiy elementi hisoblangan ta’lim tizimining yangilanishi va rivojlanishi davr talabidir. Ilmiy asoslangan yangi va yaxlit tizimning shakllanishi shubhasiz, ham milliy, ham umumbashariy qadriyatlarni anglab olgan erkin shaxsni

kamol toptirishga xizmat qiladi.Hozirgi zamonda oliy va kasb-hunar ta’limi oldida turgan dolzarb muammolardan biri ta’lim turlari, usullari va vositalarini takomillashtirishdir. Bunday o’quv maskanlari uzluksiz ta’lim tizimining muhim tarkibiy qismi sifatida talabalarning tanlagan yo’nalishlari bo’yicha ixtisosliklarini egallashlariga imkon beradi. Bu vazifani hal etishda ularga umumta’lim fanlari bilan bir qatorda maxsus fanlardan ham chuqur bilim berish talab etiladi. Buni amalga oshirish uchun zamonaviy pedagogik texnologiya va uning muhim vositasi hisoblangan axborot texnologiyalaridan foydalanish ta’lim samaradorligini oshirish omili sifatida muhim o’rin tutadi.[1] Fizikada o’rganilayotgan hodisalar doirasini yoki bu fanning shartli chegaralarini aniqlash juda qiyin; faqat bir narsani aytish mumkin: yangi kashfiyotlar, texnikaviy tadqiqotlarning yangi-yangi sohalari bu chegaralarni yildan-yilga kengaytirmoqda. Hozirgi vaqtda fizikaning, masalan, plazma fizikasi, elementar zarralar fizikasi, yarim o’tkazgichlar fizikasi, biofizika, qattiq jismlar fizikasi va boshqalar rivojlanmoqda. Bularning hammasi umumiy fizika kursida aksini topmoqda, biroq fanning asosiy vazifasi hozirgi zamon fizikasining bo’limlarini o’rganishga tayyorlaydi. Bugungi kunda oliy ta’lim tizimida talabalarning nafaqat tayyor bilimlarni egallashi, balki mustaqil fikrlashi, muammolarni tahlil qilishi, ilmiy xulosa chiqarishi va o‘z bilimlarini amaliy faoliyatda qo‘llay olishi muhim vazifalardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, fizika fanini o‘qitishda nazariy bilimlarni amaliy tajribalar bilan bog‘lash, tabiat hodisalarining sabablarini tushuntirish va talabalarda tadqiqotchilik ko‘nikmalarini shakllantirish katta ahamiyatga ega. An’anaviy ta’lim jarayonida o‘qituvchi asosiy axborot manbai sifatida namoyon bo‘lsa, muammoli ta’lim texnologiyasida talaba bilimlarni tayyor holda qabul qilmaydi, balki muayyan muammoli vaziyatni hal qilish jarayonida ularni mustaqil ravishda egallaydi.[2] Shu sababli mazkur texnologiyadan fizika mashg‘ulotlarida foydalanish ta’lim samaradorligini oshirishning muhim vositalaridan biri sifatida qaraladi. Muammoli ta’lim — talabalarning bilish faoliyatini faollashtirishga yo‘naltirilgan ta’lim texnologiyasi bo‘lib, unda o‘quv materialini o‘zlashtirish muammoli vaziyatni anglash, muammoni shakllantirish, taxminlar ilgari surish, ularni tekshirish va xulosa chiqarish bosqichlari orqali amalga oshiriladi. Fizika fanining o‘ziga xos xususiyati muammoli ta’lim texnologiyasidan foydalanish uchun keng imkoniyat yaratadi. Chunki fizik hodisalarning aksariyati sabab-oqibat munosabatlarini aniqlash, qonuniyatlarni izlash va tajriba orqali tekshirishni talab qiladi..[3]

Fizika darslarida muammoli ta’limni tashkil etish quyidagi ketma-ketlikda amalga oshirilishi mumkin:

1. **Muammoli vaziyatni yaratish.** O‘qituvchi talabaning mavjud bilimlari bilan izohlay olmaydigan holat yoki savolni taqdim etadi.
2. **Muammoni aniqlash.** Talabalar berilgan vaziyatning mohiyatini tahlil qilib, asosiy muammoni shakllantiradilar.
3. **Gipoteza ilgari surish.** Talabalar muammoning mumkin bo‘lgan yechimlari haqida taxminlar bildiradilar.
4. **Muammoni tadqiq qilish.** Tajriba, hisoblash, kuzatish, formulalar va qo‘shimcha ma’lumotlar yordamida gipotezalar tekshiriladi.
5. **Natijalarni tahlil qilish.** Olingan natijalar nazariy bilimlar bilan taqqoslanadi.
6. **Xulosa chiqarish.** Talabalar muammoning ilmiy asoslangan yechimini mustaqil shakllantiradilar.

Muammoli ta’lim texnologiyasidan foydalanishda o‘qituvchining vazifasi faqat bilim berishdan iborat bo‘lmay, balki talabalarning izlanish faoliyatini tashkil etishdan iborat bo‘ladi. O‘qituvchi muammoli vaziyatni yaratadi, yo‘naltiruvchi savollar beradi, zarur hollarda maslahat beradi va talabalarning mustaqil xulosaga kelishiga sharoit yaratadi. Masalan, **“Mexanik energiyaning saqlanish qonuni”** mavzusini o‘rganishda quyidagi muammoli vaziyatdan foydalanish mumkin: “Yuqoridan tashlangan jism pastga tushish jarayonida tezligini oshiradi. Bunda uning potensial energiyasi kamayadi. Energiya yo‘qolib ketadimi?” Talabalar ushbu savolga javob topish jarayonida potensial va kinetik energiya o‘rtasidagi bog‘liqlikni tahlil qiladilar va mexanik energiyaning saqlanish qonuniyatini tushunadilar. Muammoli ta’limda laboratoriya mashg‘ulotlaridan foydalanish ham samarali hisoblanadi. Tajribani shunchaki

o‘qituvchi ko‘rsatib berishi o‘rniga, talabalarga tajriba natijasini oldindan taxmin qilish va nima sababdan shunday natija kuzatilishini izohlash vazifasi beriladi. Bu yondashuv talabaning kuzatuvchanligi, mantiqiy fikrlashi va ilmiy xulosa chiqarish ko‘nikmalarini rivojlantiradi..[4,5] Shuningdek, kichik guruhlarda muammoli topshiriqlarni bajarish talabalar o‘rtasida fikr almashish va hamkorlikni kuchaytiradi. Har bir guruh muammoning yechimi bo‘yicha o‘z fikrini ilgari suradi, dalillar keltiradi va natijalarni himoya qiladi. Natijada talabalarning kommunikativ kompetensiyasi ham rivojlanadi.

Muammoli ta’lim texnologiyasining fizika fanini o‘qitishdagi asosiy afzalliklari quyidagilardan iborat:

- talabalarning darsdagi faolligini oshiradi;
- mustaqil va mantiqiy fikrlashni rivojlantiradi;
- nazariy bilimlarni amaliy vaziyatlar bilan bog‘lash imkonini beradi;
- fizik qonuniyatlarni chuqurroq anglashga yordam beradi;
- tadqiqotchilik va ijodiy yondashuvni shakllantiradi;
- bilimlarni uzoq muddat xotirada saqlashga yordam beradi;
- talabalarda muammolarni mustaqil hal qilish kompetensiyasini rivojlantiradi.

Xulosa qilib aytganda, oliy ta’limda fizika fanini o‘qitishda muammoli ta’lim texnologiyasidan foydalanish talabalarning bilish faoliyatini faollashtirish va ularning mustaqil fikrlash qobiliyatini rivojlantirishga xizmat qiladi. Fizik hodisalar asosida muammoli vaziyatlarni yaratish, savol va topshiriqlar berish, tajribalarni mustaqil tashkil etish hamda natijalarni tahlil qilish orqali talabalar tayyor bilimni o‘zlashtirishdan ko‘ra, bilimni izlash va asoslash jarayoniga faol jalb etiladi. Shu bois fizika mashg‘ulotlarida muammoli ta’lim texnologiyasini ma’ruza, amaliy va laboratoriya mashg‘ulotlari bilan uyg‘unlashtirish maqsadga muvofiqdir. Mazkur yondashuv talabalarning fan bo‘yicha bilimlarini mustahkamlash bilan birga, ularda ilmiy dunyoqarash, tanqidiy fikrlash, ijodkorlik va amaliy muammolarni hal qilish ko‘nikmalarini shakllantirishga yordam beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Sultonova O‘.N. — “Kompetensiyaviy yondashuv asosida oliy ta’lim muassasalarida fizika o‘qitishni takomillashtirish metodikasi”, 2022
2. Qurbonov M., Sodiqova Sh. Fizikani o‘qitish metodikasi: darslik. – Toshkent, 2023.
3. Yunusov R. F. o‘g‘li. Fizika fanining o‘qitilish metodikasi // Educational Research in Universal Sciences. – 2023. – Vol. 2, № 14, Special Issue. – B. 215–218.
4. O‘rinboyeva K. S. qizi, Ergasheva O. N. qizi. Fizika fanining rivojlanishi va metodikasi // Educational Research in Universal Sciences. – 2023. – Vol. 2, № 14, Special Issue. – B. 368–371.
5. Yusupov K. B. Fizika fanini o‘qitishda ijodiy tafakkurni shakllantirishga ta’sir etuvchi asosiy omillar va ularning pedagogik ahamiyati // Ta’lim va taraqqiyot. – 2026. – № 2.

ZAMONAVIY FIZIKA TARAQQIYOTIDA QATTIQ JISMLI KOMPOZITLARNING O‘RNI VA AHAMIYATI

M.A.Ergasheva - Namangan davlat universiteti Fizika kafedrasi dotsenti,
A.S.Soliyev - Namangan viloyati Yangi Namangan tumanidagi ixtisoslashgan maktab direktor o‘rinbosari,
B.V.Meliboyev - Namangan Davlat Universiteti Kimyo kafedrasi talabasi
bositxonmeliboyev20@gmail.com

KIRISH

Zamonaviy fizikaning eng jadal rivojlanayotgan yo‘nalishlaridan biri qattiq jismlar fizikasi va materialshunoslik hisoblanadi. Bugungi kunda yangi fizik xossalarga ega materiallarni yaratish, ularning tuzilishi va xossalarini boshqarish hamda muayyan texnologik vazifalar uchun moslashtirish ilmiy tadqiqotlarning muhim yo‘nalishiga aylangan. Ayniqsa, bir nechta tarkibiy komponentlardan tashkil topgan

kompozit materiallar o‘ziga xos fizik xususiyatlari bilan an’anaviy materiallardan ajralib turadi. Kompozit material - ikki yoki undan ortiq komponentning ma’lum nisbat va strukturada birikishidan hosil bo‘ladigan, natijada boshlang‘ich komponentlarda alohida namoyon bo‘lmaydigan yoki kuchaytirilgan xossalarga ega bo‘lgan materialdir. Kompozitlarda odatda matritsa va mustahkamlovchi yoki funksional komponent mavjud bo‘ladi. Ularning o‘zaro ta’siri materialning makroskopik fizik xususiyatlarini belgilaydi. Qattiq jismlarning fizik xossalari atomlarning joylashuvi, kristall panjara turi, kimyoviy bog‘lanish tabiati va elektronlarning energetik holati bilan chambarchas bog‘liq [1]. Kompozitlarda esa ushbu omillarga qo‘shimcha ravishda komponentlar orasidagi fazalararo chegara, zarrachalarning o‘lchami, ularning taqsimlanishi va nuqsonlar konsentratsiyasi ham katta ahamiyat kasb etadi.

So‘nggi yillarda nanokompozitlar bo‘yicha tadqiqotlarning kengayishi qattiq jismlar fizikasiga yangi imkoniyatlar olib keldi. Nanometr o‘lchamdagi zarrachalarning sirt-hajm nisbati katta bo‘lgani sababli ularning fizik xossalari makroskopik materiallardan sezilarli darajada farq qilishi mumkin. Nanokompozitlarda fazalararo sirt maydonining ortishi materialning mexanik, elektr, optik va katalitik xususiyatlariga ta’sir ko‘rsatadi. Kompozit materialning umumiy xususiyatlarini baholashda uning tarkibiy komponentlari, hajmiy ulushi va mikrostrukturasi asosiy parametrlar sifatida qaraldi. Agar kompozit ikki fazadan tashkil topgan bo‘lsa, uning hajmiy ulushi quyidagicha ifodalanishi mumkin:

$V_c+V_m=1$

bu yerda (V_c) - mustahkamlovchi yoki funksional komponentning hajmiy ulushi, (V_m) - matritsaning hajmiy ulushi. Kompozitlarning zichligi ideal yaqinlashuvda komponentlar zichligi va ularning hajmiy ulushlari orqali baholanishi mumkin:

$\rho_c=V_m \rho_m+V_f \rho_f$

bu yerda (ρ_c) - kompozitning zichligi, (ρ_m) - matritsa zichligi, (ρ_f) - mustahkamlovchi faza zichligi. Elektr xossalarni tahlil qilishda elektr qarshilik va o‘tkazuvchanlik o‘rtasidagi munosabatdan foydalanildi:

$\sigma=1/\rho_e$

bu yerda (σ) - elektr o‘tkazuvchanlik, (ρ_e) - solishtirma elektr qarshilik. Kompozitlarda issiqlik tashilishi uchun issiqlik oqimi va harorat gradienti o‘rtasidagi bog‘liqlik Furye qonuni orqali ifodalanadi:

$q=-k\nabla T$

bu yerda (q) - issiqlik oqimi, (k) - issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti, (∇T)- harorat gradienti. Bundan tashqari, kompozit materiallarning mikrostrukturasi va fazalararo chegaralari fizik xossalarning shakllanishidagi asosiy omillardan biri sifatida qaraldi.

Kompozitning mexanik xususiyatlariga fazalararo bog‘lanish ham katta ta’sir ko‘rsatadi. Agar matritsa va mustahkamlovchi faza o‘rtasidagi adgeziya yuqori bo‘lsa, tashqi kuchlanish samarali ravishda komponentlar o‘rtasida taqsimlanadi. Aksincha, fazalararo bog‘lanish kuchsiz bo‘lsa, mikrobo‘shliqlar yoki yoriqlar hosil bo‘lishi mumkin. Kompozitlarning issiqlik o‘tkazuvchanligi ham mikrostrukturaga sezilarli darajada bog‘liq. Turli fazalar chegarasida fononlarning sochilishi issiqlik tashilishini cheklashi mumkin [2]. Shu bilan birga, yuqori issiqlik o‘tkazuvchan komponentlardan foydalanish kompozitning issiqlikni samarali chiqarish imkoniyatini oshiradi.

Zamonaviy qattiq jismlar fizikasida kompozitlarning ahamiyati faqat mavjud materiallarning xususiyatlarini yaxshilash bilan chegaralanmaydi. Asosiy maqsadlardan biri — oldindan belgilangan fizik xossalarga ega materiallarni loyihalashdir. Bunda materialning tarkibi, kristall tuzilishi, zarracha o‘lchami, fazalararo chegara va nuqsonlar konsentratsiyasi kabi parametrlar boshqariladi. [3].

XULOSA

Kompozit materiallarning asosiy afzalligi ularning fizik xossalarini maqsadli ravishda boshqarish imkoniyatidir. Tarkibiy komponentlarni tanlash orqali mexanik mustahkamlik, elektr o‘tkazuvchanlik,

issiqlik o‘tkazuvchanligi, magnit va optik xususiyatlarni o‘zgartirish mumkin. Ayniqsa, nanokompozitlarning rivojlanishi qattiq jismlar fizikasi uchun yangi ilmiy imkoniyatlarni yuzaga keltirmoqda. Nanostrukturalarning katta sirt-hajm nisbati, fazalararo ta’sirlarning kuchayishi va o‘lcham effektlari yangi avlod funksional materiallarini yaratish uchun muhim asos bo‘lib xizmat qiladi. Umuman olganda, qattiq jismlarga asoslangan kompozitlarning rivojlanishi zamonaviy fizikaning nazariy va amaliy masalalarini hal qilishda muhim ahamiyatga ega.

Foydalanilgan adabiyotlar

[1]. Kittel, C. Introduction to Solid State Physics. 8th Edition. Hoboken: John Wiley & Sons, 2005.

[2]. Abdusalom Umarov, Mukaddas Ergasheva and Anvarjon Soliev. On the dispersion of two dimensional electrons in the heterostructures with a Kane Nonparabolicity. International Journal of Applied Research 2020

[3]. Callister, W.D., Rethwisch, D.G.Materials Science and Engineering: An Introduction. 9th Edition. Hoboken: John Wiley & Sons, 2014.

TEXNOLOGIYA FANINI O‘QITISHDA MULTIMEDIA, ELEKTRON TA’LIM RESURSLARI VA INTERAKTIV VOSITALARDAN FOYDALANISH METODIKASI (ELEKTROTEXNIKA VA ELEKTRONIKA ELEMENTLARI MISOLIDA)

Mamadaliyeva Dilfuzaxon Kuvatovna
Farg‘ona davlat universiteti, Texnologik ta’lim kafedrasi magistranti

Zamonaviy ishlab chiqarish mikro- va nanoelektronika yutuqlariga tobora ko‘proq tayanmoqda: maishiy texnikadan tortib quyosh energetikasigacha bo‘lgan barcha sohalarda yarimo‘tkazgichli qurilmalar asosiy o‘rin egallaydi. Shu sababli maktab o‘quvchilarida elektrotexnika va elektronika bo‘yicha dastlabki bilim va ko‘nikmalarni shakllantirish texnologiya fanining muhim vazifalaridan biri hisoblanadi. O‘zbekiston Respublikasining “Ta’lim to‘g‘risida”gi Qonuni hamda xalq ta’limi tizimini 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasida ta’lim jarayoniga axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini keng joriy etish ustuvor yo‘nalish sifatida belgilangan [1, 2].

Biroq amaliyotda elektronika mavzularini o‘qitishda qator muammolar kuzatiladi: maktab ustaxonalarida zamonaviy elektron komponentlar va o‘lchov asboblarining yetishmasligi, elektr toki bilan ishlashdagi xavfsizlik cheklovlari, mikroskopik jarayonlarni (masalan, p–n o‘tishdagi zaryad tashuvchilar harakatini) ko‘rgazmali tushuntirishning qiyinligi. Bu muammolarni hal etishda multimedia, ETR va interaktiv vositalarni tizimli ravishda qo‘llash samarali yo‘l hisoblanadi.

Metodikaning nazariy asoslari

Taklif etilayotgan metodika uchta nazariy asosga tayanadi. Birinchisi – R. Mayerning multimedia orqali o‘qitishning kognitiv nazariyasi bo‘lib, unga ko‘ra axborot og‘zaki va vizual kanallar orqali birgalikda berilganda yaxshiroq o‘zlashtiriladi, ortiqcha elementlar esa kognitiv yuklamani oshiradi [3]. Ikkinchisi – o‘qituvchining texnologik-pedagogik-mazmuniy bilimlari (TPACK) modeli bo‘lib, u vositani mavzu mazmuni va pedagogik maqsadga moslab tanlashni talab qiladi [4]. Uchinchisi – SAMR modeli bo‘lib, raqamli vositaning oddiy almashtirishdan (Substitution) ta’lim vazifasini tubdan o‘zgartirishgacha (Redefinition) bo‘lgan darajalarini farqlashga yordam beradi [5].

Ushbu asoslarga tayanib, metodikada vositalar uch funksional guruhga ajratildi: multimedia vositalari – ko‘rgazmalilik va vizualizatsiya; ETR – mustaqil va individual ta’lim; interaktiv vositalar – o‘quvchi faolligi va tezkor qayta aloqa. Ularning dars bosqichlari bo‘yicha taqsimoti 1-jadvalda keltirilgan.

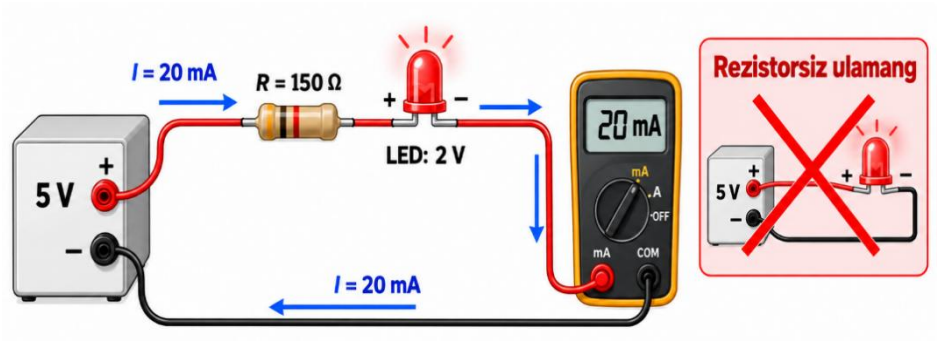
1-jadval. Dars bosqichlari bo‘yicha raqamli vositalarning taqsimoti

Dars bosqichi	Vosita va uning vazifasi	Kutilayotgan natija

Motivatsiya	Qisqa videolavha (2–3 daq.), Mentimeter so‘rovnomasi	Mavzuga qiziqish, dastlabki tasavvurlarni aniqlash
Yangi mavzu bayoni	Taqdimot, 3D-animatsiya, PhET simulyatsiyalari	Jarayonlarning ko‘rgazmali tasavvuri
Mustahkamlash	Tinkercad Circuits virtual laboratoriyasi, LearningApps mashqlari	Amaliy ko‘nikma, xatosiz tajriba
Nazorat	Kahoot, Quizizz testlari	Tezkor formativ baholash
Uyga vazifa	Google Classroom/Moodle dagi ETR	Mustaqil ta’lim, individual sur’at

Amaliy tadbiqlar

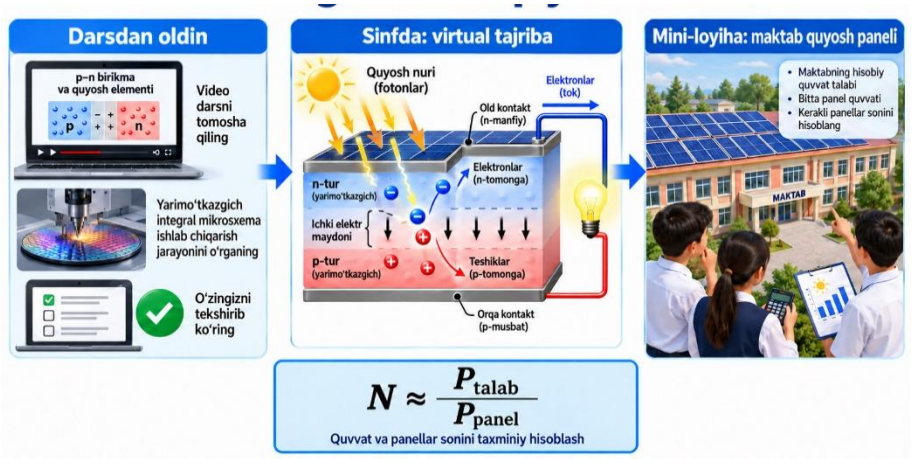
1-tadbiq. “Oddiy elektr zanjiri va yorug‘lik diodi” mavzusida virtual laboratoriya. Dars Tinkercad Circuits muhitida tashkil etiladi. O‘quvchilar kichik guruhlarda 5 V manba, rezistor va yorug‘lik diodidan (LED) iborat zanjirni virtual yig‘adi. Avval rezistorsiz ulash “sinab ko‘riladi” – dastur LEDning ishdan chiqishini ko‘rsatadi, bu esa real sharoitda xavfli yoki qimmat bo‘lgan xatoni xavfsiz tahlil qilish imkonini beradi. So‘ngra o‘quvchilar Om qonuni asosida cheklovchi rezistor qarshiligini hisoblaydi: $R = (U - U_{LED}) / I = (5\ V - 2\ V) / 0{,}02\ A = 150\ Om$.



1-rasm. Oddiy elektr zanjiri va yorug‘lik diodi

Hisoblangan qiymat virtual multimetr yordamida tekshiriladi va natijalar elektron ish varag‘iga kiritiladi. Virtual tajribadan so‘ng eng yaxshi loyiha o‘qituvchi nazoratida real komponentlarda yig‘iladi. Bu tadbiq SAMR modelining “Modifikatsiya” darajasiga mos keladi.

2-tadbiq. “Yarimo‘tkazgichlar va quyosh elementlari” mavzusini aralash ta’lim asosida o‘rganish. “Teskari sinf” (flipped classroom) usulida dars oldidan Google Classroom platformasiga ETR joylashtiriladi: yarimo‘tkazgich va p–n o‘tish haqida 5 daqiqalik videodars, mikrosxemalar ishlab chiqarish bosqichlarini ko‘rsatuvchi animatsiya hamda o‘z-o‘zini tekshirish testi.



2-rasm. Yarimo‘tkazgichlar va Quyosh elementlari

Sinfda vaqt nazariya bayoniga emas, amaliy faoliyatga sarflanadi: o‘quvchilar PhET simulyatsiyasida yorug‘lik ta’sirida zaryad tashuvchilar hosil bo‘lishini kuzatadi, so‘ngra “Maktab binosi uchun quyosh paneli” mini-loyihasi doirasida panel quvvati va sonini taxminiy hisoblaydi. Tadbiq o‘quvchilarni zamonaviy mikroelektronika va qayta tiklanuvchi energetika yutuqlari bilan tanishtiradi hamda kasbga yo‘naltirish vazifasini ham bajaradi [6].

3-tadbiq. Interaktiv vositalar asosida formativ baholash. Dars boshida Mentimeter orqali “Elektronika deganda nimani tushunasiz?” savoliga so‘z buluti tuziladi, bu o‘qituvchiga o‘quvchilarning dastlabki tasavvurlarini aniqlash imkonini beradi. Mustahkamlash bosqichida LearningApps’da elektron komponentlarning shartli belgilarini ularning nomlari bilan moslashtirish mashqi bajariladi. Dars yakunida Kahoot platformasida 8–10 savoldan iborat test o‘tkaziladi; platforma har bir savol bo‘yicha to‘g‘ri javoblar ulushini avtomatik ko‘rsatadi, bu esa o‘qituvchiga keyingi darsda qaysi tushunchalarga qaytish kerakligini aniqlashga yordam beradi.

Metodikani qo‘llash bo‘yicha tavsiyalar

Metodikani amaliyotga joriy etishda quyidagi tamoyillarga amal qilish tavsiya etiladi. Birinchidan, raqamli vosita o‘z-o‘zidan maqsad emas: har bir vosita dars maqsadiga xizmat qilishi, bir dars davomida esa 2–3 tadan ortiq turli platformadan foydalanilmasligi lozim, aks holda o‘quvchilarning diqqati mazmundan texnik jihatlarga chalg‘iydi. Ikkinchidan, videolavha va animatsiyalar qisqa (3–5 daqiqa) bo‘lib, ularni ko‘rishdan oldin o‘quvchilarga aniq topshiriq berilishi kerak. Uchinchidan, virtual laboratoriya real amaliy mashg‘ulotning o‘rnini bosmaydi, balki unga tayyorgarlik bosqichi vazifasini bajaradi: o‘quvchi zanjirni avval virtual muhitda xatosiz yig‘ib, so‘ngra real komponentlar bilan ishlaydi. To‘rtinchidan, internet aloqasi cheklangan maktablar uchun ETR va simulyatsiyalarning oflayn nusxalari oldindan tayyorlab qo‘yilishi maqsadga muvofiq.

Xulosa

Texnologiya fanining elektrotexnika va elektronika bo‘limlarini o‘qitishda multimedia, ETR va interaktiv vositalardan tizimli foydalanish moddiy-texnik baza yetishmovchiligi va xavfsizlik cheklovlarini qisman bartaraf etadi, mikroskopik jarayonlarni ko‘rgazmali qiladi hamda o‘quvchilarning faol o‘quv faoliyatini ta’minlaydi. Metodika samaradorligining asosiy sharti – vositani dars bosqichi va pedagogik maqsadga mos tanlash hamda virtual tajribani real amaliy faoliyat bilan uyg‘unlashtirishdir. Taklif etilgan tadbiqlarni umumiy o‘rta ta’lim maktablari va kasb-hunar maktablarida qo‘llash tavsiya etiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. O‘zbekiston Respublikasining “Ta’lim to‘g‘risida”gi Qonuni. 2020-yil 23-sentabr, O‘RQ-637-son.
2. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 29-apreldagi “O‘zbekiston Respublikasi xalq ta’limi tizimini 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi PF-5712-son Farmoni.

3. Mayer R.E. Multimedia Learning. 2nd ed. – Cambridge: Cambridge University Press, 2009. – 304 p.
4. Mishra P., Koehler M.J. Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge // Teachers College Record. – 2006. – Vol. 108, No. 6. – P. 1017–1054.
5. Puentedura R. Transformation, Technology, and Education. 2006. [Elektron resurs]: http://hippasus.com/resources/tte/
6. Wieman C.E., Adams W.K., Perkins K.K. PhET: Simulations That Enhance Learning // Science. – 2008. – Vol. 322, No. 5902. – P. 682–683.
7. Полат Е.С., Бухаркина М.Ю., Моисеева М.В., Петров А.Е. Новые педагогические и информационные технологии в системе образования. – М.: Академия, 2002. – 272 с.

TEXNIKA OTM TALABALARINING FIZIKADAN AMALIY KOMPETENTLIGINI RAQAMLI VA INTERFAOL TEXNOLOGIYALAR ASOSIDA RIVOJLANTIRISH

Maxmanov Ergash Binoqulovich**,**
Qarshi davlat texnika universiteti Tabiiy fanlar kafedrasi dotsenti, PhD
@ergashmaxmanov; e-mail: makhmanovergash@mail.com

Mamlakatimizda keyingi yillarda ta’lim mazmunini fan va ishlab chiqarishning o‘zaro integratsiyasi asosida shakllantirish borasida tizimli islohotlar amalga oshirilmoqda. 2022–2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasida [7] oliy ta’lim sifatini oshirish va kadrlar tayyorlashni iqtisodiyot tarmoqlari ehtiyojlari bilan uyg‘unlashtirish ustuvor vazifa sifatida belgilangan. Bu vazifani texnika oliy ta’lim muassasalarida (OTM) amalga oshirishda fizika fani alohida o‘rin tutadi, chunki u barcha umumkasbiy va maxsus muhandislik fanlarining nazariy poydevori hisoblanadi.

Biroq amaliyot shuni ko‘rsatadiki, an’anaviy fizika laboratoriya mashg‘ulotlari ko‘p hollarda reproduktiv xarakterga ega: talaba tayyor yo‘riqnoma asosida o‘lchashlarni bajaradi, lekin tajribani mustaqil rejalashtirish, natijalarni tahlil qilish va ularni muhandislik masalasiga tatbiq etish ko‘nikmalari yetarli darajada shakllanmaydi. Shu bois talabalarning fizikadan amaliy kompetentligini zamonaviy raqamli va interfaol texnologiyalar asosida rivojlantirish dolzarb pedagogik muammo hisoblanadi.

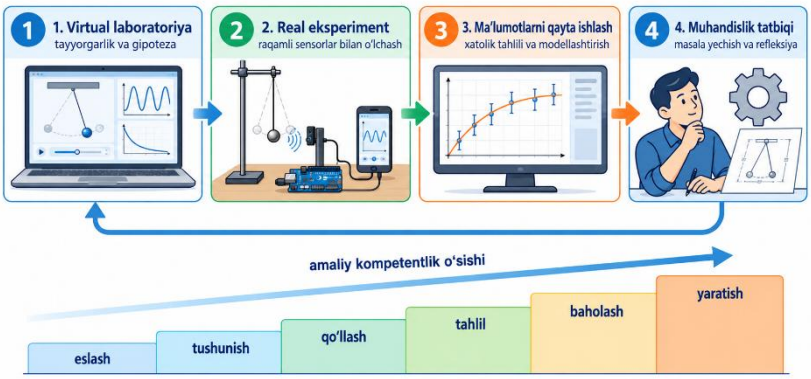
Amaliy kompetentlikning mazmuni va tuzilmasi. Bizningcha, kompetensiya – bo‘lajak muhandisning kasbiy faoliyatida unumli foydalanishi uchun zarur bo‘lgan bilim, ko‘nikma va malakalar majmuini qo‘llash qobiliyati; kompetentlik esa shaxsning ushbu kompetensiyalarni egallaganlik darajasi va kasbiy faoliyatga munosabatidir. Texnika OTM talabalarining fizikadan amaliy kompetentligini rivojlantirish deganda talabada funksional fizik bilimlarni maqsadli shakllantirish jarayonini tushunamiz. Funksional bilim – konseptual darajada anglangan, fizik nazariya doirasida tushuntirila oladigan va yangi vaziyatlarga ko‘chirila oladigan bilimdir [5, 6].

Amaliy kompetentlikning shakllanganlik darajasini baholashda Blum taksonomiyasi [1] va uning qayta ko‘rib chiqilgan varianti [8] asos qilib olinadi: eslash, tushunish, qo‘llash, tahlil qilish, baholash va yaratish. P.Ya. Galperinning aqliy harakatlarni bosqichma-bosqich shakllantirish nazariyasi [3] va V.P. Bespalkoning pedagogik texnologiya konsepsiyasi [4] esa bu darajalarga izchil o‘tishni ta’minlovchi didaktik mexanizmni belgilaydi. Shunga ko‘ra amaliy kompetentlik tuzilmasida to‘rt komponent ajratiladi: motivatsion (fizikaning kasbiy ahamiyatini anglash), kognitiv (funksional bilimlar tizimi), operatsional (eksperiment o‘tkazish, o‘lchash va hisoblash ko‘nikmalari) va refleksiv (o‘z faoliyati natijalarini tanqidiy baholash) [2].

Faol o‘qitishning samaradorligi. Zamonaviy fizika ta’limi tadqiqotlari an’anaviy ma’ruza shaklidan faol o‘qitish usullariga o‘tish zarurligini isbotlaydi. R. Hake 62 ta kursda tahsil olgan 6542 nafar talaba

natijalarini tahlil qilib, interfaol usullar qo‘llanilgan kurslarda normallashtirilgan o‘zlashtirish ko‘rsatkichi o‘rtacha 0,48 ni, an’anaviy kurslarda esa 0,23 ni tashkil etganini, ya’ni qariyb ikki baravar yuqori bo‘lganini aniqlagan [9]. S. Freeman va hammualliflarining 225 ta tadqiqot bo‘yicha meta-tahlili ham tabiiy va muhandislik fanlarida faol o‘qitish talabalar natijalarini oshirishi, an’anaviy ma’ruzada esa o‘zlashtira olmaslik ehtimoli taxminan 1,5 baravar yuqoriligini ko‘rsatdi [10].

Raqamli texnologiyalarni qo‘llash yo‘llari. Amaliy kompetentlikni rivojlantirishda quyidagi texnologiyalarni kompleks qo‘llash samarali hisoblanadi. Birinchidan, virtual laboratoriyalar va interfaol simulyatsiyalar (masalan, Kolorado universitetining PhET loyihasi) talabaga ko‘zga ko‘rinmaydigan jarayonlarni vizuallashtirish, parametrlarni erkin o‘zgartirish va xavfsiz muhitda gipotezalarni sinab ko‘rish imkonini beradi [11]. T. de Jong va hammualliflarining tadqiqotlariga ko‘ra, eng yuqori natijaga virtual va real laboratoriyalarni o‘zaro birlashtirganda erishiladi, chunki ular bir-birining kamchiliklarini to‘ldiradi [12]. Ikkinchidan, raqamli sensorlar, Arduino mikrokontrollerlari va smartfon datchiklari asosidagi o‘lchash tizimlari real vaqt rejimida ma’lumot yig‘ish va ularni kompyuterda qayta ishlash imkonini yaratadi. Bu nafaqat laboratoriya jihozlari yetishmasligi muammosini qisman hal qiladi, balki talabalarni zamonaviy muhandislik amaliyotida qo‘llaniladigan o‘lchash texnologiyalari bilan tanishtiradi. Uchinchidan, fizik masalalarni yechishda algoritmlar tuzish [6] talabalarda muhandislik tafakkuri uchun muhim bo‘lgan tizimli va bosqichma-bosqich fikrlashni shakllantiradi.



1-rasm. *Fizikadan laboratoriya mashg‘ulotini tashkil etishning to‘rt bosqichli modeli va uning Blum taksonomiyasi darajalari bilan bog‘liqligi.*

Shu asosda laboratoriya mashg‘ulotini to‘rt bosqichda tashkil etish taklif etiladi (1-rasm): virtual laboratoriyada dastlabki tayyorgarlik va gipoteza shakllantirish; raqamli sensorlar yordamida real eksperiment o‘tkazish; natijalarni kompyuterda qayta ishlash, xatoliklarni baholash va nazariy model bilan solishtirish; olingan natijani aniq muhandislik masalasiga tatbiq etish va refleksiya. Bunday tuzilma Blum taksonomiyasining quyi darajalaridan (eslash, tushunish) yuqori darajalariga (tahlil, baholash, yaratish) izchil o‘tishni ta’minlaydi.

Texnika OTM talabalarining fizikadan amaliy kompetentligini rivojlantirish funksional fizik bilimlarni maqsadli shakllantirishni talab etadigan kompleks pedagogik muammodir. Uni hal etishning samarali yo‘li – faol o‘qitish usullari, virtual va real laboratoriyalar integratsiyasi, raqamli o‘lchash vositalari va algoritmik yondashuvni yagona metodik tizimga birlashtirishdir. Taklif etilgan to‘rt bosqichli model laboratoriya mashg‘ulotlarining reproduktiv xarakterini tadqiqotchilik xarakteriga aylantirib, bo‘lajak muhandislarning kasbiy tayyorgarligini oshirishga xizmat qiladi.

Adabiyotlar ro‘yxati

1. Bloom B.S., Engelhart M.D., Furst E.J., Hill W.H., Krathwohl D.R. Taxonomy of Educational Objectives: The Classification of Educational Goals. Handbook I: Cognitive Domain. – New York: Longman, 1956.

2. Рубинштейн С.Л. Основы общей психологии. – СПб.: Питер, 2003.
3. Гальперин П.Я. Этапы формирования умственных действий // Хрестоматия по психологии / Под ред. А.В. Брушлинского. – М.: Академия, 2002. – С. 327–339.
4. Беспалько В.П. Слагаемые педагогической технологии. – М.: Педагогика, 1989. – 192 с.
5. Maxmanov E.B. Fizikadan masalalar yechish orqali talabalarning fizik kompetentligini oshirish // Mug‘allim hem uzliksiz bilimlendiriw. – 2020. – № 5/1. – B. 113–118.
6. Maxmanov E.B. Fizikadan masalalar yechishda algoritmlar tuzish orqali fizikadan amaliy kompetentligini rivojlantirish // Образование и наука в XXI веке. – 2024.
7. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-son «2022–2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida»gi Farmoni.
8. Anderson L.W., Krathwohl D.R. (Eds.) A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom’s Taxonomy of Educational Objectives. – New York: Longman, 2001.
9. Hake R.R. Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses // American Journal of Physics. – 1998. – Vol. 66, № 1. – P. 64–74.
10. Freeman S., Eddy S.L., McDonough M., Smith M.K., Okoroafor N., Jordt H., Wenderoth M.P. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2014. – Vol. 111, № 23. – P. 8410–8415.
11. Wieman C.E., Adams W.K., Perkins K.K. PhET: Simulations that enhance learning // Science. – 2008. – Vol. 322, № 5902. – P. 682–683.
12. de Jong T., Linn M.C., Zacharia Z.C. Physical and virtual laboratories in science and engineering education // Science. – 2013. – Vol. 340, № 6130. – P. 305–308.

FIZIKA DARSLARIDA FANLARARO KOMPETENSIYALARNI RIVOJLANTIRISH – TALABALARNING MUSTAQIL FIKRLASH MALAKASINI OSHIRISH VOSITASI SIFATIDA

Mirzayev Mirg‘olim Shayimardonovich.
Qarshi davlat texnika universiteti “Tabiiy fanlar” kafedrasi v.b dotsenti

Ta’lim jarayoniga texnologik yondashuv — talabaning bilim o‘zlashtirishini qulaylashtirish maqsadida, avvalo, o‘quv materialini (axborotni) bir-biri bilan o‘zaro bog‘liq qismlarga, bo‘laklar (o‘quv elementlari)ga ajratishni, so‘ngra ta’limda mo‘ljallangan natijaga erishish uchun bajariladigan o‘quv-biluv faoliyatini (harakatlarni, amallarni) ketma-ket, bosqichma-bosqich, izchil amalga oshirishni, loyihalashtirilgan ishlar, amallarning barchasini birdek bajarishni talab etadi. Bu, pedagogika fanining qonuniyatlaridan biridir, ta’lim texnologiyasini qo‘llash uchun unga amal qilish zarur.

Dars jarayonida ta’limning sifatini oshirish maqsadida turli yangi pedagogik texnologiyalardan va didaktik o‘yinlardan foydalanish joriy qilinmoqda va bu usul bugungi kunda o‘z samarasini yetarlicha bermoqda. Biroq bir joyda to‘xtab qolmasdan yanada zamonaviy va samarali usullardan foydalanishni o‘quv jarayoniga tatbiq etilsa yanada yaxshiroq natijalarga erishish mumkin.

An’anaviy ta’limga nisbatan interfaol usullar orqali tashkil etilgan dars shaklining ustunlik jihati shundaki, qisqa vaqt davomida katta hajmdagi ma’lumotni auditoriya bazaviy bilimiga asoslangan holda yetarli va tushunarli holda yetkazib berish mumkin. An’anaviy ta’lim shaklida esa faqatgina bo‘r yordamida katta hajmli ma’lumotlarni belgilangan vaqtda yetkazib berish imkonsiz. Interfaol usulda esa talabalarning faol ishtiroki va auditoriyaning qiziqarli muhitini tashkil etilgan holda munozara va muhokamali faol dars jarayonini tashkil qilish mumkin. Misol tariqasida shuni aytish mumkinki, elektr jihozlarini ulash usullarini faqat chizma orqali tushuntirgandan ko‘ra, ularning ulash usullari haqida talabalarga muhokamali savol tashlansa, bir necha xil javob olish mumkin. Bu esa vaqtdan foydalangan holda bir necha usulni muhokama

qilib o‘rganish imkonini beradi. Amaliy mashg‘ulotlarni ya’ni masalalar yechish darslarini tashkil etishda masalaning bir necha ishlanish usullarini muammoli ta’lim usuli orqali ko‘rib chiqish imkoni tug‘iladi. Laboratoriya o‘quv mashg‘ulotini tashkil etishda esa interfaol metodlarning o‘rni muhim ahamiyatga ega.

Odatda tashkil etiladigan an’anaviy dars shakllaridan farqli o‘laroq, interfaol usulda tashkil etilgan darslar davomida talabalarda mustaqil ishlash ko‘nikmasi shakllanadi va yangi bilimlar olish salohiyatini oshiradi. Texnik qobiliyatni takomillashtirish usullari orqali darslarni tashkil qilish talabalarda kasbiy ko‘nikmalarni shakllantiradi. Bundan tashqari dars jarayonida yechimi qiyin bo‘lgan masalalarni ham aqliy hujum metodi orqali turli usullarda aniqlash mumkin.

Xalqaro ta’lim standartlariga ko‘ra, zamonaviy mutaxassis faqat o‘z sohasidagi bilimlarga ega bo‘lishi bilan cheklanib qolmasdan,turli fanlarni integratsiya qilish,murakkab muammolarni bartaraf etish va ijodiy yondashuvlarni qo‘llash qobiliyatiga ega bo‘lishi kerak.

Fizika –tabiiy va texnik fanlarning asosi bo‘lib,fizika darslarida fanlararo kompetensiyalarni shakllantirish uchun keng imkoniyatlar mavjud.

Mamlakatimiz ta’lim tizimini modernizatsiyalash konsepsiyasida kasbiy ta’limning maqsadi – malakali, kompetentliligi, mas’uliyatli, kasbiy jihatdan o‘zini takomillashtirishga tayyor, samarali ishlay oladigan va mehnat bozorida raqobatbardosh ishchi tayyorlash ko‘zda tutilgan.Ularning asosida fanlararo yondashuv yotadi, bu yondashuv texnika universitetlarida asosiysi – ijodiy mustaqil fikrlashni o‘rgatish kerakligi g‘oyasiga asoslanadi. Ushbu yondashuv talaba nafaqat bilimlar tizimini egallashi, balki universal (fanlardan tashqari) harakatlar usullarini o‘zlashtirishi va ular yordamida mustaqil ravishda ma’lumot olishi mumkinligini nazarda tutadi.

Fanlararo yondashuv talabalarning ko‘nikmalarini turli fanlarda qo‘llash, murakkab muammolarni bartaraf etish va mustaqil ravishda ijodiy fikrlash ko‘nikma va malakalarini rivojlantiradi. Fizika darslarida buning uchun quyidagi: matematik usullarni qo‘llash (fizik jarayonlarni modellash); kimyo bilan bog‘liq misollar (moddalarning fizik-kimyoviy xususiyatlari); informatika bilan integratsiya (simulyatsiyalar, ma’lumotlarni tahlil qilish)kabi fanlararo yondashuvlardan foydalaniladi.

Fanlararo yondashuv ta’lim jarayonini tashkil qilishning ma’nosi, talabalarda bilish (kognitiv), muloqot (kommunikativ), tashkiliy va ma’naviy axloqiy muammolarni mustaqil hal qilish tajribasini shakllantirish uchun sharoit yaratishdan iboratligini ta’kidlaydi. Aynan ushbu muammolar ta’lim mazmunini tashkil etadi.

Fizika talabalarning kasbiy ahamiyatga ega bo‘lgan fazilatlarini, ya’ni, o‘quv-tadqiqot, hissiy-psixologik, ijtimoiy, tashkiliy-faoliyat va ijodiy qobiliyatlarini shakllantirish uchun katta imkoniyatlarga ega. Bunga talabalarning darsdagi turli xil o‘quv-tadqiqot faoliyati, o‘quv materiallarining ko‘p tarmoqli yo‘nalishi, o‘zlashtirilgan bilim, ko‘nikma va malakalarni kundalik turmushda amaliyotda keng qo‘llashda yordam beradi. Fizikani o‘rganish jarayonida talaba ilmiy bilimning barcha bosqichlariga (kuzatish → gipoteza → tajriba → natijalarni tahlil qilish va umumlashtirish) jalb qilinadi, bu esa ilmiy ravishda mustaqil fikrlash va ijodiy qobiliyatlarini rivojlantirishga xizmat qiladi [1, 19 b].

Axborotlashgan jamiyat sharoitida raqamli texnologiyalar muhitiga moslashgan, bilimdon, mustaqil ravishda fikrlash qobiliyatiga ega talabalarni tarbiyalash axborot-kommunikatsion texnologiyalarni (AKT) ta’lim tarbiya jarayonida qo‘llanmasdan amalga oshirib bo‘lmaydi.

Oliy ta’lim amaliyotida talabalarni ijodiy faoliyatga undovchi loyiha -tadqiqot texnologiyasini qo‘llaш ijobiy natijalarni natijalarni beradi. Loyiha mavzusini shakllantirishda talabalarning o‘ziga xos qiziqishlari va imkoniyatlarini e’tiborga olish maqsadga muvofiq bo‘ladi. Talabalar “issiqlik uzatish turlari”, “ichki yonuv dvigateli” kabi loyihalarni amalga oshirish lozim bo‘ladi.Loyihalar uchun yaratilgan prezentatsiyalarni keyinchalik o‘quv mashg‘ulotlariga amalga oshirish yaxshi natijalarni beradi.Prezentatsiyalarni ishlab chiqish o‘qitishga ijodiy, muammoli tavsiflab,talabalarning mustaqil ravishda ishlash faoliyatini rivojlantirishga yordam beradi. Loyiha-tadqiqot texnologiyalarini yaxshi

tayyorgarlikka ega bo‘lgan talabalar bilan ishlashda ijobiy natijalarga olib keladi. Loyihalar guruhlarda amalga oshirilsa bu holda talabalar katta hajmdagi ma’lumotlarni qayta ishlash imkoniyatiga ega bo‘ladilar. Hamkorlikdagi faoliyat jarayonida o‘quvchilar qidiruv variantlari va ma’lumotlarning ushbu ijodiy loyihada joylashtirilish ketma-ketligini muhokama qiladilar.

Talabalarning ilmiy-tadqiqot ishlari – oliy ta’lim muassasalarida talabalarning kasbiy kompetensiyalarini shakllantirish yo‘nalishlaridan biridir. Oliy ta’limda talabalar ilmiy jamiyati tashkil etilgan bo‘lib, talabalar 1-kursdan boshlab tadqiqot faoliyati bilan shug‘ullanishlari mumkin. Tadqiqot ishi mavzusini tanlashda talabalarning kelgusidagi mutaxassisligini e’tiborga olgan holda amalga oshiriladi. “Mashinasozlik texnologiyasi” mutaxassisligi bo‘yicha o‘qiyotgan 1-kurs talabasi “Lazer texnologiyalarining mashinasozlikda samaradorligi” mavzusida ilmiy-tadqiqot ishini amalga oshirishni mumkin.

Fizika – tajribaga asoslangan fan, uni har doim namoyish tajribalari bilan o‘qitishadi. Tajribalarni o‘tkazishda talabalarning tajriba o‘tkazish, kuzatish olib borish, sxemalar chizish, raqamli qiymatlar bilan ishlash, bajarilgan ish haqida hisobot berish, ilmiy munozaralashish ko‘nikmalari takomillashadi. Fizika darslaridagi bunday faoliyat turlari talabalarda quyidagi: ijodiy fikrlash, o‘zini takomillashtirish istagi va qobiliyatini shakllantirish kabi fanlararo kompetensiyalarni rivojlantirishga yaqindan yordam beradi.

Laboratoriya ishlari talabalarning eksperimental ko‘nikma va malakalarini shakllantirishga yordam beradi. O‘quvchilar tadqiqotchi rolida bo‘lib, nafaqat eksperimentning maqsadini amalga oshirishni bosqichlarini belgilaydi balki bosqichlarini rejalashtiradi hamda mustaqil ravishda xulosalar chiqaradi, o‘lchovlarning xatoliklarini hisoblaydi.

Talabalarning o‘lchash ko‘nikma va malakalarini rivojlantirish kasbiy kompetensiyalarni shakllantirishning muhim shartlaridan biri hsoblanadi. Har qanday sohada: sanoatda, fanda, tibbiyotda yoki transportda – inson o‘lchash zarurati bilan yuzma-yuz keladi. Shunday qilib, fizika darslarida biz kasbiy kompetensiyaning asosini qo‘yamiz, bu kasbiy mehnatda yuqori darajadagi bilimlar, texnika va texnologiyalardan foydalanishni va mutaxassisning kasbiy o‘sish imkoniyatini ta’minlaydi.

Umumiy va kasbiy kompetentsiyalarni o‘qitish va shakllantirishni tashkil etishning navbatdagi shakli laboratoriya ishi bo‘lib, u talabaning eksperimental vazifani eksperimental o‘rnatish yordamida yoki virtual fizika laboratoriyasi orqali bajarishini ta’minlaydi. Fizika fanidan har bir ta’lim yo‘nalishi uchun tayyorlangan o‘quv dastur va sillabuslarida laboratoriya ishlarning soni va nomlari kelltirilgan.

Fizika ixtisoslashtirilgan o‘quv fanlariga tegishli bo‘lganligi sababli, o‘quv materialining mazmuni talabalarning mutaxassisligiga qaratilgan. Shu maqsadda har bir laboratoriya ishida fizikaning o‘quv materialini va kasbiy faoliyat turlarining o‘quv materialini amalga oshiradigan fanlararo kurslarni bog‘lashga imkon beradigan aniq savollar aniqlanadi.

Laboratoriya amaliyotini o‘tkazishda talabalarning kommunikativ ko‘nikmalari rivojlanadi: ular boshqalarni tinglash va tushunish, o‘z fikrlarini bildirish, bajarilgan ish hisoboti haqida gapirish, kelishuvga kelish, guruh ichida o‘zaro hamkorlik qilishni o‘rganadilar. Amaliy darslarda shakllanadigan kommunikativ kompetentlilik yosh mutaxassisning kasbiy faoliyatida muvaffaqiyatining kafolatidir. Kasbiy faoliyat sohasida ko‘p narsa o‘zini muloqot orqali namoyon qilish qobiliyatiga bog‘liq.

Fizika darslarida har qanday mavzuni o‘rganishda nazariy materialning taqdimoti fizik tajriba va namoyishlarni o‘z ichiga olishi kerak, laboratoriya ishlarini bajarilishini videoga yozib, darslarda ko‘rsatish mumkin.

Fizika darslarida kasbiy kompetentsiyalarni rivojlantirishning keng tarqalgan shakllaridan biri bu muammolarni hal qilishdir. Ishlab chiqarish tarkibiga ega bo‘lgan yuqori sifatli fizika muammolari va bunday muammolar juda ko‘p,ulardan darsning barcha bosqichlarida foydalanish mumkin: yangi mavzuni tushuntirishda, o‘rganilayotgan materialni birlashtirishda, bilimlarni tekshirish va hisobga olishda. Bunday vazifalar o‘rganilayotgan nazariyani atrofdagi hayotga yaqinlashtiradi, mavzuga qiziqishni rivojlantiradi va

jismoniy qonunlarga asoslangan mantiqiy xulosalarni yaratishga yordam beradi. Ishlab chiqarish mazmuni bilan vaziyatli muammolarni hal qilish nazariy o‘quv darsi paytida texnologik jarayonni umuman yoki uning bir qismini modellashtirishni o‘z ichiga oladi.

Asosiy tushunchalar o‘quv mashg‘ulotlarida shakllanganligiga qaramay, darsdan tashqari ishlar ham muhim rol o‘ynaydi. Zamonaviy dunyoda ta’lim va tarbiya jarayoni shu qadar murakkab va xilma-xilki, o‘qituvchi uni faqat darslarda to‘liq va samarali bajarishi mumkin emas. Darsdan tashqari ishlarni bajarish o‘qituvchiga o‘z talabalarini, ularning individual qobiliyatlarini yaxshiroq bilishga, ular orasida fizikaga qiziquvchilarni aniqlashga va ushbu qiziqishni rivojlantirishga va olingan bilimlarni kelajakdagi kasblarida qo‘llashga yordam beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati:

1. Braverman, E. M. Kak povisit effektivnost uchebnix zanyatiy: nekotoriye sovremenniye puti / E. M. Braverman // Fizika v shkole. - №6 –2005.
2. Gromiko Y. V. Misledeyatelnostnaya pedagogika (teoretiko-prakticheskoye rukovodstvo po osvoyeniyu visshix obrazsov pedagogicheskogo iskusstva). — Minsk, 2000
3. Zimnyaya, I. A. Klyucheviye kompetensii – novaya paradigma rezultata obrazovaniya // Vissheye obrazovaniye segodnya.– № 5 – 2003.
4. Xutorskoy A.V. Metapredmetniy podxod v obuchenii. — M.: Izdatelstvo «Eydos»; Izdatelstvo Instituta obrazovaniya cheloveka, 2012.

COMPULSORY PRINCIPLE IN TEACHING THE FUNDAMENTALS OF NATURAL SCIENCE

Mirzaev M.Sh., teacher of the Department of “Natural Sciences” of Karshi State Technical University

In accordance with the requirements of the laws “On Education” (1) and “National Program of Personnel Training” (2), “Physics” is included as a general education subject in the curriculum of the stages of continuous education in our country: general secondary schools, academic lyceums (with the exception of academic lyceums in the direction of specific subjects) and vocational colleges. As a result of improvement and optimization of the structural structure and content of physical education in the above educational institutions in accordance with the requirements of the time, integration between the above stages of education has created the need to ensure coherence.

The present era, i.e., the educational system of the information society, requires the introduction of the principle of compulsion in the study of natural sciences, including physics, which is important for the formation of students scientific outlook, independent critical thinking, and practical skills. This principle is particularly important in the context of continuing education, including general secondary schools, academic lyceums and vocational schools. This article analyzes the methodological and practical aspects of the implementation of the mandatory principle, as well as modern pedagogical approaches and regulatory and legal bases.

The principle of compulsorily teaching natural sciences implies the implementation of the following:

- systematic - balanced study in accordance with the curriculum;
- ease of perception - adaptation of educational material to the level of preparation of students;
- practical orientation - linking theory with real-life phenomena and technologies.

In our country, this principle is enshrined in the Law “On Education” and the “National Development Program” of general secondary education, including the “State Education Standards”, where the need for in-depth study of physics and other natural sciences is emphasized.

The second important direction in this area is the development of students intellectual, creative cognitive abilities, the formation of skills and qualifications for independent mastery of new knowledge. In the process of teaching physics, it is necessary to form and develop students scientific worldview, the ability to think logically, the ability to understand and solve problems in nature and society, the development of science and technology, familiarize them with the activities of physicists of the past and present who have contributed to the development of physics, and educate them in the spirit of national patriotism by connecting the content of education with local and historical materials.

In the practice of general secondary schools, academic lyceums and vocational schools of continuous education, the task of developing mental and creative abilities of students is usually considered as a secondary task. In order to ensure the principle of compulsory success in these stages of education, it is necessary to continue such an approach. L.S. Vygotsky stated that education and development can be effective if the tasks offered in the educational process are somewhat higher than the achievements of learners in terms of complexity.

Therefore, in the current era, it is necessary to start by offering students a solution to a complex problem that can only be solved with the help of a teacher. Only then will students be able to independently solve the “complex problems” set for them in the digital technology environment tomorrow. In this approach, it is necessary to set intellectually challenging “complex problems” for students in each lesson. In the digital education environment, the teacher should not begin preparing for the lesson by determining the educational, educational and developmental goals of education and compiling a list of elements of knowledge, skills and qualifications that students should acquire during the lesson. Approaching the lesson process based on this principle is a wrong and erroneous situation. Because students do not owe anything to the teacher. Rather, the teacher should help students acquire knowledge independently. Because when a teacher chooses this profession, in particular, from the moment he enters the workforce, he enters into an employment contract with society. Therefore, the teacher needs to identify the main goals that he or she sets for himself or herself in the context of digital technologies. The teacher should not only evaluate and monitor the results of the students work during the lesson, but also make necessary adjustments when necessary, while monitoring the results of his or her own work.

Physics, compared to other academic subjects, has great opportunities to attract the attention of students in each lesson, that is, to demonstrate the physical effectiveness of natural phenomena unknown to them in each lesson.

How can we increase students interest in the lesson in the conditions of digital technologies? We believe that the main key to solving this problem is an active approach to the educational process. The development of a persons cognitive abilities occurs only in the process of developing students independent active cognitive abilities. Therefore, it is necessary to teach students to independently carry out and draw theoretical conclusions when observing all simple and safe physical experiments, experiments on studying the physical properties of objects, and testing scientific hypotheses.

In this case, the method of problem-based education can be a means of increasing the effectiveness of motivating creative cognitive activities. And this requires mental problems that require significant mental strengthening before the students, that is, when performing experimental research, theoretical thinking and processing of the obtained results.

Compulsory education can be successful for all students (3). Yes, the principle of compulsory successful education is questionable to many. Why should such education in physics be mandatory for all students in the class? Let each student receive an assessment in accordance with his abilities, opportunities

and diligence in the educational process. However, in practice, this approach to assessing educational outcomes at the general secondary, secondary specialized and vocational college levels of continuing education is generally accepted. It is logically justified and is based on regulatory documents. What is its strength based on?

First, and most importantly: a student is not a product that can be labeled to determine its type. A student is a person and should be treated as a goal, not a means.

As a result, the following question arises: does the principle of mandatory success not lead to various contradictions or contradictions in the implementation of test control tests?

These contradictions and contradictions are only formal in appearance. Firstly, if students in general secondary schools are given very low grades, thereby extinguishing their interest in studying science, then there is no confidence that these students will successfully master the knowledge, skills and abilities in accordance with the requirements of the time at the levels of academic lyceums and vocational colleges. Secondly, the ideal fulfillment of the requirements of the physics education standard does not apply to all graduates of the academic and vocational colleges, but only to those students who will continue their education in the future, who will have to master the requirements of the physics education standard at the higher levels of continuous education. If a teacher at the levels of general secondary schools, academic lyceums and vocational colleges follows the principles of successful education, then in the future the number of his students who will choose this direction of education will be large.

Adding another principle to the above principle, namely the principle of person-oriented education, can achieve a certain level of implementation of the tasks of physics education (5). According to this principle, the volume of educational content, its complexity should be determined by the student himself. Unfortunately, in practice, there are a number of obstacles to the implementation of advanced effective principles and approaches that can be used in the educational process. The first of these obstacles is the inconsistency of the volume of traditional compulsory education educational material with the time allocated for its study.

The second obstacle is the lack of textbooks that provide educational methodological materials aimed at an active approach to education and the use of problem-based methods.

As a result of the analysis of the educational material, it is possible to reduce the size of the educational material, which is mandatory for all students to learn, as a result of its new composition, which is presented in the review of the current standard of physics education (6). Only as a result of the implementation of these conditions, it is possible to move from the verbal method of education to the problem-based method of education, from passive acquisition of information to the development of independent work of students.

It is only possible to separate the most important material from each subject from the compulsory material that all students must master from the standard of physics education, as a result of a strict selection of compulsory material. The newly structured teaching material is implemented only by developing additional material for each subject for students. As a result of the above work, the total volume of teaching material in physics education offered to students will not only fully comply with the educational standard, but will even slightly exceed its mandatory requirements. Reducing the volume of compulsory material in the textbook by half will allow all students to spend more time during the lesson on their interests. For talented students interested in physics, the textbook will provide in-depth theoretical material and the necessary tasks for conducting independent experiments. The remaining students will have more free time to successfully master other subjects that are interesting to them.

Modern methods and technologies in teaching physics. To increase the effectiveness of teaching in the educational process, the following are used:

- digital laboratories (virtual experiments, simulators).
- gamification (the use of game elements in learning).

- distance courses (for students in remote regions).

These methods are consistent with the "Strategy for the Digital Transformation of Education in Uzbekistan", which emphasizes the importance of IT technologies in education.

The use of a person-centered approach in education is a simple form of educational differentiation. Most importantly, the fact that this form of differentiation is "entered" and "exited" freely and openly in each lesson is always a true sign of the person-centeredness of the educational process.

"State Educational Standards" set the minimum requirements for students knowledge. The Constitution of our country guarantees the right to education, which strengthens the compulsorily of studying natural sciences. Methodological manuals for teachers include modern methods of assessing knowledge (formative assessment, portfolio).

The principle of compulsory teaching of natural sciences, especially physics, is important in the formation of a scientifically literate generation. Its successful implementation includes:

- Modern pedagogical technologies.
- State support (legal framework, financing).
- It depends on the qualification of pedagogical personnel.

List of literature used:

1.Copyright holder of the illustration Getty Images Image caption presidential elections in the Republic of Uzbekistan (2020)

2. Methodology of research in the field of natural sciences.

3.Bozhovich E.D. Psychodidactic issues of schoolboy development as a subject of learning // Psychological and pedagogical problems of schoolboy development as a subject of learning. Moscow: MPSI Publishing House, Voronezh: MODEK Publishing House, 2000.

4. Kabardin O.F. Psychodidactic aspects of school textbook problems // Psychodidactic aspects of modern education. Moscow, 2004.

5.Kabardin O.F. Personality-oriented foundations of cognitive abilities development in modern schools. – Chernogolovka: INIM RAO, 2009. // www.inim-rao/ru

6. Kabardin O.F. Physics. Personality-oriented textbooks for secondary schools. Textbooks for grades 7, 8, and 9. Moscow: Prosveshchenie Publ., 2009.

7.Constitution of Uzbekistan (Article 41-right to education).

ZAMONAVIY FIZIKA MASALALARINI O'QITISHDA SUN'IY INTELLEKT VA VIRTUAL LABORATORIYA TEXNOLOGIYALARIDAN FOYDALANISHNING ILMIY-METODIK ASOSLARI

Mirzayeva Umidaxon Murodjon qizi
Andijon davlat texnika instituti "Materialshunoslik va kimyo muhandisligi" kafedrasi o'qituvchisi, pedagogika fanlari falsafa doktori (PhD)

Zamonaviy oliy ta'lim tizimida fizika fanini o'qitishning asosiy vazifasi talabalarga tayyor formulalar va qonuniyatlarni o'rgatish bilan cheklanib qolmasdan, ularda fizik hodisalarni mustaqil tahlil qilish, matematik model yaratish, tajriba o'tkazish va natijalarni ilmiy asosda izohlash kompetensiyalarini shakllantirishdan iborat. Ayniqsa mexanika, molekulyar fizika va termodinamika, elektromagnetizm, optika hamda kvant fizikasi kabi bo'limlarda abstrakt va ko'p bosqichli masalalarning mavjudligi an'anaviy o'qitish usullarini raqamli texnologiyalar bilan boyitishni talab etmoqda.

Fizik masalani yechish jarayoni odatda masala shartini tahlil qilish, berilgan va noma'lum kattaliklarni aniqlash, tegishli fizik qonunni tanlash, matematik modelni shakllantirish, hisoblash va natijani fizik

mazmun jihatidan izohlash bosqichlarini qamrab oladi. Ushbu jarayonning har bir bosqichida sun’iy intellekt vositalaridan pedagogik maqsadga muvofiq foydalanish mumkin. Biroq SI talabaning o‘rniga tayyor javob beruvchi vosita emas, balki uning fikrlash faoliyatini qo‘llab-quvvatlovchi intellektual yordamchi sifatida tashkil etilishi lozim. UNESCOning generativ sun’iy intellekt bo‘yicha tavsiyalarida ta’limda SI dan foydalanish inson markazli yondashuv, ma’lumotlar maxfiyligi, xavfsizlik va pedagogik maqsadga muvofiqlik asosida amalga oshirilishi kerakligi qayd etilgan [1]. Demak, fizika ta’limida SI texnologiyalaridan foydalanish jarayonida akademik halollik va o‘qituvchi nazorati saqlanishi muhim.

Fizika masalalarini o‘qitishda SI texnologiyalaridan foydalanishning muhim metodik imkoniyatlaridan biri — talabaning individual ta’lim trayektoriyasini shakllantirishdir. Bir xil masalani turli talabalar turlicha qabul qilishi mumkin. SI yordamida masalani sodda, o‘rta va murakkab darajalarga ajratish, talabaning xatosiga mos ravishda qo‘shimcha tushuntirish yoki analogik masala berish mumkin. Masalan, elektromagnit induksiya masalasini yechishda talaba avvalo fizik hodisani aniqlaydi, keyin Faradey qonunini tanlaydi va matematik ifodani tuzadi. SI bu jarayonda tayyor javobni taqdim etish o‘rniga yo‘naltiruvchi savollar orqali talabaning mustaqil fikrlashini rag‘batlantirishi mumkin.

Ikkinchi muhim yo‘nalish — xatolarni diagnostika qilishdir. Fizika masalalarida xatolar faqat matematik hisoblash bilan bog‘liq bo‘lmaydi. Talaba o‘lchov birliklarini noto‘g‘ri tanlashi, fizik qonunni noto‘g‘ri qo‘llashi, vektor kattaliklar yo‘nalishini chalkashtirishi yoki fizik modelning chegaraviy shartlarini hisobga olmasligi mumkin. SI vositalari bunday xatolarni aniqlash va ularga mos teskari aloqa berish uchun qo‘llanishi mumkin. Bunda asosiy talab — SI tomonidan berilgan tavsiyaning o‘qituvchi va talaba tomonidan ilmiy jihatdan tekshirilishidir.

Virtual laboratoriyalar esa fizik tajribalarni raqamli muhitda modellashtirish imkonini beradi. Ularning asosiy afzalligi tajriba parametrlarini tez o‘zgartirish, hodisani takroran kuzatish, xavfsiz tajriba o‘tkazish va bevosita kuzatish qiyin bo‘lgan fizik jarayonlarni vizuallashtirishdan iborat. Masalan, elektr zanjirida kuchlanish va qarshilik qiymatlarini o‘zgartirib, tok kuchining o‘zgarishini kuzatish, optikada linzaning fokus masofasi va tasvir hosil bo‘lishini modellashtirish, mexanikada esa massa va kuch parametrlarini o‘zgartirib harakat qonuniyatlarini tahlil qilish mumkin. Virtual laboratoriyaning didaktik samaradorligi faqat simulyatsiyani namoyish qilish bilan belgilanmaydi. Talaba tajribadan oldin gipoteza ilgari surishi, o‘zgaruvchilarni aniqlashi, tajriba parametrlarini belgilashi, natijalarni qayd etishi, grafiklar qurishi va xulosa chiqarishi kerak. Shu sababli virtual laboratoriya “raqamli tajriba” emas, balki muammoli va tadqiqotga asoslangan topshiriqning tarkibiy qismi sifatida tashkil etilganda yuqori pedagogik qiymatga ega bo‘ladi.

Virtual va real tajribalarni uyg‘unlashtirishning samaradorligi so‘nggi ilmiy tadqiqotlarda ham tasdiqlangan. Wang va hammualliflarning 2025-yilda *Educational Research Review* jurnalida chop etilgan meta-tahlilida 2001–2021-yillar oralig‘idagi 27 ta mustaqil eksperimental tadqiqot tahlil qilingan. Natijalarga ko‘ra, real va virtual tajribalarni birlashtirish fizikani o‘zlashtirishga o‘rtacha ijobiy ta’sir ko‘rsatgan (ES = 0,66). Ayniqsa murakkab va abstrakt fizik tushunchalarni o‘rganishda bunday kombinatsiyaning afzalligi yuqoriroq ekanligi aniqlangan [2].

Mazkur ilmiy natijalar asosida fizika masalalarini o‘qitishda quyidagi integratsiyalashgan metodik modelni taklif etish mumkin:

1-bosqich — muammoli vaziyatni yaratish. Talabaga real fizik jarayon bilan bog‘liq masala yoki muammoli savol beriladi.

2-bosqich — fizik modelni shakllantirish. Talaba masalada ishtirok etuvchi fizik kattaliklarni aniqlaydi va tegishli qonuniyatni tanlaydi.

3-bosqich — SI yordamida yechim strategiyasini tahlil qilish. SI talabaning fikrlash jarayonini qo‘llab-quvvatlaydi, biroq yakuniy yechimni tayyor shaklda bermasligi maqsadga muvofiq.

4-bosqich — virtual laboratoriyada tekshirish. Talaba model parametrlarini o‘zgartiradi va fizik hodisaning natijaga ta’sirini kuzatadi.

5-bosqich — nazariy va tajribaviy natijalarni taqqoslash. Hisoblash natijasi simulyatsiya yoki real tajriba natijasi bilan solishtiriladi.

6-bosqich — refleksiya va xulosa. Talaba xatolarni aniqlaydi, natijadagi farqlar sababini izohlaydi va fizik mazmunga ega xulosa chiqaradi.

Ushbu modelni **“**SI → fizik model → virtual tajriba → verifikatsiya → fizik xulosa**”** tamoyili asosida ifodalash mumkin. Mazkur yondashuvda texnologiya ta’limning maqsadi emas, balki fizik fikrlashni rivojlantirish vositasi hisoblanadi.

Virtual laboratoriyalarning yana bir muhim afzalligi — abstrakt fizik obyektlarni vizuallashtirish imkoniyatidir. Elektr maydoni, magnit maydon, elektromagnit to‘lqin, atomdagi elektron holatlari yoki kvant jarayonlarini bevosita kuzatish imkoniyati cheklangan. Simulyatsiya vositalari esa ushbu hodisalarning modelini interaktiv tarzda kuzatish imkonini beradi. Masalan, PhET Interactive Simulations platformasida fizika va boshqa tabiiy fanlar bo‘yicha interaktiv simulyatsiyalar mavjud bo‘lib, ular ta’limiy tadqiqotlar asosida ishlab chiqilgan [3]. Shu bilan birga, virtual laboratoriyalar real laboratoriyaning to‘liq o‘rnini bosa olmaydi. Real tajriba talabaga asbob-uskunalar bilan ishlash, o‘lchash xatoliklarini aniqlash, fizik qurilmalarni yig‘ish va tajriba sharoitlarining real ta’sirini baholash ko‘nikmalarini beradi. Shuning uchun eng maqbul metodik yechim — real va virtual tajribalarni qarama-qarshi qo‘yish emas, balki ularning afzalliklarini o‘zaro to‘ldirishdir [2].

SI dan foydalanishda baholash tizimini ham o‘zgartirish zarur. Agar baholash faqat yakuniy javobga asoslangan bo‘lsa, talabaning SI yordamida tayyor yechimni olish ehtimoli ortadi. Shu sababli baholashda masalani fizik jihatdan to‘g‘ri modellashtirish, qonunni tanlash, yechim algoritmini izohlash, virtual tajribani tashkil etish, nazariy va tajribaviy natijalarni taqqoslash hamda xulosa chiqarish mezonlari hisobga olinishi kerak.

Zamonaviy fizika masalalarini o‘qitishda sun’iy intellekt va virtual laboratoriya texnologiyalaridan foydalanish talabalarning fizik bilimlarini chuqurlashtirish, masalalarni yechish strategiyalarini shakllantirish, tadqiqotchilik va tanqidiy fikrlash kompetensiyalarini rivojlantirish uchun muhim metodik imkoniyat yaratadi. Ilmiy tadqiqotlar real va virtual tajribalarni uyg‘unlashtirish, ayniqsa murakkab va abstrakt fizik tushunchalarni o‘zlashtirishda samarali ekanligini ko‘rsatmoqda [2].

Biroq SI va virtual laboratoriyalarni ta’lim jarayoniga mexanik ravishda kiritish kutilgan natijani bermaydi. Ularning samaradorligi o‘quv maqsadining aniq belgilanishi, fizik mazmunning to‘g‘ri tanlanishi, muammoli topshiriqlar, tajriba va verifikatsiya bosqichlarining mavjudligi hamda o‘qituvchi nazorati bilan belgilanadi. Shu nuqtayi nazardan, SI talabaning o‘rnini bosuvchi vosita emas, balki uning individual ta’limini qo‘llab-quvvatlovchi intellektual yordamchi; virtual laboratoriya esa real tajribani almashtiruvchi emas, balki uni to‘ldiruvchi raqamli muhit sifatida qaralishi lozim.

Natijada “SI — modellashtirish — virtual tajriba — verifikatsiya — refleksiya” integratsiyasi zamonaviy fizika ta’limining ilmiy-metodik asoslarini takomillashtirishga xizmat qiladi. Ushbu yondashuv oliy ta’lim talabalarida nafaqat raqamli kompetensiyalarni, balki fizik-matematik tafakkur, mustaqil izlanish, tanqidiy tahlil va ilmiy xulosa chiqarish ko‘nikmalarini ham rivojlantirish imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Miao F., Holmes W. *Guidance for Generative AI in Education and Research*. Paris: UNESCO, 2023. Updated 2026.

2. Wang X.-M., Yu X.-H., Yu D.-D., Hwang G.-J., Lan M. Does combining real and virtual experiments improve learning achievement in physics? Evidence from a meta-analysis (2001–2021). *Educational Research Review*. 2025. Vol. 46. Article 100661. DOI: 10.1016/j.edurev.2024.100661.

3. PhET Interactive Simulations. University of Colorado Boulder. *Interactive Simulations for Science and Mathematics*.

4. Brinson J.R. Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research. *Computers & Education*. 2015. Vol. 87. P. 218–237.

5. Potkonjak V., Gardner M., Callaghan V., Mattila P., Guetl C., Petrović V.M., Jovanović K. Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. *Computers & Education*. 2016. Vol. 95. P. 309–327.

VERIFYING PHYSICAL MODELS IN COMPUTATIONAL PHYSICS EDUCATION FOR COMPUTER ENGINEERING

Movlonov P.I., Yulchiyev I.I.
Fergana State Technical University, Department of Physics

We propose a teaching sequence that makes verification of computational models an explicit learning outcome in the supplied 2026–2027 Physics syllabus for Computer Engineering at Fergana State Technical University. The 10-credit course allocates 300 hours: 28 lecture, 56 problem-solving, 36 laboratory and 180 independent-study hours. This 60% independent-study share provides space for connecting physical laws, executable models and experimental evidence. The present contribution is a curriculum-based design and an analytical benchmark; classroom learning gains have not been measured.

Constructive alignment [1] and peer instruction [2] guide the connection between activities and assessment. Computational modelling research [3–5] motivates assessing how students interpret and verify code. We connect the syllabus topics on mechanical and electromagnetic oscillations with its pendulum and electrical-oscillation laboratories. Students predict the response, implement a model, check its physical consistency, compare with measurements and revise assumptions.

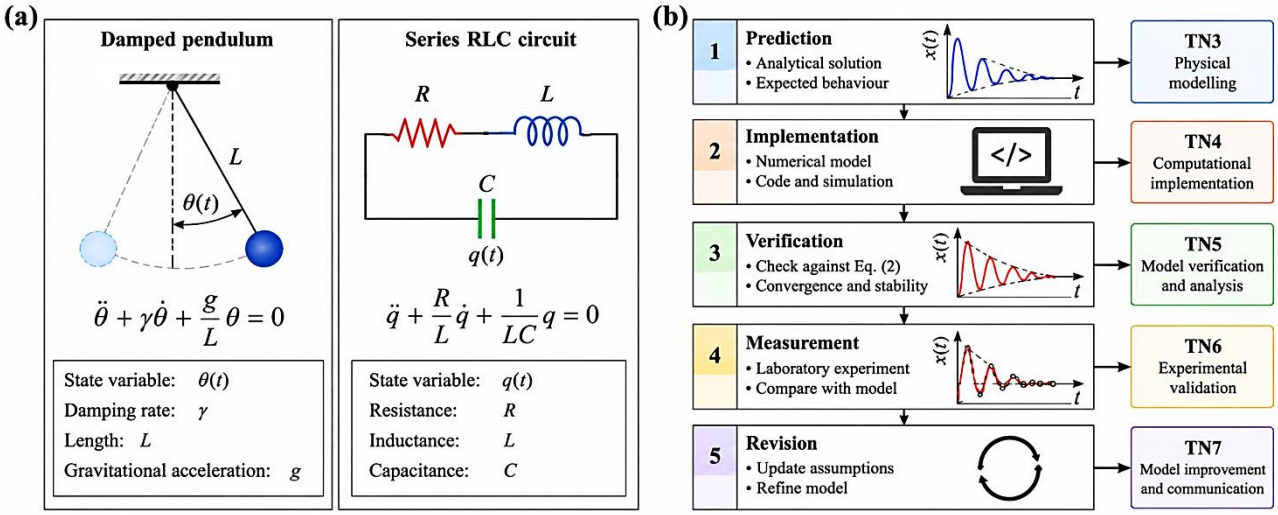
A small-angle pendulum with linear damping and a source-free series RLC circuit satisfy

$$\ddot{\varphi} + 2\beta\dot{\varphi} + \frac{g}{l}\varphi = 0, \quad \ddot{q} + \frac{R}{L}\dot{q} + \frac{q}{LC} = 0 \tag{1}$$

Here φ is angular displacement, β the damping rate, l the pendulum length, g gravitational acceleration and q capacitor charge; R, L, C denote resistance, inductance and capacitance. Overdots denote time derivatives. With displacement or charge normalized to its nonzero initial value, both systems reduce to

$$u'' + 2\zeta u' + u = 0, \quad \tau = \omega_0 t \tag{2}$$

Primes denote differentiation with respect to τ; ω_0 and ζ are the natural angular frequency and damping ratio. For the pendulum, $\omega_0^2 = g/l$, $\zeta = \beta/\omega_0$; for the circuit, $\omega_0^2 = 1/(LC)$, $\zeta = R/(2L\omega_0)$. This shared equation lets students transfer one solver between physical domains while explaining each parameter's meaning and units.



5.

6. **Figure 1.** *Mechanical–electrical model transfer. (a) Damped pendulum and series RLC circuit with corresponding state variables and parameters. (b) Prediction, implementation, verification, measurement and revision linked to syllabus outcomes TN3–TN7. The diagram represents a proposed instructional sequence.*

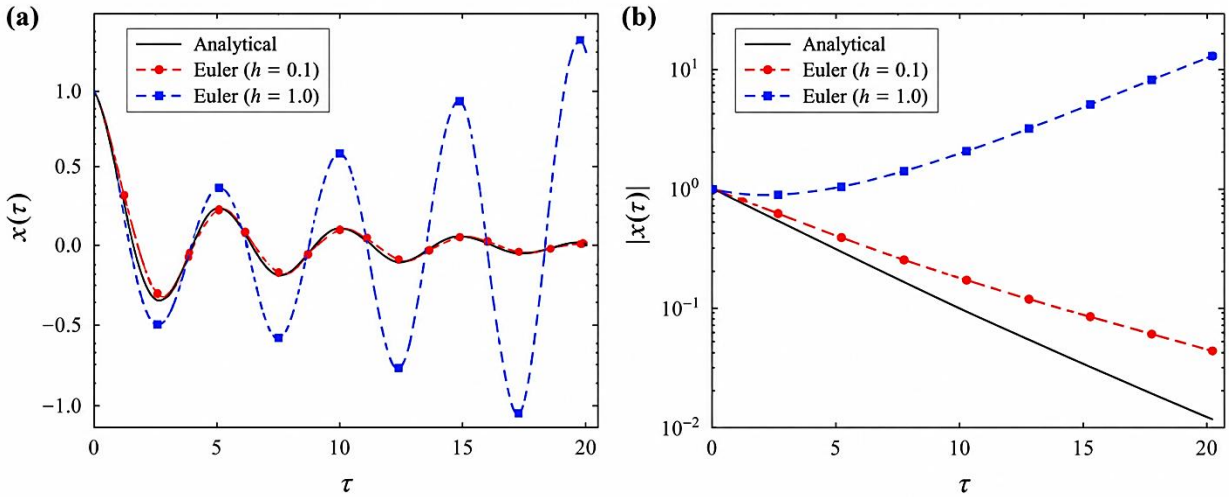
Verification asks whether the code solves the stated equations; experimental validation asks whether those equations describe the apparatus. Model-based laboratory reasoning [6] and iterative quantitative comparisons [7] motivate keeping these questions distinct. For Eq. (2), the dimensionless energy obeys

$$E = \frac{u'^2 + u^2}{2}, \quad \frac{dE}{d\tau} = -2\zeta u'^2 \leq 0 \tag{3}$$

A numerical trace can violate this constraint even when the code uses the correct force law. For an underdamped oscillator ($0 < \zeta < 1$), explicit Euler integration with dimensionless step $h = \omega_0 \Delta t$ has amplification factors satisfying

$$|\lambda_\pm|^2 = 1 - 2\zeta h + h^2, \quad 0 < h < 2\zeta \tag{4}$$

The inequality is the condition for asymptotic numerical decay, not an accuracy guarantee. With $\zeta = 0.05, u(0) = 1, u'(0) = 0$, the exact $\frac{E(\tau)}{E(0)}$ at $\tau = 20$ is 0.1412. Euler gives 0.3825 for $h = 0.05$ and 7.5817 for $h = 0.20$. Thus the first calculation is stable but inaccurate, whereas the second creates artificial growth because it violates $h < 0.10$. Students must establish convergence before assigning physical meaning to a computed damping rate.



7. **Figure 2.** *Numerical damping diagnostic. (a) Normalized response* u *and (b)* $\frac{E(\tau)}{E(0)}$ *over* $0 \le \tau \le 20$ *for* $\zeta = 0.05, u(0) = 1, u'(0) = 0$. *Compare the analytical solution with explicit Euler results at* $h = 0.05, 0.20$. *All curves are deterministic benchmarks, not experimental observations.*

After verification, measured residuals and propagated uncertainties test the model; finite pendulum amplitude and unaccounted coil resistance offer physically interpretable reasons for disagreement. A computational essay [8] and an oral defence document each revision. Guided AI tutoring [9] may assist explanation and debugging; in this design, students remain responsible for checking units, limiting cases and energy balance. Evaluation should compare baseline and delayed transfer tasks against time-matched conventional instruction, using blinded scoring of assumptions, code interpretation, convergence and uncertainty. The proposed outcome is transferable model judgement; its educational effectiveness remains to be tested.

References

[1] . Biggs, J. (1996). Enhancing teaching through constructive alignment. *Higher Education, 32*(3), 347–364. https://doi.org/10.1007/BF00138871

[2] . Crouch, C. H., & Mazur, E. (2001). Peer instruction: Ten years of experience and results. *American Journal of Physics, 69*(9), 970–977. https://doi.org/10.1119/1.1374249

[3] . Caballero, M. D., Kohlmyer, M. A., & Schatz, M. F. (2012). Implementing and assessing computational modeling in introductory mechanics. *Physical Review Special Topics—Physics Education Research, 8*(2), Article 020106. https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.8.020106

[4] . Weller, D. P., Bott, T. E., Caballero, M. D., & Irving, P. W. (2022). Development and illustration of a framework for computational thinking practices in introductory physics. *Physical Review Physics Education Research, 18*(2), Article 020106. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.020106

[5] . Gambrell, J., & Brewe, E. (2024). Analyzing interviews on computational thinking for introductory physics students: Toward a generalized assessment. *Physical Review Physics Education Research, 20*(1), Article 010128. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.20.010128

[6] . Zwickl, B. M., Hu, D., Finkelstein, N., & Lewandowski, H. J. (2015). Model-based reasoning in the physics laboratory: Framework and initial results. *Physical Review Special Topics—Physics Education Research, 11*(2), Article 020113. https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.11.020113

[7] . Holmes, N. G., Wieman, C. E., & Bonn, D. A. (2015). Teaching critical thinking. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 112*(36), 11199–11204. https://doi.org/10.1073/pnas.1505329112

[8] . Odden, T. O. B., Lockwood, E., & Caballero, M. D. (2019). Physics computational literacy: An exploratory case study using computational essays. *Physical Review Physics Education Research, 15*(2), Article 020152. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.020152

[9] . Kestin, G., Miller, K., Klales, A., Milbourne, T., & Ponti, G. (2025). AI tutoring outperforms in-class active learning: An RCT introducing a novel research-based design in an authentic educational setting. *Scientific Reports, 15*, Article 17458. https://doi.org/10.1038/s41598-025-97652-6

ELEKTRONIKA, RADIOELEKTRONIKA VA SXEMOTEXNIKA FANLARINI O‘QITISHDA RAQAMLI TEXNOLOGIYALARDAN FOYDALANISHNING METODIK YECHIMLARI

Musayev E.A., Mamatoxunov Yo.
Andijon davlat universiteti dotsentlari

Zamonaviy elektronika va radioelektronika sanoatni avtomatlashtirish, aloqa, energetika, o‘lchash texnikasi, boshqaruv, nazorat, axborotni uzatish va qayta ishlash tizimlarining muhim tarkibiy qismiga aylangan. Elektron qurilmalar murakkablashib, ularning funksional imkoniyatlari kengaygani sari ushbu yo‘nalishdagi mutaxassislarni tayyorlashga qo‘yiladigan talablar ham oshib bormoqda. Shu sababli oliy ta’limda elektronika, radioelektronika va sxemotexnika fanlarini o‘qitishda faqat nazariy ma’lumotni yetkazish yetarli bo‘lmay, talabaning elektron element tuzilishini tushunishi, sxemani o‘qishi, parametrlar o‘zgarishini tahlil qilishi va olingan natijani amaliy jarayon bilan bog‘lashi muhim hisoblanadi. Raqamli texnologiyalar aynan mana shu nazariya va amaliyot o‘rtasidagi bog‘lanishni kuchaytirish imkonini beradi.

Mazkur fanlarni o‘qitishda uchraydigan asosiy metodik muammolardan biri nazariy tushuncha, sxematik tasvir va real elektron qurilma talaba ongida yagona tizim sifatida shakllanmasligidir. Masalan, tranzistor mavzusini o‘rganishda talaba p-n o‘tishlar, yarimo‘tkazgich qatlamlarining joylashuvi, emitter, baza va kollektor vazifasi hamda tranzistorning sxematik belgisini alohida o‘zlashtirishi mumkin. Biroq bu bilimlar bitta amaliy sxemani tahlil qilish jarayonida birlashtirilmasa, mavzu ko‘proq yodlash darajasida qoladi. Shuning uchun o‘quv materialini elementning tuzilishi, shartli belgisi, ishlash prinsipi, ulanishi, xarakteristikasi va amaliy vazifasi ketma-ketligida berish maqsadga muvofiq [1].

Bunday ketma-ketlikni tashkil etishda har bir mavzu uchun vizual materiallar bilan boyitilgan o‘quv-texnologik karta tayyorlash samarali vosita bo‘lishi mumkin. Texnologik kartada mavzuning maqsadi, tayanch tushunchalar, o‘rganilayotgan elementning tashqi ko‘rinishi va sxematik belgisi, asosiy parametrlar, ishlash prinsipi, tipik ulanishlar, amaliy topshiriq va nazorat savollari bir tizimda joylashtiriladi. Bu o‘qituvchiga darsning mantiqiy tuzilishini oldindan belgilash imkonini bersa, talabaga qaysi bosqichda nazariy bilim, qaysi bosqichda sxema tahlili va qaysi bosqichda amaliy harakat bajarilishi kerakligini aniq ko‘rsatadi. Natijada mavzu bir-biridan uzilgan ma’lumotlar yig‘indisi sifatida emas, muayyan o‘quv faoliyati ketma-ketligi sifatida o‘zlashtiriladi.

Tranzistor mavzusini o‘rganishda bunday kartani bir necha mantiqiy bosqichga ajratish mumkin. Avval tranzistorning tuzilishi va asosiy turlari ko‘rsatiladi, undan keyin uning sxematik belgisi va elektrodlarning

vazifasi izohlanadi. Keyingi bosqichda umumiy emitter, umumiy baza va umumiy kollektor kabi ulanishlarning mazmuni sxema asosida tahlil qilinadi. Shundan so‘ng kirish va chiqish kattaliklari o‘rtasidagi bog‘lanish grafik yoki virtual model yordamida kuzatiladi. Yakuniy bosqichda talaba sodda elektron kalit yoki kuchaytirgich sxemasini tahlil qiladi, undagi har bir elementning vazifasini asoslaydi va parametrlarning o‘zgarishi natijaga qanday ta’sir qilishini tushuntiradi. Shu tarzda nazariy tushuncha asta-sekin amaliy sxema bilan bog‘lanadi.

Raqamli texnologiyalarning didaktik imkoniyati aynan shu jarayonni ko‘rgazmali, takror ko‘riladigan va mustaqil o‘zlashtirishga qulay shaklga keltirishda namoyon bo‘ladi. O‘qituvchi mavzu bo‘yicha elektron komponentlar rasmlari, sxemalar, qisqa matnli izohlar, animatsion lavhalar va ovozli tushuntirishlarni bitta elektron materialga birlashtirishi mumkin. Tayyorlangan material talabaga yuborilganda u auditoriyada o‘tilgan mavzuni uyda qayta ko‘radi, o‘qituvchining izohini takror tinglaydi, tushunmagan joyiga qaytadi va materialni o‘z tezligida o‘zlashtiradi. Ayniqsa murakkab sxemalarni bosqichma-bosqich ochib berish, ulanishlarni alohida ko‘rsatish va har bir holatga qisqa izoh berish talabaning mavzuni mustaqil qayta ishlashiga yordam beradi [2].

Biroq elektron resursning mavjudligi o‘z-o‘zidan ta’lim sifatini oshirmaydi. Agar raqamli material faqat tayyor ma’lumotni namoyish etsa, talaba kuzatuvchi holatida qolib ketishi mumkin. Shu sababli har bir vizual yoki ovozli fragmentdan keyin talabaning faol fikrlashini talab qiladigan savol yoki kichik topshiriq berilishi lozim. Masalan, “tranzistorning qaysi elektrodi boshqaruvchi vazifani bajaradi?”, “baza toki kamayganda kollektor zanjiridagi tok qanday o‘zgaradi?”, “berilgan ulanishning vazifasi nimadan iborat?” kabi savollar talabaning kuzatishdan tahlilga o‘tishini ta’minlaydi. Keyingi bosqichda esa talaba sxemadagi bitta parametrni o‘zgartirib, natijani oldindan bashorat qiladi va o‘z fikrini tekshiradi.

Elektron sxemalarni virtual muhitda modellashtirish nazariya va tajriba o‘rtasidagi bog‘lanishni yanada mustahkamlaydi. Virtual modelda rezistor, diod, tranzistor, quvvat manbai va o‘lchash asboblaridan foydalanib sxema yig‘ish, tok va kuchlanish qiymatlarini kuzatish, komponent parametrlarini o‘zgartirish hamda natijalarni taqqoslash mumkin. Bunda talaba sxemaning ishini xavfsiz sharoitda bir necha marta sinab ko‘radi, noto‘g‘ri ulanishning oqibatini tahlil qiladi va real laboratoriyaga tayyor holda keladi. Virtual muhit ayniqsa laboratoriya jihozlari soni cheklangan yoki bir vaqtning o‘zida barcha talabaga alohida qurilma ajratish imkoniyati bo‘lmagan holatlarda dastlabki tayyorgarlik vositasi sifatida foydalidir [3].

Shu bilan birga virtual model real tajribani to‘liq almashtirmasligi kerak. Elektronika va sxemotexnika mashg‘ulotlarida “tushuntirish – vizual tahlil – virtual tekshiruv – real tajriba – xulosa” ketma-ketligini qo‘llash maqsadga muvofiq. Masalan, diodning volt-amper xarakteristikasini o‘rganishda talaba avval diodning tuzilishi va shartli belgisini ko‘radi, keyin sxemani tahlil qiladi, virtual muhitda kuchlanish o‘zgarishiga mos tok qiymatlarini kuzatadi. Shundan so‘ng real laboratoriya qurilmasida o‘lchash bajarilib, nazariy, virtual va tajribaviy natijalar solishtiriladi. Natijalar orasidagi farq o‘lchash xatoligi, real komponent parametrlarining tarqalishi va modelda qabul qilingan soddalashtirishlar bilan izohlanadi.

Tranzistorni kalit rejimida o‘rganishda ham xuddi shunday usuldan foydalanish mumkin. Talabaga yorug‘lik diodini boshqaruvchi sodda tranzistorli sxema berilib, baza zanjiridagi qarshilik qiymati o‘zgarganda sxemaning ishiga qanday ta’sir qilishi haqida savol qo‘yiladi. Talaba avval sxemani o‘qiydi va o‘z taxminini bildiradi, keyin virtual modelda baza toki va kollektor toki orasidagi bog‘lanishni kuzatadi, so‘ng real sxemada o‘lchash olib boradi. Bunday topshiriq tranzistorni faqat alohida elektron element sifatida emas, ma’lum vazifani bajaruvchi sxema qismi sifatida tushunishga yordam beradi. Eng muhimi, talaba olingan sonli natijani sxemaning fizik ishlash mexanizmi bilan izohlashga odatlanadi.

Mazkur yondashuvda o‘qituvchining vazifasi tayyor axborotni yetkazish bilan cheklanmaydi. U muammoli vaziyatni tashkil etadi, kerakli vizual va raqamli resursni tanlaydi, sxemani bosqichma-bosqich tahlil qilishga yo‘naltiradi, talabaning xatosini aniqlashiga yordam beradi va virtual natijani real tajriba bilan bog‘laydi. Talaba esa sxemani o‘qish, elementlarni farqlash, ulanishni asoslash, parametrlar

o‘zgarishini bashorat qilish, o‘lchash natijalarini taqqoslash va xulosa chiqarish kabi faoliyatlarni bajaradi. Natijada o‘qitish jarayoni tayyor bilimni qabul qilishdan bilimni amalda qo‘llash, tekshirish va izohlash bosqichiga o‘tadi.

Raqamli materialni tayyorlashda o‘quv yuklamasini me’yorlash ham muhim. Bir sahifa yoki slaydga ortiqcha matn, ko‘p sxema va bir nechta formulani bir vaqtda joylashtirish talabaning e’tiborini asosiy mazmundan chalg‘itishi mumkin. Shu sababli materialni kichik mantiqiy bloklarga ajratish maqsadga muvofiq: birinchi blokda elementning tuzilishi, ikkinchisida sxematik belgi, uchinchisida ishlash prinsipi, to‘rtinchisida ulanish sxemasi, beshinchisida esa nazorat topshirig‘i beriladi. Ovozli izoh ham qisqa va maqsadli bo‘lishi, ekrandagi sxema yoki tasvirni aynan nimaga e’tibor qaratish kerakligi bilan bog‘lashi lozim. Bunday tashkil etish mustaqil o‘rganishda materialga qayta murojaat qilishni osonlashtiradi.

Laboratoriya mashg‘ulotiga tayyorgarlikni ham raqamli resurs bilan bog‘lash mumkin. Talaba mashg‘ulotdan oldin elektron kartadagi sxema bilan tanishadi, ulanish ketma-ketligini ko‘radi va kutiladigan natijani yozib keladi. Auditoriyada o‘qituvchi tayyor javobni bermasdan, tanlangan ulanishning sababini va kutilayotgan natijani so‘raydi. Laboratoriyada esa talaba o‘z bashoratini real o‘lchash bilan tekshiradi. Mashg‘ulotdan keyin sxemadagi bitta element qiymati o‘zgartirilib, natijani izohlash talab qilinadi. Shu tariqa bitta mavzu darsdan oldingi tayyorgarlik, auditoriyadagi tahlil, tajriba va yakuniy xulosa bosqichlariga birlashtiriladi.

Bunday mashg‘ulotlarda xavfsizlik masalasi ham texnologik kartaning alohida tarkibiy qismi bo‘lishi kerak. Elektron sxemani manbaga ulashdan oldin ulanishni tekshirish, qutblanishga rioya qilish, ruxsat etilgan tok va kuchlanish chegaralarini hisobga olish, o‘lchash asbobining diapazonini to‘g‘ri tanlash kabi talablar talabalarga oldindan ko‘rsatilishi lozim. Virtual muhitda noto‘g‘ri ulanish ko‘pincha faqat noto‘g‘ri natija bilan tugaydi, real qurilmada esa komponentning ishdan chiqishi yoki o‘lchash vositasiga zarar yetishi mumkin. Shuning uchun dastlab virtual tekshiruv o‘tkazib, keyin real sxemaga o‘tish boshlang‘ich laboratoriya tayyorgarligi uchun maqbul ketma-ketlik hisoblanadi.

Baholash jarayoni ham qo‘llanilgan metodikaga mos tashkil etilishi zarur. Faqat termin va ta’rifni so‘rash talabaning sxemotexnik tayyorgarligini to‘liq ko‘rsatmaydi. Nazorat topshiriqlariga sxemadagi xatoni topish, elementning vazifasini tushuntirish, berilgan sxemani o‘zgartirish, parametr o‘zgarishining natijasini oldindan aytish, virtual va real o‘lchash natijalarini taqqoslash kabi vazifalarni kiritish maqsadga muvofiq. Shunda baholash talabaning ma’lumotni eslab qolishini emas, balki uni yangi vaziyatda qo‘llashi va asoslangan xulosa chiqarishini ham qamrab oladi. Bu ayniqsa elektronika va radioelektronika kabi amaliy yo‘nalishdagi fanlarda muhim.

Mustaqil ta’limni tashkil etishda elektron material talabaning faqat ko‘rishi va tinglashiga emas, ma’lum natija yaratishiga yo‘naltirilishi kerak. Masalan, mavzu yakunida talaba berilgan sxemaning qisqa tavsifini yozishi, undagi komponentlar vazifasini belgilashi, ikkita ulanish variantini taqqoslashi yoki sxemada yuzaga kelgan nosozlik sababini aniqlashi mumkin. Keyingi mashg‘ulotda ushbu topshiriqlar asosida uchraydigan tipik xatolar muhokama qilinadi. Shu yo‘l bilan elektron resurs uyga yuboriladigan tayyor ma’lumotdan o‘quv faoliyatini boshqaruvchi vositaga aylanadi. O‘qituvchi esa talabalar qaysi tushuncha yoki ulanish bosqichida ko‘proq qiyinchilikka duch kelayotganini ko‘rib, keyingi mashg‘ulot mazmunini shunga mos ravishda aniqlashtirishi mumkin.

Elektronika va radioelektronika fanlarida sxemani tahlil qilish ko‘nikmasini rivojlantirish uchun topshiriqlarni murakkablik darajasi bo‘yicha ketma-ket berish maqsadga muvofiq. Dastlab talaba tayyor sxemadagi elementlarni nomlaydi va ularning vazifasini ko‘rsatadi. Keyin ulanishdagi bitta xatoni topadi yoki berilgan parametr o‘zgarganda natijani bashorat qiladi. Keyingi darajada esa sxemani ma’lum vazifaga mos ravishda o‘zgartiradi, masalan, yorug‘lik diodi tokini cheklash uchun qarshilik qiymatini tanlaydi yoki tranzistorli kalitning ish holatini izohlaydi. Eng yuqori bosqichda talaba virtual model va real o‘lchash

natijalarini solishtirib, farq sababini tahlil qiladi. Bunday ketma-ketlik bilimni oddiy tanib olishdan amaliy qo‘llash va tushuntirishga olib keladi.

Taklif etilayotgan metodik yondashuvni darsga joriy etishda raqamli vositaning o‘zi emas, uning o‘quv vazifasiga mosligi asosiy mezon bo‘lishi kerak. Har bir rasm, sxema, animatsiya yoki ovozli izoh ma’lum savolga javob berishi, talabaning keyingi amaliy harakatiga tayyorlashi lozim. Agar biror raqamli element mavzuni tushunishga xizmat qilmasa, uni qo‘shish o‘quv yuklamasini orttiradi, xolos. Shu sababli o‘qituvchi materialni tayyorlashdan oldin “talaba nimani ko‘rishi kerak?”, “nimani o‘zi aniqlashi kerak?”, “qaysi natijani tajribada tekshiradi?” degan savollarni belgilab olishi maqsadga muvofiq. Shunda texnologiya mazmunni almashtirmaydi, aksincha mazmunni aniqroq ochishga xizmat qiladi.

Amaliy jihatdan bunday mashg‘ulot uchun murakkab texnik tizim shart emas. Mavjud kompyuter, proyektor, elektron taqdimot, sxemalarni modellashtirish dasturi va oddiy laboratoriya jihozlari yagona o‘quv zanjirida qo‘llanadi: rasm elementni tanishtiradi, sxema uning zanjirdagi o‘rnini ko‘rsatadi, virtual model parametrlar ta’sirini tekshiradi, real tajriba esa xulosani o‘lchash bilan mustahkamlaydi.

Shunday qilib, elektronika, radioelektronika va sxemotexnika fanlarini o‘qitishda raqamli texnologiyalardan foydalanish samarasi ularning dars maqsadi va amaliy faoliyat bilan to‘g‘ri bog‘lanishiga bog‘liq. O‘quv-texnologik karta, tasvir va sxemalarni bosqichma-bosqich taqdim etish, ovozli tushuntirish, virtual modellashtirish, real tajriba va faol topshiriqlarni uyg‘unlashtirish talabaning element ishlash prinsipini tushunishi, sxemadagi vazifasini aniqlashi va natijani fizik jihatdan izohlashiga xizmat qiladi. Bunda raqamli texnologiya darsning tashqi bezagi emas, nazariya bilan amaliyotni bog‘lovchi metodik vosita sifatida namoyon bo‘ladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Floyd T.L., Buchla D.M., Wetterling S. Electronic Devices (Conventional Current Version). 10th ed. Pearson, 2022.
2. Mayer R.E. Multimedia Learning. 3rd ed. Cambridge University Press, 2020.
3. National Instruments. Multisim Circuit Simulation [Electronic resource]. NI Education. URL: https://education.ni.com/teach/resources/1105/multisim-circuit-simulation (murojaat: 08.09.2026).

UMUMTA’LIM MAKTABLARIDA “ICHKI ENERGIYA” MAVZUSINI O‘QITISHDA VIRTUAL NAMOYISH EKSPERIMENTLARINING O‘RNI

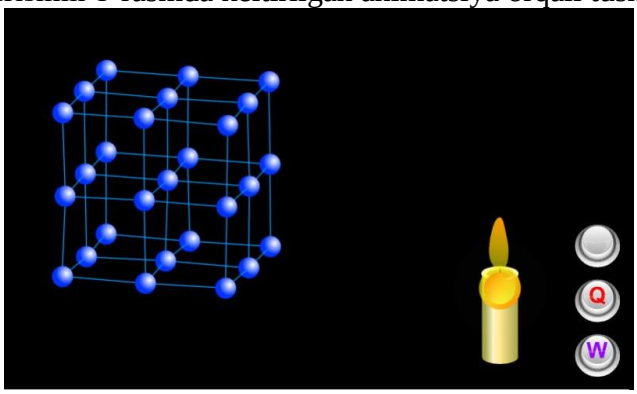
O.Q.Dehqonova, p.f.b.f.d(PhD), Farg‘ona davlat universiteti
M.Xosilova, Farg‘ona davlat universiteti, talaba

Ichki energiya – jismni tashkil etuvchi zarrachalarning tartibsiz harakati kinetik energiyasi va ularning o‘zaro ta’sir potensial energiyasi yig‘indisidir. Bu tushuncha mikroskopik jarayonlar bilan bog‘liq bo‘lgani uchun o‘quvchilar uni bevosita kuzata olmaydi, shuning uchun mavzuni tushuntirishda ko‘rgazmali usullar, xususan, virtual eksperimentlar muhim ahamiyatga ega.

Zamonaviy ta’lim tizimida murakkab fizik tushunchalarni vizual tasvirlash o‘quvchilarning mavzuni chuqur o‘zlashtirishiga yordam beradi. Shu nuqtayi nazardan, RNDr. Vladimír Vaščák tomonidan ishlab chiqilgan Vascak dasturi samarali vositalardan biri hisoblanadi. Unda mexanika, termodinamika, elektrostatika, optika, nisbiylik nazariyasi kabi bo‘limlarga oid 200 dan ortiq interaktiv animatsiyalar mavjud bo‘lib, ular yordamida moddalarning molekulyar tuzilishi, issiqlik almashinuvi va energiya o‘zgarishlarini ko‘rsatish mumkin [1–4].

Tezisning maqsadi – Vascak dasturidan foydalanishning didaktik afzalliklarini hamda uni ichki energiya mavzusini, xususan, issiqlikning kristall panjara tuzilishiga ta’sirini o‘qitishda qo‘llash imkoniyatlarini tahlil qilishdan iborat.

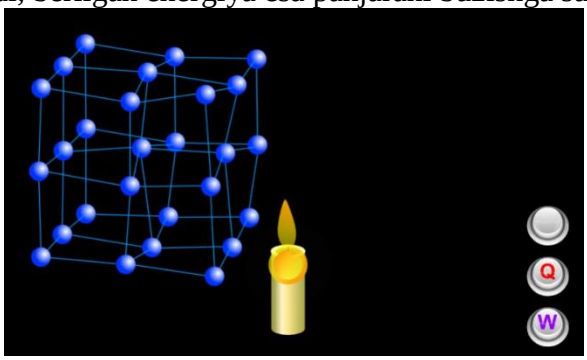
Kristall panjara – qattiq jismlardagi atom yoki ionlarning fazoda tartibli, davriy joylashuvidir. Panjara tugunlaridagi zarrachalar muvozanat vaziyati atrofida tebranma harakat qiladi. Ichki energiyaning ortishi bilan panjaraning qanday o‘zgarishini 1-rasmda keltirilgan animatsiya orqali tushuntirish mumkin.



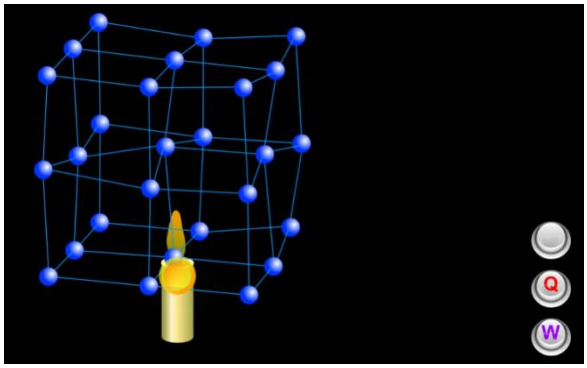
1-rasm. Kristall panjara tuzilishi va unga issiqlik ta’siri

Jismga issiqlik miqdori berilganda panjaradagi zarrachalarning tebranish amplitudasi va tezligi ortadi, ya’ni ichki energiya oshadi. Natijada zarrachalar orasidagi o‘rtacha masofa kattalashadi va panjara shakli o‘zgaradi (2-rasm). Bu jarayon qattiq jismlarning issiqlikdan kengayishiga va fizik xususiyatlarining o‘zgarishiga olib keladi.

Agar berilgan issiqlik miqdori yetarlicha katta bo‘lsa, zarrachalar orasidagi bog‘lanishlar uziladi, kristall panjara butunlay buziladi va modda suyuq holatga o‘tadi (3-rasm). Bunda suyuqlanish harorati o‘zgarmay qoladi, berilgan energiya esa panjarani buzishga sarflanadi.



2-rasm. Harorat oshganda kristall panjaraning o‘zgarishi



3-rasm. Yuqori haroratda kristall panjaraning buzilishi

Darsda animatsiyadan foydalanishda o‘qituvchi haroratni bosqichma-bosqich oshirib, o‘quvchilardan zarrachalar harakatidagi o‘zgarishlarni kuzatish va izohlashni so‘raydi. Bunday yondashuv o‘quvchilarda kuzatish, taqqoslash va xulosa chiqarish ko‘nikmalarini shakllantiradi, nazariy bilimlarni real hodisalar bilan bog‘lashga yordam beradi [5–10].

Ichki energiya mavzusini o‘qitishda virtual namoyish eksperimentlarining ahamiyati katta. Ular o‘quvchilarga ichki energiya, issiqlik miqdori va modda tuzilishi o‘rtasidagi bog‘lanishni yaqqol tushunishga yordam beradi hamda bevosita kuzatib bo‘lmaydigan mikroskopik jarayonlarni ko‘rgazmali qiladi.

Shu bois umumta’lim maktablarida virtual laboratoriyalar va simulyatsiyalarni kengroq qo‘llash o‘quvchilarning fizikaga qiziqishini oshirish, ilmiy dunyoqarashini shakllantirish va amaliy ko‘nikmalarini rivojlantirishda samarali vosita bo‘lib xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Dehqonova O., Taylanov N. The application of electronic multimedia resources for students in physics learning // Физико-технологическое образование. – 2022. – № 2.
2. Dehqonova O., Qurbonov M., Taylanov N. The mathematics concepts in physics training in secondary schools // Физико-технологическое образование. – 2022. – № 2.
3. Dehqonova O., Taylanov N. Experimental methodology on the basics of multimedia in a school physics course // Физико-технологическое образование. – 2022. – № 2.
4. Dehqonova O., Taylanov N. Innovations of computer science in the high educational system // Физико-технологическое образование. – 2022. – № 2.
5. Senin V.G. Fizika: interfaol namoyish eksperimentlari [Elektron resurs]. – URL: http://seninvg07.narod.ru/004_fiz_lab.htm.
6. Anaxov S.V. Fizika laboratoriya praktikumida kompyuter texnologiyalari // Ta’limda yangi axborot texnologiyalari: VI xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya materiallari. – Yekaterinburg, 2013. – B. 16–18.
7. Konev S.N., Fedorova L.M. Zamonaviy laboratoriya praktikumi // Oliy va o‘rta ta’lim tizimida fizika: xalqaro maktab-seminar materiallari. – Moskva, 2014. – B. 102–103.
8. Konev S.N. Kompyuter laboratoriya praktikumida Kompton effekti va fizikadan ma’ruza namoyishlari // Ta’lim va fanda yangi axborot texnologiyalari: IX xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya materiallari. – Yekaterinburg, 2016. – B. 274–278.
9. Zuyev P.V. Fizikani sxemalarni modellashtirish asosida o‘qitishda o‘quvchilarning muhandislik tafakkurini rivojlantirish // Rossiyada pedagog ta’limi. – 2017. – № 7. – B. 79–88.
10. Cheremisina E.N. Zamonaviy kompyuter ta’limida bulutli texnologiyalarga asoslangan virtual kompyuter laboratoriyasining o‘rni // Masofaviy va virtual ta’lim. – 2012. – № 1. – B. 50–64.

MUHANDISLIK YO‘NALISHI TALABALARINI KASBIY TAYYORLASHDA FIZIKA FANINI RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR ASOSIDA O‘QITISHNING DIDAKTIK KLASTERI

Odilov Yorqin Jo‘rayevich
Qarshi davlat texnika universitet dotsenti

Annotatsiya. Ushbu maqolada muhandislik yo‘nalishi talabalarini kasbiy tayyorlash jarayonida fizika fanini raqamli texnologiyalar asosida o‘qitishning didaktik klaster modeli ishlab chiqilgan. Zamonaviy muhandislik ta’limida fizika fundamental fan sifatida kasbiy kompetensiyalarni shakllantirishning nazariy asosini tashkil etadi. Tadqiqotda adaptiv ta’lim platformalari, sun’iy intellekt, virtual laboratoriyalar, raqamli egizak (Digital Twin), IoT qurilmalari, kengaytirilgan va virtual reallik (AR/VR), bulutli texnologiyalar hamda ta’lim analitikasi integratsiyasi asosida didaktik klasterning konseptual modeli taklif etilgan. Mazkur model talabalarning individual ta’lim trayektoriyasini shakllantirish, amaliy kompetensiyalarni rivojlantirish hamda o‘quv jarayonini real vaqt rejimida monitoring qilish imkonini beradi. Tadqiqot natijalari didaktik klasterni qo‘llash natijasida talabalarning fizik tushunchalarni o‘zlashtirish darajasi, muhandislik masalalarini yechish kompetensiyasi va mustaqil ta’lim ko‘nikmalari sezilarli darajada ortishini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: didaktik klaster, fizika ta’limi, muhandislik ta’limi, adaptiv ta’lim, sun’iy intellekt, virtual laboratoriya, Digital Twin, IoT, AR/VR, Learning Analytics, STEM.

Kirish; Global raqamli transformatsiya va to‘rtinchi sanoat inqilobi (Industry 4.0) sharoitida muhandislik kadrlarini tayyorlash sifatiga qo‘yiladigan talablar keskin o‘zgardi. Kelgusi avlod muhandislari nafaqat nazariy bilimlarga, balki murakkab texnologik tizimlarni boshqarish, raqamli muhitda ishlash va innovatsion yechimlarni topish ko‘nikmalariga ega bo‘lishi shart. Fizika fani texnika oliy ta’lim muassasalarida barcha muhandislik yo‘nalishlari uchun fundamental poydevor hisoblanadi. Biroq, an'anaviy o‘qitish usullari bugungi kunda talabalarning shaxsiy ta’lim ehtiyojlarini to‘liq qondira olmayapti

va amaliy ko‘nikmalarni real ishlab chiqarish talablariga mos ravishda rivojlantirishda qiyinchiliklar tug‘dirmoqda.

Adabiyotlar sharhi; So‘nggi yillarda muhandislik ta’limida raqamli texnologiyalarni qo‘llash bo‘yicha ko‘plab ilmiy tadqiqotlar olib borildi. Jumladan:

Adaptive Learning & AI: Smith va boshq. (2022) sun’iy intellektga asoslangan adaptiv tizimlar talabalarning o‘zlashtirish ko‘rsatkichlarini 25-30% ga oshirishini ko‘rsatib o‘tgan.

Virtual Labs & Digital Twin: Johnson va Lee (2023) fizika laboratoriyalarida Digital Twin va virtual reallikni qo‘llash orqali talabalarning eksperimental xatoliklarni tahlil qilish kompetensiyasi keskin oshishini isbotlaganlar.

Learning Analytics: Brown (2024) o‘quv jarayonini real vaqt rejimida monitoring qilish orqali talabaning kognitiv yuklamasini boshqarish mexanizmlarini taklif qilgan.

Ilmiy yangiligi; Mazkur tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

1. Muhandislik ta’limi uchun “Raqamli didaktik klaster” modeli ilk bor kompleks pedagogik tizim sifatida ishlab chiqildi.

2. Fizika fanini o‘qitishda quyidagi komponentlarni yagona didaktik tizimga integratsiyalash taklif etildi:

1. Sun’iy intellekt (AI)
2. Learning Analytics
3. Digital Twin
4. Virtual laboratoriya
5. AR/VR
6. IoT laboratoriyalari
7. LMS platformalari
8. Adaptiv baholash tizimi

3. Talabaning kompetensiyasini baholash uchun Adaptive Competency Index (ACI) deb nomlangan yangi kompleks ko‘rsatkich taklif qilindi.

ACI quyidagi komponentlardan shakllanadi:

1. nazariy bilim;
2. amaliy tajriba;
3. virtual laboratoriya natijalari;
4. muhandislik loyihasi;
5. mustaqil ta’lim faolligi.

4. Fizika laboratoriyalarini Digital Twin texnologiyasi bilan integratsiyalash metodikasi ishlab chiqildi.

5. Fizika kursi uchun adaptiv o‘quv marshrutini avtomatik shakllantiruvchi algoritm ishlab chiqildi.

Tadqiqot metodologiyasi. Tadqiqot jarayonida tizimli yondashuv, pedagogik tajriba, adaptiv o‘qitish modellashtirishi, STEM metodologiyasi hamda Learning Analytics usullaridan foydalanildi. Tajriba jarayonida eksperimental guruhlarga “Digital Didactic Cluster for Engineering Physics (DDC-EP)” modeli tatbiq etildi, nazorat guruhlarida esa an”anaviy usullardan foydalanildi.

“DIGITAL DIDACTIC CLUSTER FOR ENGINEERING PHYSICS (DDC-EP)”

Tadqiqotning asosiy ilmiy yangiligi sifatida quyidagi 8 ta komponentni yagona ekotizimga birlashtiruvchi model yaratildi:

- Diagnostik adaptiv test — talabaning boshlang‘ich bilim darajasini aniqlash.
- AI asosida individual o‘quv marshruti — o‘zlashtirish tezligiga qarab kontentni moslashtirish.
- Virtual laboratoriyalar — murakkab fizik jarayonlarni simulyatsiya qilish.
- Digital Twin laboratoriyasi — real fizik qurilmaning raqamli nusxasi bilan ishlash.
- AR/VR fizik modellar — ko‘rinmas fizik maydonlar va jarayonlarni vizuallashtirish.

- IoT eksperimental qurilmalari — masofadan turib real tajribalarni boshqarish.
- Learning Analytics — o‘quv jarayonini tahlil qilish va bashorat qilish.
- Kompetensiyani baholash (ACI) — Adaptive Competency Index asosida yakuniy baholash.

Adaptive Competency Index (ACI) formulasi:

$$ACI = w_1(nazariy) + w_2(Amaliy) + w_3(Virtual\ lab) + w_4(Loyiha) + w_5(Mustaqil\ ta'lim)$$

Tajriba natijalari va statistik tahlil

Tajriba natijalari quyidagi jadvalda keltirilgan:

1-jadval

Ko‘rsatkichlar	*An’anaviy guruh (%)*	*Didaktik klaster (DDC-EP) guruhi (%)*	*O‘sish dinamikasi*
Nazariy bilim darajasi	*69%*	*90%*	*+21%*
Laboratoriya ko‘nikmasi	*63%*	*92%*	*+29%*
Muhandislik kompetensiyasi	*60%*	*88%*	*+28%*
Mustaqil ta’lim faolligi	*56%*	*91%*	*+35%*
Kursni muvaffaqiyatli yakunlash	*82%*	*98%*	*+16%*

Muhokama; Taklif etilgan didaktik klaster:

- shaxsga yo‘naltirilgan ta’limni tashkil etadi;
- laboratoriya mashg‘ulotlarini raqamlashtiradi;
- muhandislik fikrlashini rivojlantiradi;
- fizik modellarni real ishlab chiqarish bilan bog'laydi;
- AI orqali individual tavsiyalar beradi;
- o‘qituvchining monitoring imkoniyatlarini kengaytiradi.

Natijada talabalarning kasbiy kompetensiyasi an'anaviy usullarga nisbatan sezilarli darajada oshadi.

Xulosa; Taklif etilgan didaktik klaster texnik oliy ta’lim muassasalarida fizika fanini zamonaviy raqamli texnologiyalar asosida o‘qitishning integrallashgan modelini ifodalaydi. Model adaptiv o‘qitish, sun’iy intellekt, virtual laboratoriyalar, Digital Twin va Learning Analytics texnologiyalarini yagona pedagogik tizimga birlashtirib, talabalarning nazariy bilimlari bilan bir qatorda amaliy va kasbiy kompetensiyalarini rivojlantirishda yuqori samaradorlik ko‘rsatdi. Tadqiqot natijalari mazkur yondashuv muhandislik ta’limi sifatini tubdan oshirish, mustaqil ta’limni qo‘llab-quvvatlash va mehnat bozori talablariga mos malakali mutaxassislarni tayyorlashda samarali ekanligini isbotlaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI:

1. Одилов.Ё.Ж. //Физика фанини ўқитиш асосида талабаларнинг лойиҳавий-конструкторлик фаолиятини ривожлантириш//. Муғаллим ҳәм үзликсиз билимлендириў. Илмий-методикалық журнал.–Нөкис. 2021 103-106
2. Одилов.Ё.Ж. //“Чизиқли ва визуал дастурлаш асосида физика ўқитиш методикасини такомиллаштириш” диссертация//. Чирчиқ-2022.
3. Одилов.Ё.Ж. //Физика фанини ўқитишда замонавий педагогик технологиялардан фойдаланиш //. Наманган давлат университети илмий ахбороти. – Наманган, 2021. – № 11. – Б. 22-24 (13.00.02. № 30).
4. Одилов.Ё.Ж. //“Физика ўқитиш асосида талабаларни лойиҳавий-конструкторлик фаолиятига тайёрлаш”// ЎзМУ ХАБАРЛАРИ журналига. 2022 1/11. (13.00.02. № 30).

5. Одилов.Ё.Ж. // Методы использования языков программирования в обучении физике//. Oriental Renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. VOLUME 1. ISSUE 9. ISSN 2181-1784. Scientific Journal Impact Factor. – Тошкент, 2021. – P. 436-441.

6. OY Juraevich, MS Abduraxmonovna. //RAQAMLI TA’LIM MUHITIDA TALABALARNI KASBIY-PEDAGOGIK FAOLIYATGA TAYYORLASHNING NAZARIY VA METODIK ASOSLARI// *Vol. 4 No. 41 (2026): INTERDISCIPLINE INNOVATION AND SCIENTIFIC RESEARCH CONFERENCE*.

7. Одилов.Ё.Ж. //Физикадан таълим бериш асосида талабаларни касбий фаолиятга тайёрлаш методикаси // Таълим ва инновацион тадқиқотлар. – Тошкент, 2021. – № 5. ISSN 2181-1709. – Б. 238-244.

8. ОДИЛОВ , Ё.J . (2024). ЯНГИ ВА НОАНЪАНАВИЙ УСЛУБЛАРДАН ФОЙДАЛАНИБ ФИЗИКА ФАНИДАН ЛАБОРАТОРИЯ ИШИНИ БАЖАРИШ УСУЛЛАРИ. *Наука и инновации*, *2*(20), 77-80.

9. Тураев С.Ж., Одилов Ё.Ж. Маълумотлар базасини шакллантириш орқали графиклар ҳосил қилишда Borland Delphi7 дастурлаш тилидан фойдаланиш. // “Олий таълим муассасаларида фанларни ўқитишда замонавий педагогик ва ахборот технологияларидан фойдаланишнинг долзарб муаммолари” Республика илмий-амалий анжумани. – ҚДУ: Қарши, 2017.Б 239-241.

FIZIKA TA’LIMIDA OPTIKA BO‘LIMINI ZAMONAVIY TAJRIBALAR VA KO‘RGAZMALI VOSITALAR ASOSIDA O‘QITISH METODIKASI

Payzillayev A’zam Nurillayevich
Samarqand davlat pedagogika instituti
Samarqand Sh.,140100. Spitamen shoh ko‘chasi 166-uy
Ibrohimova Gulandon Baxtiyor qizi
Samarqand davlat pedagogika instituti
Tabiiy fanlar fakulteti Fizika va astronomiya yo ‘nalishi

Kirish

Optika fizikaning yorug‘lik hodisalari va ularning qonuniyatlarini o‘rganuvchi muhim bo‘limlaridan biri hisoblanadi. Ushbu bo‘limni o‘qitishda yorug‘likning to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tarqalishi, qaytishi va sinishi, linza va ko‘zgularda tasvir hosil bo‘lishi kabi jarayonlarning mohiyatini o‘quvchilarga tushunarli tarzda yetkazish muhim ahamiyatga ega [1, 2]. Faqat nazariy tushuntirish va formulalardan foydalanish ayrim optik jarayonlarning fazoviy tasavvurini shakllantirish uchun yetarli bo‘lmasligi mumkin [3, 4]. Shu sababli optika darslarida tajribaviy va ko‘rgazmali yondashuv alohida o‘rin egallaydi [5, 6].

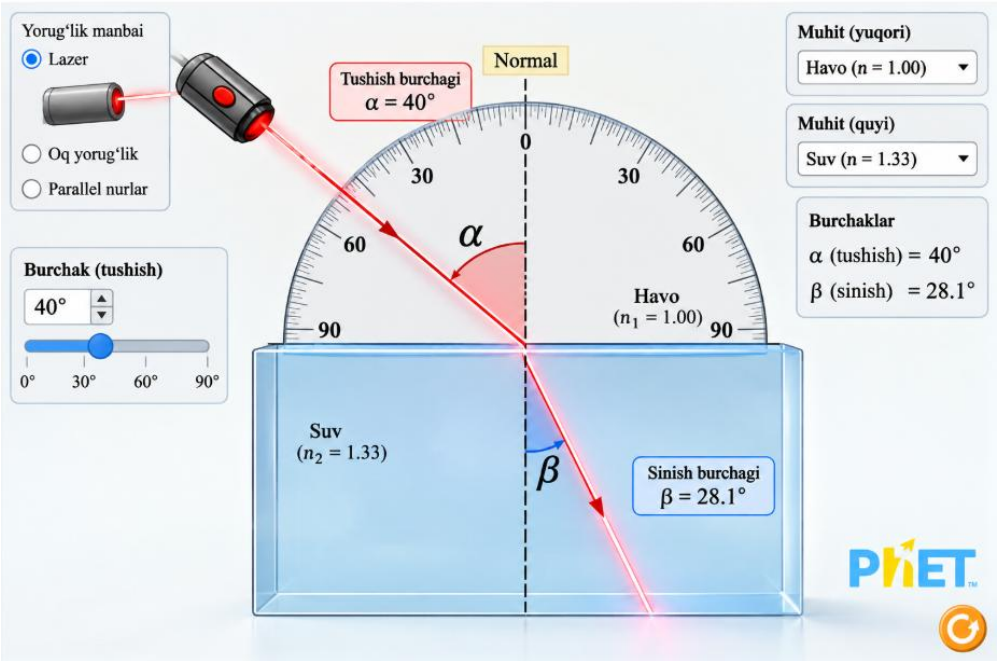
Zamonaviy ta’lim texnologiyalari an’anaviy optik tajribalarni virtual laboratoriyalar, animatsiyalar va interaktiv modellar bilan uyg‘unlashtirish imkonini bermoqda. Xususan, PhET interaktiv simulyatsiyalari orqali linza va ko‘zgulardagi nur yo‘llarini dinamik tarzda kuzatish mumkin. PhETning “Geometrik optika” simulyatsiyasida linza va ko‘zgu bilan ishlash uchun alohida interaktiv muhitlar mavjud [7].

Optika darslarida PhET va ko‘rgazmali vositalardan foydalanish

Optik tajribalarni yanada ko‘rgazmali tashkil etishda real laboratoriya qurilmalarini virtual tajribalar bilan birgalikda qo‘llash mumkin. Masalan, linzada tasvir hosil bo‘lishini avval haqiqiy linza yordamida kuzatish, so‘ngra shu jarayonni PhET “Geometrik optika” simulyatsiyasida takrorlash maqsadga muvofiq. Virtual muhitda nur yo‘nalishlarini aniq ko‘rish va linza yoki ko‘zgu bilan bog‘liq jarayonlarni interaktiv tarzda o‘rganish imkoniyati mavjud.

PhET tajribasi: “Yig‘uvchi linzada tasvir hosil bo‘lishini o‘rganish”. Tajribaning dastlabki bosqichida o‘quvchi predmetni linzadan ma’lum masofada joylashtiradi va asosiy nurlarning linzadan o‘tgandan

keyingi yo‘nalishini kuzatadi. Keyinchalik predmet linzaga yaqinlashtiriladi yoki undan uzoqlashtiriladi. Har bir holatda tasvirning joylashuvi, kattaligi va yo‘nalishidagi o‘zgarishlar qayd qilinadi.



Tajriba davomida o‘quvchilarga “Predmet linzaga yaqinlashtirilganda tasvir qanday o‘zgaradi?”, “Fokus masofasi tasvir hosil bo‘lishiga qanday ta’sir qiladi?” kabi savollar beriladi. Bunday topshiriqlar o‘quvchini simulyatsiyani shunchaki kuzatuvchi emas, balki tajriba parametrlarini mustaqil boshqaruvchi tadqiqotchi sifatida faoliyat olib borishga undaydi. PhET materiallarida ham simulyatsiya oldidan taxmin qilish, natijani kuzatish va undan keyin o‘quvchi fikrini muhokama qilish kabi faol o‘qitish usullari ko‘rsatilgan.

Real va virtual tajribalarni bir-biriga qarama-qarshi qo‘yish emas, balki ularni bir-birini to‘ldiruvchi vosita sifatida qo‘llash maqsadga muvofiq. Optikani o‘rganishga bag‘ishlangan tadqiqotda real va virtual tajribalarni birgalikda bajargan o‘quvchilarda tushunchalarni o‘zlashtirish faqat real tajriba bajargan guruhga nisbatan yuqoriroq bo‘lgan.

Xulosa

Optika bo‘limini zamonaviy tajribalar va ko‘rgazmali vositalar asosida o‘qitish nazariy bilimlarni amaliy kuzatishlar bilan bog‘lash imkonini beradi. Yorug‘likning qaytishi va sinishi, linzalarda tasvir hosil bo‘lishi kabi hodisalarni real tajriba orqali kuzatish, so‘ng ularni virtual muhitda modellashtirish o‘quvchining fizik jarayon haqidagi tasavvurini kengaytiradi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Karshiboyev Sh.E., Gafforova Sh. Fizika fanidan laboratoriya mashg‘ulotlarini raqamli texnologiyalar yordamida tashkil etish va o‘tkazish metodikasi // Science and Education. – 2024. – 5(8). – B. 69–71.

2. Zoirov S.X., Sirojiddinov Sh.H., Patinov J.R. Maktablarda zamonaviy virtual laboratoriyalarni tashkil etish metodikasi // Science and Education. – 2024. – 5(3). – B. 495–499.

3. Zoirov S.X., Fayzullayeva U.X. Fizika laboratoriyalarini zamonaviy texnologiyalardan foydalanilgan holda loyihalashtirish metodikasi // Science and Education. – 2024. – 5(3). – B. 545–549.

4. Zoirov S.X., Boynazarova N.S., Patinov J.R., Sirojiddinov Sh.H. Fizik jarayonlarni axborot texnologiyalaridan foydalanilgan holda o‘rganish metodikasi // Science and Education. – 2024. – 5(3). – B. 531–536.

5. Zoirov S.X., Hamidova M.Sh., Soliyeva S.O. PhET dasturida elektr bo‘limi laboratoriyalarini virtual bajarish imkoniyatlarini o‘rganish metodikasi // Science and Education. – 2024. – 5(5). – B. 417–422.
6. Zoirov S.X., Ergasheva M.A., Boynazarova N.S. PhET simulyatorlarida bajarilgan laboratoriya ishlarining afzalliklari // Science and Education. – 2024. – 5(11). – B. 125–129.
7. Mamatov Z.U., Zoirov S.X., Imomov B.U. Laboratoriya darslarini samarali tashkil qilish omillari // Science and Education. – 2024. – 5(12). – B. 224–228.

FIZIKA TA’LIMIDA NAZARIYA VA AMALIYOT INTEGRATSIYASINING DIDAKTIK ASOSLARI

Qo‘chqarova Muqaddas Oybekovna, ADU dotsenti
E-mail: muqaddasquchqarova@gmail.com
Alijonova Gulsanam Muzaffarjon qizi, Abdumalikova Begoyim Bobomurod qizi
Andijon davlat universiteti talabalari

Hozirgi kunda oliy ta’lim tizimida raqobatbardosh, mustaqil fikrlaydigan va o‘z kasbiy faoliyatida nazariy bilimlardan samarali foydalana oladigan mutaxassislarni tayyorlash muhim vazifalardan biri hisoblanadi. Bunday mutaxassisni shakllantirishda ta’lim mazmunining amaliy yo‘nalganligi, nazariy bilimlarning real jarayonlar bilan bog‘liqligi alohida ahamiyat kasb etadi. Fizika fani o‘zining mazmun-mohiyatiga ko‘ra nazariy va eksperimental fan hisoblanadi. Undagi qonun va qonuniyatlar kuzatish, tajriba, o‘lchash va matematik tahlil orqali asoslanadi. Shu sababli fizika ta’limini faqat tayyor formulalar, ta’riflar va nazariy ma’lumotlarni o‘zlashtirishga yo‘naltirish talabalarning fanga oid bilimlarini to‘liq shakllantirish imkonini bermaydi. Nazariy bilimlar amaliy faoliyat bilan uyg‘unlashtirilgandagina fizik hodisalarning mohiyatini chuqur anglash imkoniyati yuzaga keladi. Ta’lim jarayonida nazariya va amaliyotning birligi tamoyili falsafadagi bilish jarayonining nazariya va amaliyot birligi haqidagi qarashlarga asoslanadi. Mazkur tamoyil o‘quvchilarning olgan bilimlarini real hayotiy va kasbiy vaziyatlarda qo‘llashiga, hodisalarni ilmiy asosda tahlil qilishiga hamda mustaqil xulosa chiqarishiga xizmat qiladi. Fizika ta’limida nazariya va amaliyot integratsiyasi, avvalo, o‘quv materialining mazmunini tanlash va uni talabalarga yetkazish jarayonida namoyon bo‘ladi.[1] Nazariy tushuncha amaliy hodisa bilan bog‘langanda talabaning mazkur tushunchaga bo‘lgan qiziqishi ortadi va bilimning mazmuni aniqroq tasavvur qilinadi. Masalan, mexanik harakat qonunlarini o‘rganishda faqat formulalarni keltirish bilan chegaralanmasdan, transport vositalarining harakati, sportchining yugurishi, jismlarning erkin tushishi kabi real jarayonlarni kuzatish va tahlil qilish mumkin. Bu orqali talaba nazariy bilimning hayotdagi ahamiyatini anglaydi. Elektr va magnit hodisalarini o‘rganishda esa elektr zanjirlarini yig‘ish, tok kuchi va kuchlanishni o‘lchash, Om qonunini tajribada tekshirish kabi amaliy mashg‘ulotlardan foydalanish nazariy bilimlarning mustahkamlanishiga yordam beradi. Bunda talaba nafaqat tayyor bilimni qabul qiladi, balki uni tajriba orqali tekshiradi va olingan natijalarni nazariy xulosalar bilan taqqoslaydi. Fizika ta’limida laboratoriya mashg‘ulotlari nazariya va amaliyot integratsiyasini amalga oshirishning eng samarali vositalaridan biridir. Laboratoriya mashg‘ulotlari davomida talaba kuzatish, o‘lchash, tajriba natijalarini qayd etish, jadval va grafiklar tuzish, xatoliklarni aniqlash hamda umumiy xulosa chiqarish ko‘nikmalariga ega bo‘ladi. Bu jarayon ilmiy-tadqiqot faoliyatining dastlabki elementlarini shakllantirishga xizmat qiladi. Nazariya va amaliyot integratsiyasining yana bir muhim jihati — fizik modellashtirishdan foydalanishdir. [2,3] Tabiiy hodisalarning ayrimlarini bevosita kuzatish yoki tajribada to‘liq takrorlash imkoniyati mavjud bo‘lmasligi mumkin. Bunday holatlarda matematik, grafik, kompyuter yoki fizik modellaridan foydalanish maqsadga muvofiqdir. Masalan, molekulalarning tartibsiz harakati, gaz bosimining hosil bo‘lish mexanizmi, elektromagnit to‘lqinlarning tarqalishi kabi hodisalarni modellashtirish orqali talabalarning mavhum

tafakkuri rivojlantiriladi. Fizika ta’limining amaliy yo‘nalishini kuchaytirishda muammoli ta’lim texnologiyalaridan foydalanish ham muhim ahamiyatga ega. Muammoli vaziyat talabaning mavjud bilimlari bilan yangi hodisani tushuntirish imkoniyati o‘rtasida qarama-qarshilik hosil qiladi. Natijada talaba muammoni hal qilish uchun mavjud bilimlarini qayta ko‘rib chiqadi, yangi ma’lumotlarni izlaydi va ilmiy xulosaga keladi. Masalan, “Nima sababdan og‘ir va yengil jismlar vakuum sharoitida bir xil tezlanish bilan tushadi?”, “Nima uchun metall simdan tok o‘tganda u qiziydi?”, “Nima sababdan yarimo‘tkazgichlarning elektr o‘tkazuvchanligi haroratga bog‘liq?” kabi savollar talabalarning nazariy bilimlarini amaliy va mantiqiy tahlil bilan bog‘lash imkonini beradi.Nazariya va amaliyotning uzviyligi talabalarda fizik kompetensiyalarni shakllantirishga ham xizmat qiladi. Fizik kompetensiya faqat formulalarni bilish bilan belgilanmaydi. U fizik hodisalarni tushuntirish, o‘lchash natijalarini tahlil qilish, fizik qonunlarni real vaziyatlarga tatbiq etish, tajriba natijalarini baholash va asoslangan xulosa chiqarish qobiliyatlarini ham qamrab oladi. Shuningdek, zamonaviy raqamli texnologiyalar fizika ta’limida nazariya va amaliyot integratsiyasining yangi imkoniyatlarini yaratmoqda. Virtual laboratoriyalar, kompyuter simulyatsiyalari, interaktiv modellar va raqamli o‘lchov vositalari murakkab fizik jarayonlarni ko‘rgazmali tarzda namoyish etish imkonini beradi. [4,5] Ayniqsa, real tajribani o‘tkazish murakab yoki xavfli bo‘lgan holatlarda virtual modellashtirishdan foydalanish samarali natija beradi. Nazariya va amaliyot integratsiyasining didaktik ahamiyati shundaki, bunda ta’limning boshqa tamoyillari ham o‘zaro uyg‘unlashadi. Onglilik va faollik tamoyili talabaning tajribada faol ishtirok etishini ta’minlasa, ko‘rsatmalilik tamoyili fizik jarayonni bevosita kuzatish imkonini beradi. Tizimlilik va izchillik tamoyillari esa amaliy faoliyatni avvalgi nazariy bilimlarga tayangan holda bosqichma-bosqich tashkil etishni talab qiladi. Shu nuqtayi nazardan, fizika kursining turli bosqichlarida nazariya va amaliyot o‘rtasidagi bog‘lanishni saqlash muhimdir. Maktab bosqichida shakllangan boshlang‘ich fizik tasavvurlar oliy ta’limda yanada chuqurlashtiriladi, matematik va nazariy jihatdan asoslanadi hamda murakkab eksperimental masalalarni hal qilishda qo‘llaniladi. Natijada ta’limning uzluksizligi va bilimlarning rivojlanishi ta’minlanadi. Fizika ta’limida nazariya va amaliyot integratsiyasi quyidagi didaktik ketma-ketlik asosida tashkil etilishi mumkin:

- fizik hodisani kuzatish va muammoli vaziyatni aniqlash;
- mavjud bilimlar asosida hodisani tushuntirishga harakat qilish;
- yangi nazariy tushuncha yoki qonuniyatni o‘rganish;
- nazariy bilimni tajriba orqali tekshirish;
- olingan natijalarni matematik va grafik jihatdan tahlil qilish;
- nazariy xulosalarni real hayotiy jarayonlarga tatbiq etish;
- mustaqil xulosa va umumlashtirishni amalga oshirish.

Fizika ta’limida nazariya va amaliyot integratsiyasi ta’lim mazmunining ilmiyligi, hayotiyligi va kasbiy yo‘nalganligini ta’minlovchi muhim didaktik asoslardan biridir. Nazariy bilimlarni tajriba, laboratoriya mashg‘ulotlari, modellashtirish, muammoli vaziyatlar va real hayotiy jarayonlar bilan bog‘lash talabalarning fizik hodisalarni chuqur anglashiga yordam beradi. Nazariya va amaliyotning uzviyligi asosida tashkil etilgan fizika ta’limi talabalarda ilmiy dunyoqarash, mustaqil fikrlash, tadqiqotchilik, muammoli vaziyatlarni hal qilish va amaliy faoliyatda fizik bilimlardan foydalanish ko‘nikmalarini rivojlantiradi. Shu bilan birga, mazkur yondashuv fizika fanini o‘qitishda tizimlilik, izchillik, onglilik, faollik va ko‘rsatmalilik kabi didaktik tamoyillarning samarali amalga oshirilishiga zamin yaratadi.Shunday qilib, fizika ta’limining samaradorligini oshirishda nazariya va amaliyotning o‘zaro aloqadorligini ta’minlash, ta’lim jarayoniga zamonaviy laboratoriya, modellashtirish va raqamli texnologiyalarni joriy etish hamda talabalarning mustaqil eksperimental faoliyatini rivojlantirish muhim pedagogik shartlardan biri hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Djorayev M. Fizika o‘qitish metodikasi (umumiy masalalar). – Toshkent: Abu Matbuot-Konsalting, 2015.
2. Tolipov O‘.Q., Usmonboyeva M. Pedagogik texnologiyalarning tatbiqiy asoslari. – Toshkent: Fan, 2006.
3. Azizxo‘jayeva N.N. Pedagogik texnologiyalar va pedagogik mahorat. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2006.
4. Mavlonova R.A. va boshqalar. Pedagogika. – Toshkent: O‘qituvchi, 2008.
5. Qo‘chqarova M.O. Fizika ta’limida ehtimoliy-statistik g‘oya va tushunchalarni shakllantirishning metodik asoslari. – Andijon, 2018.
6. Xujanov E.B. Fizika ta’limida statistik metodlardan foydalanish masalalari // Pedagogika. – 2018. – №1.

LABVIEW MUHITIDA ELEKTROMAGNIT SIGNALLAR SPEKTRLARINI RAQAMLI MODELLASHTIRISH

S.X. Zoirov
Samarqand davlat pedagogika instituti,
Tabiiy fanlar fakulteti, Fizika kafedrasi assistenti.
s.zoirov88.fizik@gmail.com

Fizika ta’limida axborot-kommunikatsiya texnologiyalaridan foydalanishning muhim yo‘nalishlaridan biri fizik jarayon va tajribalarni kompyuterda modellashtirishdir. Ayniqsa, elektromagnit signallarning vaqt bo‘yicha o‘zgarishi va ularning spektrini o‘rganishda laboratoriya jihozlarining yetishmasligi yoki bir vaqtning o‘zida turli chastotali signallarni kuzatishdagi qiyinchiliklar virtual laboratoriyalardan foydalanishni talab etadi. Mazkur ishda elektromagnit signallar spektrlarini LabVIEW muhitida modellashtirish va ularni o‘quv jarayonida kuzatish imkoniyatlari ko‘rib chiqilgan.

Tadqiqotning maqsadi turli chastota va amplitudaga ega elektromagnit signallarni LabVIEW dasturida hosil qilish, ularning vaqt bo‘yicha grafigini kuzatish, shovqinli signalni shakllantirish hamda FFT asosida signal spektrini aniqlash imkoniyatlarini ishlab chiqishdan iborat. Maqolada signalning garmonik ko‘rinishi quyidagi tenglama bilan ifodalangan:

$$u(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0).$$

LabVIEW muhitida virtual laboratoriyani yaratish uchun New Project orqali loyiha ishga tushiriladi. Front panelning Signal Processing bo‘limidan Wfm Generator va Basic FuncGen vositalari tanlanib, kiruvchi signal chastotasi, amplitudasi va signal turi boshqariladi. Hosil bo‘lgan signalni kuzatish uchun Waveform Graph osillografi qo‘llanadi. Shu tariqa talaba signal parametrlarini o‘zgartirib, ularning vaqt bo‘yicha shakliga ta’sirini bevosita ekranda kuzatishi mumkin.

Turli chastota va amplitudaga ega signallarni bir vaqtning o‘zida o‘rganishda signalga shovqin qo‘shish va uni qayta ishlash ham muhimdir. Buning uchun Add funksiyasi yordamida signallar yig‘indisi hosil qilinadi va Waveform Graph orqali shovqinli signal kuzatiladi. Keyingi bosqichda Signal Processing → Wfm Measure bo‘limidagi FFT Power Spectrum vositasi yordamida signalning chastota spektri aniqlanadi. Ushbu ketma-ketlik vaqt sohasi va chastota sohasi o‘rtasidagi bog‘lanishni amaliy ravishda ko‘rsatishga imkon beradi.

Modellashtirish jarayonida signal filtrlaridan foydalanish ham nazarda tutilgan. Filtrlar yordamida amplituda va chastotaning ma’lum chegaralaridagi qiymatlarni ajratish, shovqin ta’sirini kuzatish va signal tarkibidagi chastota komponentlarini tahlil qilish mumkin. Natijada virtual laboratoriya nafaqat tayyor grafikni namoyish etadi, balki signalni hosil qilish, unga o‘zgartirish kiritish, spektrini aniqlash va natijani tahlil qilishning izchil algoritmini ta’minlaydi.

Ushbu yondashuvning metodik afzalligi shundaki, talabalar elektromagnit signal tushunchasini matematik ifoda, grafik tasvir va spektral tahlil bilan bog‘liq holda o‘rganadilar. LabVIEW asosidagi virtual tajribani bir necha marta takrorlash, signal chastotasi va amplitudasini mustaqil o‘zgartirish hamda olingan natijalarni taqqoslash mumkin. Bu vaqtni tejash, individual yondashuvni tashkil etish va murakkab tajribalarni ko‘rgazmali tarzda tushuntirish imkonini beradi.

Xulosa qilib aytganda, LabVIEW muhitida elektromagnit signallar spektrlarini modellashtirish sanoat va ta’lim sharoitida kuzatiladigan signal jarayonlarini virtual ko‘rinishda o‘rganish imkonini beradi. Basic FuncGen, Waveform Graph, Add va FFT Power Spectrum vositalaridan foydalanish orqali signalni hosil qilishdan tortib, uning spektrini aniqlashgacha bo‘lgan jarayonni yagona virtual laboratoriya tizimida tashkil etish mumkin. Bu usul elektromagnit signallarning ko‘plab parametrlarini o‘rganishda amaliy va metodik imkoniyat yaratadi.

Adabiyotlar

1. Atoyeva M.F. Use of Periodicity in Teaching Physics // Eastern European Scientific Journal. Düsseldorf-Germany, 2017. №4. P. 35–39.
2. Zoirov S.X., Hamrayev Y.B., Bahriyeva M.F.Q. Fizika fanini zamonaviy texnologiyalardan foydalanib o‘qitish metodikasi // Science and Education. 2023. Vol. 4. №12. P. 515–519.
3. Zoirov S.X., Bahreyeva M.F. Ta’limda raqamli texnologiyalardan foydalanish metodikasi // Science and Education. 2024. Vol. 5. №1. P. 276–280.
4. Xolmuminovich Z.S., To‘ychiyevich X.Q., Muxiddin A. “LabVIEW” dasturida virtual laboratoriyalarni yaratish imkoniyatlari haqida // Fan, ta’lim va amaliyotning integratsiyasi. 2023. Vol. 4. №3. P. 194–200.
5. Sanjaridin Z., Temur X. Methods of Creating Virtual Laboratories in the “LabVIEW” Program // Science and Innovation. 2023. Vol. 2. №11. P. 519–523.

FIZIK JARAYONLARNI MODELLASHTIRISHDA MATEMATIK MANTIQIY AMALLARDAN FOYDALANISH METODIKASINI RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR ASOSIDA TAKOMILLASHTIRISH

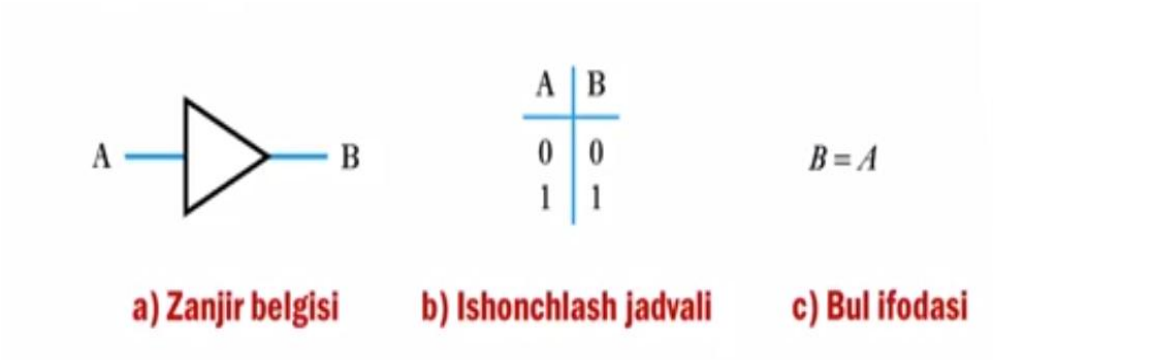
[1]S.X. Zoirov.,[2]Rizoyeva S.D
Samarqand davlat pedagogika instituti,
[2]Tabiiy fanlar fakulteti, Fizika kafedrasi assistenti.,
[2]Tabiiy fanlar fakulteti, Fizika va astranomiya yo‘nalishi talabasi.
s.zoirov88.fizik@gmail.com

Kalit so‘zlar: Fizik jarayonlar, matematik mantiq, raqamli texnologiyalar, modellashtirish metodikasi, algoritmik ta'minot, simulyatsiya, hisoblash aniqligi, tizimli tahlil, axborot texnologiyalari.

Annotatsiya: Ushbu maqolada fizik jarayonlarni modellashtirishda matematik mantiqiy amallardan foydalanish metodikasini raqamli texnologiyalar asosida takomillashtirish masalalari ko‘rib chiqilgan. Tadqiqot jarayonida fizik qonuniyatlarni mantiqiy-matematik modellarga o‘tkazish, murakkab tizimlar harakatini simulyatsiya qilish, shuningdek, raqamli muhitda hisoblash aniqligi va tezkorligini oshirishga qaratilgan uslubiy yondashuvlar taklif etilgan. Olingan natijalar fizik jarayonlarni tahlil qilish hamda ilmiy-tadqiqot va ta’lim jarayonlarini avtomatlashtirishda qo‘llanilishi mumkin.

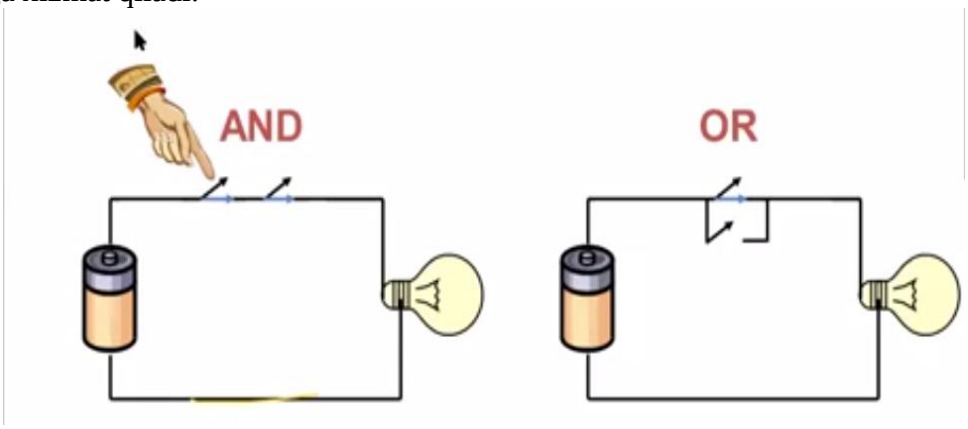
Bugungi kunda raqamli texnologiyalarning jadal rivojlanishi ilmiy-tadqiqot ishlari, xususan, fizika va texnika fanlari sohasida yangi, yanada samarali yondashuvlarni qo‘llashni taqozo etmoqda. Fizik jarayonlarni o‘rganish, ularning dinamikasini tahlil qilish hamda kelgusidagi holatini oldindan bashorat qilishda an’anaviy differensial tenglamalar bilan bir qatorda matematik mantiqiy amallardan foydalanish

muhim nazariy va amaliy ahamiyat kasb etadi. An’anaviy usullar ko‘pincha murakkab tizimlardagi noaniqliklar, shartli o‘zgarishlar va diskret holatlarni to‘liq qamrab olishda cheklovlarga duch keladi. Shu bois, fizik qonuniyatlarni mantiqiy-matematik modellar orqali rasmiylashtirish va ularni raqamli muhitda simulyatsiya qilish metodikasini yanada takomillashtirish bugungi kunning dolzarb ilmiy vazifalaridan biri hisoblanadi.



1-rasm. matematik mantiqiy buffer elementlari.

Tadqiqotning asosiy maqsadi fizik jarayonlarni modellashtirish samaradorligini oshirish maqsadida matematik mantiqiy amallarni qo‘llash metodikasini raqamli texnologiyalar bazasida takomillashtirishdan iboratdir. Ushbu maqsadga erishish uchun fizik qonuniyatlarni mantiqiy-matematik munosabatlarga o‘tkazish, zamonaviy dasturlash muhitlarida simulyatsiya modellarini yaratish hamda hisoblash jarayonidagi aniqlikni ta’minlash vazifalari belgilab olindi. Mazkur yondashuv fizika-texnika tizimlarini o‘rganishda yangi algoritmik imkoniyatlarni ochib berib, tadqiqot natijalarining adekvatligini sezilarli darajada oshirishga xizmat qiladi.



2-rasm. Matematik mantiqiy elementlarining qo’llanilish sohalari

Fizik jarayonlarni raqamli muhitda modellashtirishda an’anaviy differensial tenglamalar tizimini faqat sonli usullar (masalan, chekli farqlar usuli) orqali yechish yetarli bo‘lmagan holatlarda, ularga matematik mantiqiy amallarni (predikatlar, mantiqiy shartlar va mantiqiy algebra elementlarini) uyg'unlashtirish zarurati tug‘iladi. Chunki real fizik muhitdagi o‘zgarishlar (masalan, fazaviy o‘tishlar, impulsli ta'sirlar, chegaraviy shartlarning sakrashsimon o‘zgarishi) uzluksiz funksiyalar bilan bir qatorda mantiqiy munosabatlarni ham talab qiladi. Tadqiqot doirasida mexanik tebranishlar va issiqlik tarqalishi kabi jarayonlarning differensial modellarini mantiqiy shartlar bilan boyitish bosqichlari ishlab chiqildi.

Raqamli texnologiyalar asosida bu metodikani takomillashtirish uchun fizik qonuniyatlar quyidagi bosqichli algoritm asosida mantiqiy-matematik shaklga keltirildi:

- 1.Fizik obyektning holatini mantiqiy o‘zgaruvchilar orqali ifodalash: Tizimdagi har bir cheklovchi shart Boolean (mantiqiy) o‘zgaruvchilar (True yoki False) yordamida rasmiylashtirildi.

- Mantiqiy-funksional bog'liqliklarni tuzish: Predikatlar mantiqi yordamida jarayonning borish yo‘nalishini aniqlovchi mantiqiy shartlar tizimi tuzildi.
- Dasturiy muhitda simulyatsiya qilish: Python va MATLAB dasturiy muhitlarida mazkur mantiqiy shartlar if-elif-else va mantiqiy operatorlar asosida kodlashtirilib, hisoblash algoritmi optimallashtirildi.

Natijada, ishlab chiqilgan takomillashtirilgan metodika murakkab fizik tizimlarning holatini oldindan bashorat qilish aniqligini oshirdi. Hisoblash jarayonidagi ortiqcha iteratsiyalar qisqartirilib, raqamli simulyatsiyaning tezkorligi ta'minlandi. Ushbu yondashuv fizik jarayonlardagi noaniqliklarni kamaytirish va modellashtirish jarayonini to‘liq avtomatlashtirish imkonini berdi.

Tadqiqot doirasida fizik jarayonlarni modellashtirish samaradorligini oshirishga qaratilgan ilmiy-uslubiy yondashuvlar tahlil qilinib, matematik mantiqiy amallarni raqamli texnologiyalar asosida tatbiq etish metodikasi takomillashtirildi. An’anaviy differensial tenglamalarni mantiqiy shartlar va predikatlar mantiqi bilan boyitish orqali real fizika-texnika jarayonlaridagi diskret holatlar va noaniqliklarni to‘liq qamrab olish imkoniyati kengaytirildi. Python va MATLAB kabi zamonaviy dasturiy muhitlarda ishlab chiqilgan mantiqiy-algoritmik modellar hisoblash jarayonining aniqligi va tezkorligini oshirishga, ortiqcha iteratsiyalarni qisqartirishga xizmat qildi. Olingan ilmiy natijalar va amaliy tavsiyalar oliy ta‘lim muassasalarida fizika va kompyuter modellashtirish fanlarini o‘qitish sifatini yaxshilash, shuningdek, talabalarning algoritmik va mantiqiy fikrlash ko‘nikmalarini rivojlantirishda muhim amaliy ahamiyat kasb etadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Yusupbekov, N. R., & Muxitdinov, D. P. Texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslari. — Toshkent: “Fan va texnologiya”, 2015. — 15–19-betlar. (Tezisdagi umumiy modellashtirish va raqamli yondashuvlarga asos).
2. Qodirov, J. X., & Xusanov, B. M. Matematik modellashtirish va axborot texnologiyalari. — Toshkent: O‘zbekiston faylasuflari milliy jamiyati nashriyoti, 2015. — 24–28-betlar. (Matematik modellar va ularning dolzarbligiga doir).
3. Porshnev, S. V. Kompyuternoye modelirovaniye fizicheskix protsessov paketax MATLAB MathCad. — Sankt-Peterburg: Piter, 2011. — 45–48-betlar. (Fizik jarayonlarni MATLAB muhitida dasturiy simulyatsiya qilishga doir).
4. Tixonov, A. N., & Samarskiy, A. A. Uravneniya matematicheskoy fiziki. — Moskva: Izdatelstvo MGU, 2004. — 62–66-betlar. (Tebranishlar va issiqlik tarqalishi kabi fizik jarayonlarning differensial modellari bo‘yicha).
5. Kuznetsov, O. P. Diskretnaya matematika dlya injenerov informatikov. — Moskva: Yunivers, 2010. — 90–94-betlar. (Matematik mantiqiy amallar, predikatlar va mantiqiy shartlarni tizimlarga tatbiq etish bo‘yicha).

UMUMIY O‘RTA TA’LIM BOSQICHIDA FIZIKADAN AMALIY MASHG‘ULOT DARSLARIDA TADBIQIY MASALALARNI YECHISH

Salaydinov Achil Meyliyevich.
Qarshi davlat texnika universiteti”Tabiiy fanlar”kafedrasi katta o‘qituvchisi

Fizikadan masalalar yechish nazariy berilgan bilimlarni mustahkamlaydi. O‘quvchilar masalalar yechish jarayonida asosiy fizik qonunlarni va formulalarni mohiyatini anglab yetadilar, ularni aniq fizik jarayonlarga qo‘llash ko‘nikmalarini hosil qiladi. Shuningdek, masalalar yechish jarayonida hisoblash,

kerakli adabiyotlar va darsliklar bilan mustaqil ravishda ishlash ko‘nikmalarini hosil qiladi. Har bir fizik hodisa va jarayonga yondashish usullari asosida aqliy faoliyatining aniq yo‘nalishi shakllanishga olib keladi. Fizika fanining har bir bo‘limi postulatlarga asoslangan bo‘lib, o‘rganiladigan fizik hodisaning to‘liq tavsiflari ushbu postulatlar asosida aniklanishi mumkin, bu esa masala yechimida o‘z aksini topgan bo‘lishi kerak. Biz o‘qituvchilar o‘quvchilarni fizikadan bilim darajalarini aniqlashda uning masalani yecha olish qobiliyatini e’tiborga olishimiz lozim. O‘quvchilarga masala yechishni o‘rgatish eng qiyin, qiziqarli va muhim ishdir.D.Poyning “Kak reshit zadachu”nomli kitobida “Masala yechish bu sanatdir...masala yechishni o‘rganishda siz boshqalar bu ishni qanday bajarayotganini kuzatishingiz, taqlid qilishingiz va nihoyat mashq qilish bilan bu sanatni egallaysiz” -degan. Fizikaning “Mexanika” bo‘limini o‘rganish kinematika bobidan boshlanadi. O‘quvchilar masala yechish davomida moddiy nuqtaning harakat qonunlarini bilgan holda, harakatning barcha kattaliklarini vaqtning biror momentida aniqlashlari mumkin. “Dinamika” bo‘limi o‘rganilayotganda o‘qituvchi o‘quvchilar diqqatini Nyutonning ikkinchi qonuni, kuch, massa va tezlanish o‘rtasidagi bog‘lanishga emas, balki moddiy nuqtaning kuch ta’siridagi harakat qonuniga qaratish kerak. Bunday metodologik yondashuv o‘quvchilarning mexanika asoslarini to‘g‘ri o‘rganishini ta’minlaydi. Nyutonning ikkinchi qonunini differensial tenglamasidan foydalanish ko‘nikmalarini o‘quvchilarda hosil qilish natijasida fizika va matematika fanlari orasidagi o‘zaro bog‘lanishni aks ettiradi. Masalalar mazmuniga ko‘ra, ularni turli maqsadlarga ajratiladi.Masalalar hisoblash, differensialash, integrallash natijasida noma’lum fizik kattaliklarni aniqlash ko‘nikmalarini, namoyish qilish natijasida, u yoki bu qonunni qo‘llash tufayli nomalum fizik kattalikni aniqlash amaliy ahamiyatga ega bo‘lgan masalalar bo‘lishi mumkin.Shuningdek, ma’lum bir muammoni yechimini topishda o‘quvchilarning mustaqil ravishda fikrlash qobiliyatini rivojlantiruvchi masalalar bo‘lishi mumkin. Masalalar turli maqsadda bo‘lishiga qaramasdan ular quyidagi umumiy reja asosida yechiladi:

–masala sharti o‘qib to‘liq o‘rganiladi;

–masalada berilgan fizik kattaliklar qiymatlari yoziladi va bir xil birlikka keltiriladi; –masalada berilgan noma’lum fizik kattalik aniqlab olinadi;

–noma’lum fizik kattalikni miqdor jihatdan aniqlash uchun zarur bo‘lgan tenglama va formulalar yoziladi;

–bunda berilgan fizik kattaliklarning formulalaridagi harfiy ifodalarni bir xilligiga e’tibor berish kerak;

–berilgan formulalar asosida noma’lum kattalik tenglamasi aniqlanadi;

–ushbu tenglamaga berilgan son qiymatlarini qo‘yib, noma’lum fizik kattalik aniqlanadi;

–noma’lum fizik kattalikning birligi keltirib chiqariladi. O‘quvchilarda fizikadan masalalar yechish ko‘nikmasini shakllanganligi

– egallangan bilimlarini nazorat qilishning muhim bosqichlardan biri o‘quvchilarning bir xil shakldagi (faqat son qiymati o‘zgaradigan) masalalarni yechish bilan emas, balki ijodiy ko‘rinishdagi masalarni yechish orqali ularda mustaqil fikrlashni tarkib topishiga olib keladi. Fizik masalalar shartiga qarab, ularning ijodiy tashkil etuvchilari qo‘yidagilarga ajratish mumkin:

– izlanayotgan nomalum qo‘llaniladigan formula bilan to‘g‘ridan–to‘g‘ri bog‘lanmaganligi; – masalaning berilishida aniq dalillar mavjud emaligi;

–masalani yechish uchun zarur bo‘lgan barcha malumotlar yetarli bo‘lmaganligi e’tiborga olinadi. Xuddi shu tashkil etuvchilarni qanoatlantiradigan fizik masalalardan namunalar keltiramiz:

1. XX asrning eng tez yurar suv osti kemasi tezligini 77,8 km/soat gacha oshirib, suv tubiga 762 m chuqurlikkacha tusha oladi. Bunday chuqurlikda bosim qanday bo‘lishi mumkin? Agar Yerning radiusi 6400 km ekanligi e’tiborga olinadigan bo‘lsa, u suv sirtiga ko‘tarilmasdan bir yilda Yer sharini necha marta aylanib chiqishi mumkin?

2. Massasi 47 kg va oyoq kiyimi tag charmining yuzi $320\,sm^2$ bo‘lgan bola, polga qanday bosim beradi?

Ushbu masalani “Qattiq jismlarning bosimi”mavzusida o‘rganilgan $p = \frac{F}{s}$ formulani qo‘llash orqali yechish mumkin [1, 2].

Bundan ko‘rinadiki, birinchi masala o‘quvchilar uchun ko‘proq qiziqarliroq yoki masala shartida ular uchun yangi ma’lumotlar va boshqa fanlar bilan o‘zaro aloqadorlik mujassamlashgan. Masalaning o‘quvchi diqqatini jalb etuvchi tashqi ko‘rinishi o‘quvchilarning masala yechishga bo‘lgan qiziqishlarini faollashtirish vositasidir. Agar masala yetarlicha murakkab va o‘quvchi uni yechishga kuchi yetmaydigan darajada bo‘lsa, albatta o‘quvchining ushbu masalani yechishga bo‘lgan qiziqishi yo‘qoladi. Shuning uchun berilgan masala sinfdagi har bir o‘quvchining malaka va ko‘nikmasini hamda o‘quvchilarning bilim darajasini rivojlantirishni etiborga olgan holda masalalarni tanlashga harakat qilish lozim.Akademik litseyning talabalari uchun fizikadan “Tekis tezlanuvchan harakatda ko‘chish” mavzusini o‘rganishga oid ikkita masaladan namuna sifatida keltiramiz [4, 5]. Tashqi ko‘rinish jihatidan masala sharti hech nimasi bilan farq qilmaydi, ammo ularning yechish usuli va natijasi har xil bo‘ladi.

1.Tormozlanayotgan avtomobil $\vartheta_0 = 5\frac{m}{sek}$ boshlang‘ich tezlik va $a = 2\frac{m}{sek^2}$ tezlanish bilan harakatlanib $t = 3sek$ da qancha yo‘lni bosib o‘tishi mumkin.

2.Tormozlanayotgan avtomobil boshlang‘ich tezlik va $\vartheta_0 = 5\frac{m}{sek}$ tezlanish bilan harakatlanib $t = 3sek$ da qancha yo‘lni bosib o‘tadi. Bir qarashda ikkala masalani ham tekis sekinlanuvchan harakatda bosib o‘tilgan yo‘lni hisoblash formulasi $s = \vartheta_0 t - \frac{at^2}{2}$ bo‘yicha yechiladi deb o‘ylash mumkin:

Ammo masalani bu formula bilan hisoblashda, ayniqsa, ikkinchi masalada mutlaqo noto‘g‘ri natijaga olib keladi. Ikkala masalada keltirilgan avtomobil tekis sekinlanuvchan harakatlanib, qandaydir vaqtdan keyin to‘xtaydi. Ikkinchi masaladagi avtomobil esa 5 sekunddan keyin to‘xtaydi va oxirgi 6–sekundda harakatlanmaydi. Shuning uchun o‘quvchilar oxirgi holatni tahlil qilib, tekis sekinlanuvchan harakatda yo‘l formulasiga vaqt o‘rniga 6 sekund emas, 5 sekundni qo‘yib, masalani ishlashlari lozim bo‘ladi. YAni tekis sekinlanuvchan harakatda oniy tezlik($0 = \vartheta_0 - at$) tenglamasidan avtomobil tezligi qancha vaqtdan so‘ng nolga teng bo‘lishi aniqlanib, so‘ngra tekis sekinlanuvchan harakatda yo‘l formulasidan tormozlanish yo‘lini topish mumkin. Amalda hamma vaqt masalani yechish uchun zarur ma’lumotlarni jadvallardan yoki Internet tarmog‘idan olishga to‘g‘ri keladi. Masala quyidagi shaklda berilgan bo‘lishi mumkin: fizika doimo yosharib boradi: unda yildan–yilga kashfiyotlar oqimi ortib boradi. So‘ngi yillarda fizikada qilingan kashfiyotlar va fizika sohasida keyingi o‘n yil ichida qilingan kashfiyotlar va qaysi olimlar Nobel mukofotiga sazovor bo‘lganligi haqida qisqacha ma’lumotlar yozing. Agar o‘quvchilarga masalaning shartini muhokama qilish va uni yechish uchun kerakli ma’lumotlarni o‘zlari turli manbalardan izlashlari lozim bo‘lsa, bunday masala muhim ahamiyatga ega bo‘ladi. Bundan tashqari dars jarayonida tajribali o‘qituvchi tomonidan maktabda mavjud asbob uskunalardan foydalangan holda ayrim masalalarni tuzish va natijalar olish mumkin. Masalan “Ishqalanish kuchi” mavzusiga oid masalalarni yechish vaqtida, (buning uchun bizga turli moddalardan tayyorlangan brusoklar, dinamometr, rezina taglik kerak bo‘ladi) avval dinamometr yordamida yog‘och brusokning og‘irligi o‘lchanadi, so‘ngra dinamometrga mahkamlangan yog‘och brusokni parta ustida tekis harakatga keltiriladi. Dinamometrning ko‘rsatishi ishqalanish kuchiga tengligini o‘quvchilarga tushuntirilib ishqalanish kuchi ifodasidan

$F = \mu mg$ yog'och bilan yog'och orasidagi ishqalanish koeffitsiyentini aniqlash va uni jadvalda berilgan qiymati bilan taqqoslash mumkin [3]. Bizga ma'lumki, ishqalanish koeffitsiyenti modda turiga bog'liq bo'lgan o'zgarmas kattalik, shuning uchun yog'och brusokni rezina ustida harakatlantirilib rezina va yog'och orasidagi ishqalanish koeffitsiyentini aniqlash mumkin bo'ladi. Shuningdek "Arximed kuchi" mavzusiga oid masalalarni yechishda sinfda mavjud dinamometr, yukcha va suv solingan menzurkadan foydalanib, masalalar tuzish va yukcha tayyorlangan modda zichligini gidrostatik tortish usulida aniqlash hamda jadval qiymati bilan taqqoslashni o'quvchilarga o'rgatish mumkin. Umumiy o'rta talim maktablari bitiruvchilarini bunday masalalarni tuzish va yechish ko'nikmalarini tarkib topishi kelajakda texnika oliy o'quv yurtlarda o'qishlariga zamin hozirlaydi. Zero, hozirgi vaqtda malakali va raqobatbardosh kadrlarni tayyorlash uchun nazariy bilimlarni to'g'ridan–to'g'ri amaliyotga tadbiq etish bilan bog'liq masalalar qarab chiqilmoqda. Yuqoridagi tamoyil asosida ishqalanish koeffitsiyentini, gidrostatik tortish usulida modda zichligini aniqlash va boshqa mavzular bo'yicha ham maktab fizika laboratoriyasi imkoniyatlaridan kelib chiqib masalalar tuzish va yechish mumkin. Bu esa istiqbolli muhandis kadrlarni tayyorlashda hal qiluvchi omil hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1.Aganov A.V. Fizika vokrug nas. Kachestvenniye zadachi po fizike.–M., Dom pedagogiki, 2002.

2.Tursunov Q.SH., Toshpo'latov Ch.X. Fizikadan laboratoriya mashg'ulotlari. (O'quv qo'llanma).–Toshkent, «Voris–nashriyoti», 2019.

3.Gelfat I.M., Gendenshteyn L.E., Krik L.A. 1001 zadach po fizike s otvetami, ukazaniyami, resheniyami. 6–ye izd., isprav. –M., Ileska, 2013.

4.Habibullayev P.Q., Boydedayev A., Bahromov A., Yuldasheva M. umumiy o'rta talim maktablarining 7–sinflari uchun darslik. Toshkent–2017, "O'zbekiston milliy ensiklopediyasi"

5.Perishkin A.V. Fizika 9 kl. uchebnik dlya obsheobrazovatelnix uchrejdeniy–Moskva, Drofa, 2009.

6.Shaxmayev N.M. Shodiyev D.SH "Fizika 8" Toshkent–2002, "Ijod dunyosi".

ТЕХНИКА ОЛИЙ ТАЪЛИМ МУАССАСАЛАРИДА ФИЗИКАДАН МУСТАҚИЛ ТАЪЛИМНИ ТАШКИЛ ЭТИШНИНГ ЗАМОНАВИЙ ШАКЛЛАРИ ВА УЛАРНИ ҚЎЛЛАШ МЕТОДИКАСИ

Қарши давлат техника университети
ассистенти Санақулов.Ф.Р.

Олий таълимнинг асосий мақсади ўз–ўзини ўз–ўзига таълим бериш, ривожлантириш, инновацион фаолиятни амалга ошириш қобилиятига эга бўлажак мутахассисни зарурий касбий компетенцияларини ривожлантиришдан иборат. Ушбу вазифани талабаларга профессор-ўқитувчи томонидан тайёр билимларни бериш билангина ечим топиб бўлмайди. Талабани пассив истеъмолчи мақомидан муаммони кўя оладиган, муаммони ҳал қилиш ва уни ечимини топиш йўлини таҳлил қила оладиган, энг маъқул натижани топиб, унинг тўғрилигини исботлаб бера оладиган, замонавий билимларни фаол яратувчисига айлантириш зарур.

Умуман олганда, физикадан мустақил иш бу – бўлажак мутахассиснинг илмий назарий тафаккурини ҳамда зарурий касбий компетенцияларини ривожлантиришга қаратилган фаолиятдир. Физикадан мустақил фикр туғилиши, талабанинг илмий билиш фаолиятини ошиши учун педагогик шарт-шароит яратадиган мустақил таълим машғулотнинг ҳар қандай тури мустақил иш билан боғлиқ.

Мустақил иш бевосита аудитория машғулотлар жараёнида – маъруза, амалий машғулотларда ва лаборатория ишларини бажаришда, дарс жадвалидан ташқари профессор-ўқитувчи билан мулоқотда бўлиши ва ўқув масалалар бўйича маслаҳат олиши, ижодий мулоқотларда, индивидуал

топшириқларни бажарганда ва бошқаларда талаба томонидан ўқув ва ижодий муаммоли масалаларни кутубхонада, уйда, ётоқхонада, кафедрада бажарилишида амалга ошади. Шуни таъкидлаб ўтиш лозимки, мустақил иш турлари бир–бири билан ўзаро боғланади.

Фанлараро интеграцион боғланишлар билан мустаҳкамланмаган билимлар тизими ўз мустаҳкамлиги ва тизимлилигини йўқотади. Энг муҳим мотивацион омил бу физикани ўқитишда касбий йўналганликка урғу беришдан иборат, у кейинги касбий фаолиятга тайёрлашга ёрдамлашади. Талаба мустақил ишни фаоллаштиришга ёрдам берувчи омилларни кўриб чиқамиз ва бундай омиллар таркибида қуйидагиларни ажратиб кўрсатиш мумкин:

1)интенсив педагогик ҳаракат муҳим мотивацион омил сифатида. Бўлажак муҳандис физикадан таълим жараёнига фаол в интерфаол усулларни, аввало, ўйин тренингни киритишни кўзда тутади, унинг асосида замонавий-инновацион ва ташкилий-фаолиятли ўйинлар ётади. Бундай ўйинларда объект ҳақида бир томонлама билимлардан ҳар томонлама билимларга ўтиш ҳамда уларни формаллаштириш, синтезлаш ва моделлаштиришдаги зиддиятларини аниқлаш ётади;

2)физикадан фан олимпиадаларда, илмий–тадқиқот ёки касбий-амалий ишлар ва бошқа лойиҳавий танловларда қатнашиш;

3)бажарилаётган мустақил ишнинг фойдали эканлиги. Агар талаба лаборатория машғулотларида бажарган иш натижалари, илмий-амалий комференцияларга мақола тайёрлашда, бўлажак муҳандиснинг муҳандислик касбига тегишли умумкасбий, ихтисослик ва қўшимча ихтисослик фанларда фойдаланилишини билган тақдирда, физикадан топшириқларни бажаришга муносабат мотивацияланган бўлади ва бажарилаётган мустақил ишининг сифати ортади. Масалан, биринчи курс талабасига бўлажак битирув малакавий ишига йўналтирилган элемент сифатида кириши мумкин бўлган мустақил ишини тажриба тариқасида ёки назарий тавсифдаги топшириқ сифатида топшириш;

4)бўлажак муҳандиснинг ижодий фаолиятда қатнашиши. Бу кафедра амалга ошираётган илмий–тадқиқот, лойиҳавий–конструкторлик ёки методик ишда қатнашиши мумкин;

5)физикавий билимларни назорат қилишнинг мотивацияловчи омилларидан фойдаланишда йиғиб бориладиган рейтинг, тест, баҳолар, имтиҳонларнинг стандарт ва ностандарт таркибий тартиблаштириш. Муайян педагогик шарт-шароитда ушбу омиллар мусобақалашиш ва тортишувларга интилишни келтириб чиқариши ҳамда бунинг ўзи талабада кучли мотивация омили бўлиб хизмат қилиши мумкин;

6)аудиторияда ва аудиториядан ташқарида бажариладиган мустақил таълим топшириқларини индивидуаллаштириш, уларни доимий янгилаб туриш;

7)профессор-ўқитувчи шахси мустақил ишни мотивация қилувчи омил ҳисобланади. Профессор-ўқитувчи касбий, ижодий шахс сифатида талаба учун ўрнак бўлиши лозим. Профессор-ўқитувчи талабага ўз ижодий ва касбий салоҳиятини очиши, ички томонлама касбий ўсиш истиқболларини аниқлашда ёрдам бериши мумкин ва шарт;

8)бўлажак муҳандисларни ўқиш орқали илмий билиш, ижодий ва касбий фаолиятида эришган мувафаққиятлари учун тақдирлаш, стипендиялар, мукофотлар, рағбатлантирувчи баллар бериш ва паст ўзлаштирувчи талабалар учун чора кўриш (кескин эмас). Масалан, муддатидан олдин бажарилган иш учун юқори баҳо қўйиш, кечикиб топширганларга баҳони пасайтириш;

9)аудиторияда ва аудиториядан ташқарида бажариладиган мустақил таълим топшириқларини индивидуаллаштириш, уларни доимий янгилаб туриш;

10)профессор-ўқитувчи шахси мустақил ишни мотивация қилувчи омил ҳисобланади. Профессор-ўқитувчи касбий, ижодий шахс сифатида талаба учун ўрнак бўлиши лозим. Профессор-ўқитувчи талабага ўз ижодий ва касбий салоҳиятини очиши, ички томонлама касбий ўсиш истиқболларини аниқлашда ёрдам бериши мумкин ва шарт;

11)физикадан мустақил ўқув фаолияти мотивацияси физика ўқитишнинг циклли шаклидан фойдаланган ҳолда шакллантирилиши мумкин. Шўнғиш усули ўқув материални ўрганишни интенсивлаштириш имконини беради, чунки физикадан машғулотлар орасидаги вақт интервални ўзгартириш натижасига кўра физика фани мазмунига доим диққатни жалб қилишни талаб қилади ва эсдан чиқариш даражасини камайтиради. Мустақил таълим машғулотлари ушбу шаклнинг кўриниши физика курсининг бир нечта мавзуларини ўз ичига қамрайди.

Техника ОТМда талабалар мустақил ишини ташкил қилишнинг бош стратегик йўлида унинг алоҳида турларини оптималлаштириш эмас, балки аудитория ва ундан ташқарида ўқув фаолиятининг барча турларини амалга оширишда талабалар фаоллиги, мустақиллиги ва масъулияти учун педагогик шарт–шароитлар яратишдан иборат. Аудиториядаги машғулотлар сонини мустақил иш фойдасига камайтириш йўли таълим сифатини ошириш ва ҳаттоки олдинги даражада сақлаб туриш муаммосини ҳал қилиб бўлмайди, чунки аудиториядаги маъруза, амалий ва лаборатория ишларни камайтириш мустақил ишни кўпайтириш орқали амалга оширилмаслиги керак, бундай ҳоларда у пассив вариантда ҳам амалга оширилиши мумкин бўлади.

Давлат таълим стандартларида аудиториядан ташқаридаги мустақил таълимга талаба вақтининг деярли ярмидан кўпи ажратилган (кредит-модул тизимида). Бу вақтдан тўлалигича мустақил иш учун фойдаланиш мумкин. Бундан ташқари, мустақил иш соатлари аудиториядаги машғулотларга ажратилган соатларнинг етарлича катта қисмини ташкил этади.

Талаба мустақил ишни муайян хусусиятларини ҳисобга олган холда қуйидаги шакллардан фойдаланиб тайёрлаши тавсия этилади:

- меъёрий хужжатлардан, ўқув ва илмий адабиётлардан фойдаланиш асосида модул мавзуларини ўрганиш;
- тарқатма материаллар бўйича маърузалар қисмини ўзлаштириш;
- махсус адабиётлар бўйича модул бўлимлари ёки мавзулари устида ишлаш;
- талабанинг касбий фаолияти билан боғлиқ бўлган модулбўлимлари ва мавзуларни чуқур ўрганиш.

Мустақил таьлимни интерфаол таълим методларидан фойдаланишнинг аҳамияти катта. Ушбу методлар мавзу, матн, бўлим бўйича изланувчанликни олиб бориш имкониятини беради. Тизимли фикрлаш, тузилмага келтириш, таҳлили қилиш каби тушунчаларни ривожлантиради. Дастлаб талабалар методга қўйиладиган талаблар билан ва қоидаси билан танишадилар сўнгра кичик гуруҳларда метод жадвалини расмийлаштирадилар.

“Ҳар ким ҳар кимга ўргатади” услуби ўқувчиларга ўргатувчига айланиш, маълум билимларни ўзлаштиргач, ўртоқлари билан баҳам кўриш имконини берувчи ўқитиш услубидир. Бу услубнинг мақсади ўқувчиларга ўқитиш жараёнида зарур бўлган ахборот максимумини бериш, айни пайтда ўқувчида ахборот олиш ва беришга қизиқиш уйғотишидир. Шунингдек, ахборот ҳажмини олган ўқувчи маълум вақт давомида уни иложи борича кўпроқ ўртоқларига етказади.

Қўлланилиши. Ўқувчиларга ахборот олиш ва беришга қизиқиш уйғотиш учун. Мавзуни диққат билан эшитиш ва эслаб қолиш учун.

Афзаллиги. Ўз фикрини қисқа баён этиши. Тинглаш ва эслаб қолиш даражасини ривожлантириши. Фанга ёки мавзуга бўлган қизиқишини кўчайтириш.

Мустақил ишни мотивациялаш мақсадида профессор-ўқитувчи томонидан физика фанининг алоҳида мавзуларига бағишланган тўгарак машғулотлари ишлаб чиқилади ва ўтказилади. Тўгарак мавзуси қоидага кўра ўтказилади; биринчидан, касбий йўналган бўлиши ва иккинчидан, маъруза курсида деярли қисқа баён қилинган ёки умуман кўрилмаган муаммоли масалаларга бағишланган бўлиши керак. Тўгарак машғулотига тайёрланиш ўқув ва илмий билиш фаолиятининг бутун даврини қамраб олади, яъни: тўгарак мавзуси бўйича адабиётлар мазмуни асосида конспект тузиш;

эслаб қолиш; олинган билимларни умумлаштириш; мазмунни тушуниш; билимларни тизимлаштиришлардан ташкил топади.

Хулосалар: Физикадан маъруза, амалий, лаборатория, мустақил таълим ва тўгарак машғулотларида концептуал методик тизимни қуриш, бўлажак муҳандисларни касбий фаолиятга йўналтириб ўқитишни ташкил қилиш орқали лойиҳалаш, конструкциялаш, тадқиқотчилик каби зарурий касбий компетенцияларини ривожлантириш методикаси ишлаб чиқилади ва физика ўқитиш амалиётига жорий қилинади.

Фойдаланилган адабиётлар

1. Покасов В.Ф. Управление качеством образования современной школы (методические материалы) // автор-состав. – Ставрополь. 2012. – 145 с.
2. Аладьев В.З., Харитонов В.Н. Программирование: Maple или Mathematica. – Таллинн , 2011. - 415 с.
3. Гомулина Н.Н. Применение новых информационных и телекоммуникационных технологий в школьном физическом и астрономическом образованиии: Дисс. канд. пед. наук: 13.00.02. – М.: МГПУ, 2003.-332 с. РГБ ОД, 61:03-13/1698-6.
4. Xamidov V.S. Ta’lim tizimida keskin burilishga sabab bo‘lgan 4 dastur haqida. «Infocom.uz», -Toshkent. 2010, №1, -54-57 б.
5. F.R. Sanaqulov Methodology Of Using Modern Forms Of Organizing Independent Learning In Physics For Students Of The Irrigation Field https://doi.org/10.55640/eijp-05-11-12

RAQAMLI TRANSFORMATSIYA SHAROITIDA “MOLEKULYAR FIZIKA” KURSI MAZMUNINI KOMPYUTERLI MODELLASHTIRISH VA VIRTUAL LABORATORIYALAR ASOSIDA TAKOMILLASHTIRISH

Turdiyev Ural
Qarshi davlat universiteti, Umumiy fizika kafedrasi katta o’qituvchisi

Kirish

Oliy ta’lim tizimini 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasi [1] va “Raqamli O‘zbekiston – 2030” strategiyasi [2] ta’lim jarayoniga raqamli texnologiyalarni keng joriy etish hamda o‘quv dasturlari mazmunini zamonaviy fan va ishlab chiqarish talablariga moslashtirishni ustuvor vazifa sifatida belgilagan. Ta’limning raqamli transformatsiyasi o‘quv jarayoniga kompyuter vositalarini qo‘shish bilan cheklanmaydi: u o‘qitish mazmuni, shakl va usullarini raqamli muhit imkoniyatlari asosida tizimli qayta qurishni nazarda tutadi [3].

“Molekulyar fizika” bo‘lajak fizik mutaxassislarning ilmiy dunyoqarashini shakllantiruvchi fundamental kurs hisoblanadi va termodinamika, statistik fizika, qattiq jism hamda yarimo‘tkazgichlar fizikasini o‘zlashtirish uchun poydevor vazifasini o‘taydi. Kursda o‘rganiladigan obyektlar – molekulalarning issiqlik harakati, taqsimot funksiyalari, ko‘chish jarayonlari – bevosita kuzatib bo‘lmaydigan mikrojarayonlardir, shu sababli talabalar ko‘pincha formulalarni yodlash bilan cheklanib, ularning fizik mazmunini chuqur anglamaydi. Holbuki, mikro- va nanoelektronikaning asosiy texnologik jarayonlari – kirishmalarni diffuziya usulida kiritish, vakuumda yupqa plyonkalar o‘stirish, epitaksiya – aynan molekulyar-kinetik qonuniyatlarga tayanadi. Demak, kurs mazmunini raqamli vositalar yordamida ko‘rgazmali va kasbga yo‘naltirilgan holga keltirish dolzarb vazifadir.

Tadqiqot maqsadi – raqamli transformatsiya sharoitida “Molekulyar fizika” kursi mazmunini kompyuterli modellashtirish, virtual laboratoriyalar va kasbga yo‘naltirilgan masalalar asosida takomillashtirish yo‘nalishlarini asoslash.

Adabiyotlar tahlili va metodologiya

Kursning nazariy mazmuni D.V. Sivuxin [4], B.E. Xayriddinov va boshqalarning [5] asarlarida atroflicha yoritilgan; raqamli transformatsiya esa bu mazmunni kompyuterli modellashtirish vositalari bilan to‘ldirishni taqozo etadi. C. Wieman va hammualliflar PhET interaktiv simulyatsiyalari talabalarda ko‘z bilan ko‘rib bo‘lmaydigan jarayonlar haqida to‘g‘ri tasavvur shakllantirishga yordam berishini ko‘rsatgan [6]. D.V. Schroeder yaratgan interaktiv molekulyar dinamika dasturi Lennard-Jons potensiali asosida gaz, suyuqlik va kristall holatlarini real vaqt rejimida kuzatish imkonini beradi [7]. H. Gould va hammualliflar esa kompyuter simulyatsiyasini fizikani o‘rganishda mustaqil tadqiqot vositasi sifatida qo‘llashni asoslab, hisoblash tajribasini nazariya va eksperiment bilan bir qatorda fizikaning tadqiqot usullaridan biri sifatida ko‘rsatgan [8]. Respublikamizda ham molekulyar fizikani modellashtirish orqali o‘qitish [9] hamda bu bo‘limga oid masalalarni Python va Wolfram Mathematica yordamida yechish [10] bo‘yicha izlanishlar olib borilmoqda. Biroq kurs mazmunini mikro- va nanoelektronika amaliyoti bilan tizimli bog‘lash masalasi hali yetarlicha tadqiq etilmagan.

Tadqiqotda me’yoriy hujjatlar, o‘quv dasturlari va ilmiy-metodik adabiyotlarni qiyosiy tahlil qilish, o‘quv mazmunini tizimlashtirish hamda pedagogik modellashtirish usullaridan foydalanildi.

Tahlil va natijalar

Tahlil asosida kurs mazmunini takomillashtirishning uchta tamoyili ajratildi: 1) *ko‘rgazmalilik va modellashtirish* – har bir mikrojarayon uchun kompyuter modeli (simulyatsiya yoki dastur) bo‘lishi; 2) *hisoblash-tadqiqot faoliyati* – talaba tayyor simulyatsiyani kuzatish bilan cheklanmay, sodda modelni o‘zi dasturlashi va natijani nazariy formula bilan solishtirishi; 3) *kasbiy yo‘naltirilganlik* – har bir bo‘limning mikro- va nanoelektronika, materialshunoslikdagi amaliy masala bilan bog‘lanishi. Ushbu tamoyillar asosida kurs bo‘limlari bo‘yicha mazmuniy matritsa ishlab chiqildi (1-jadval).

1-jadval

“Molekulyar fizika” kursi mazmunining raqamli va kasbga yo‘naltirilgan tarkibi

Kurs bo‘limi	Raqamli resurs va topshiriq	Mikro- va nanoelektronika bilan bog‘liqlik
Molekulyar-kinetik nazariya, ideal gaz	PhET “Gas Properties”; qattiq sharlar gazining Python’dagi modeli	Vakuum kamerasida molekulalarning erkin yugurish yo‘li (yupqa plyonka o‘stirish)
Maksvell va Bolsman taqsimotlari	Tezliklar gistogrammasini modellashtirib, nazariy egri chiziq bilan solishtirish	Yarimo‘tkazgichda zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi, termoelektron emissiya
Termodinamika asoslari	Virtual laboratoriyada izojarayonlar va sikllarni tadqiq etish	Mikrosxemalarda issiqlik ajralishi, energiya samaradorligi
Ko‘chish hodisalari	PhET “Diffusion”; tasodifiy daydish modelini dasturlash	Kremniyga kirishmalarni diffuziya usulida kiritish, issiqlik o‘tkazuvchanlik
Real gazlar, suyuqlik va kristallar, fazaviy o‘tishlar	Interaktiv molekulyar dinamika [7], PhET “States of Matter”	Kristall o‘stirish, epitaksiya, sirt hodisalari

Matritsa ikki yo‘nalishda o‘qiladi: satrlar bo‘yicha u har bir bo‘limdagi “nazariya – model – amaliyot” zanjirini, ustunlar bo‘yicha esa kurs davomida talabaning raqamli ko‘nikmalari tayyor simulyatsiyadan mustaqil dasturlashgacha rivojlanib borishini ko‘rsatadi. Uning o‘ziga xos jihati shundaki, bitta fizik qonuniyat kursning turli bo‘limlarini muhandislik amaliyoti bilan bog‘lovchi “ko‘prik” vazifasini bajaradi.

Masalan, Bolsman ko‘paytuvchisi $\exp(-E/kT)$ barometrik formulada, yarimo‘tkazgichdagi zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi ifodasida va kirishma atomlarining kremniydagi diffuziya koeffitsiyenti $D = D_0\exp(-E_a/kT)$ formulasida (E_a – aktivatsiya energiyasi) uchraydi hamda har uchala holda zarraning ma’lum energiyali holatda bo‘lish yoki energetik to‘siqni yengib o‘tish ehtimolligini ifodalaydi [11]. Talaba avval bir o‘lchamli tasodifiy daydish modelini Python’da dasturlab, o‘rtacha kvadratik siljish uchun $\langle x^2\rangle = 2Dt$ qonuniyatini sonli tajribada tekshiradi, so‘ngra texnologik jarayondagi diffuziya uzunligini ($(Dt)^{1/2}$ tartibida) baholaydi. Xuddi shunday, Maksvell taqsimotini o‘rganishda talaba molekulyar dinamika modelida ikki o‘lchamli gaz zarralari tezliklarining gistogrammasini quradi, uni nazariy taqsimot bilan solishtirib, haroratning statistik ma’nosini anglaydi; taqsimotning yuqori energiyali “dumi” esa keyinchalik termoelektron emissiya tokining haroratga keskin bog‘liqligini tushuntirishda asos bo‘ladi. Natijada fundamental bilim, hisoblash tajribasi va kasbiy motivatsiya birgalikda shakllanadi.

Kasbga yo‘naltirilgan masalaga misol: “Vakuumli bug‘lantirish qurilmasida bug‘langan atomlar taglikka to‘qnashuvsiz yetib borishi uchun qoldiq gaz bosimi qanday bo‘lishi kerak?” Talaba o‘rtacha erkin yugurish yo‘li formulasi $\lambda = kT/(\sqrt{2}\pi d^2 p)$ asosida $T = 300$ K va $p = 10^{-3}$ Pa da havo molekulalari uchun $\lambda \approx 7$ m ekanini hisoblaydi. Bu qiymat kamera o‘lchamlaridan ancha katta bo‘lgani uchun talaba yupqa plyonkalarni yuqori vakuumda o‘stirish zarurligini mustaqil asoslaydi.

Mazmunni tanlashda quyidagi pedagogik shartlar inobatga olindi: simulyatsiya nazariy materialning o‘rnini egallamasligi, balki uni to‘ldirishi; har bir virtual tajribaning real laboratoriya ishi bilan juftlashtirilishi (masalan, havo molekulalarining o‘rtacha erkin yugurish yo‘lini ichki ishqalanish koeffitsiyenti orqali aniqlash ishi uning kompyuter modeli bilan birga bajariladi); topshiriqlarning murakkablik darajasi bo‘yicha – kuzatish, parametrlarni o‘zgartirib tadqiq etish, mustaqil dasturlash – bosqichma-bosqich tuzilishi. Raqamli resurslarni tanlashda ilmiy to‘g‘rilik, bepul va ochiq foydalanish imkoniyati, brauzerda qo‘shimcha dasturiy ta’minotsiz ishlashi hamda o‘zbek tilidagi yo‘riqnoma bilan ta’minlanishi mezon sifatida olindi.

Taklif etilayotgan mazmun elektron o‘quv-metodik majmua ko‘rinishida tuziladi. Majmuaning har bir moduli yagona tarkibga ega: nazariy material; interaktiv simulyatsiya bilan ishlash bo‘yicha yo‘riqnoma; hisoblash topshirig‘i va namunaviy dastur kodi; real laboratoriya ishi; kasbga yo‘naltirilgan masalalar to‘plami; o‘z-o‘zini nazorat qilish testlari. Bunday tuzilma talabaga modullar bo‘ylab mustaqil harakatlanish, o‘qituvchiga esa mazmunni yangi raqamli resurslar bilan bosqichma-bosqich boyitib borish imkonini beradi.

Xulosa va takliflar

Raqamli transformatsiya sharoitida “Molekulyar fizika” kursi mazmunini takomillashtirish kursning fundamental asosini saqlagan holda uni uch yo‘nalishda boyitishni talab etadi: kompyuterli modellashtirish va virtual laboratoriyalar, talabalarning mustaqil hisoblash-tadqiqot faoliyati hamda mikro- va nanoelektronika bilan bog‘langan kasbga yo‘naltirilgan masalalar. Taklif etilgan mazmuniy matritsadan kurs o‘quv dasturini yangilash, elektron o‘quv-metodik majmua yaratish va bo‘lajak fiziklarning raqamli kompetensiyalarini rivojlantirishda foydalanish tavsiya etiladi. Keyingi bosqichda ushbu mazmunni o‘qitish metodikasi ishlab chiqilib, uning samaradorligi pedagogik tajriba-sinov orqali baholanadi.

Shu asosda quyidagilar taklif etiladi: 1) “Molekulyar fizika” fan dasturining har bir bo‘limiga kompyuterli modellashtirish topshiriqlarini kiritish; 2) virtual va real laboratoriya ishlarini juftlashtirilgan holda bajarishni yo‘lga qo‘yish; 3) mikro- va nanoelektronika amaliyotiga oid kasbga yo‘naltirilgan masalalar bankini shakllantirish va uni universitetning elektron ta’lim platformasiga joylashtirish.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 8-oktyabrdagi “O‘zbekiston Respublikasi oliy ta’lim tizimini 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi PF-5847-son Farmoni // Qonunchilik ma’lumotlari milliy bazasi. – URL: https://lex.uz/docs/-4545884

2. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 5-oktyabrdagi “«Raqamli O‘zbekiston – 2030» strategiyasini tasdiqlash va uni samarali amalga oshirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PF-6079-son Farmoni // Qonunchilik ma’lumotlari milliy bazasi. – URL: https://lex.uz/docs/-5030957
3. Трудности и перспективы цифровой трансформации образования / под ред. А.Ю. Уварова, И.Д. Фрумина. – М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2019. – 343 с.
4. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. II. Термодинамика и молекулярная физика. – 5-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2005. – 544 с.
5. Xayriddinov B.E., Jo‘rayev Sh.H., Xolmirzayev N.S., Turumov E.T. Molekular fizika: o‘quv qo‘llanma. – T.: O‘zbekiston faylasuflari milliy jamiyati nashriyoti, 2013. – 264 b.
6. Wieman C.E., Adams W.K., Perkins K.K. PhET: Simulations that enhance learning // Science. – 2008. – Vol. 322, No. 5902. – P. 682–683.
7. Schroeder D.V. Interactive molecular dynamics // American Journal of Physics. – 2015. – Vol. 83, No. 3. – P. 210–218.
8. Gould H., Tobochnik J., Christian W. An Introduction to Computer Simulation Methods: Applications to Physical Systems. – 3rd ed. – San Francisco: Addison-Wesley, 2007.
9. Tog‘ayeva Q.U. Molekulyar fizikani modellashtirish orqali o‘qitish metodikasini takomillashtirish // Maktabgacha va maktab ta’limi. – 2025. – № 3(10). – B. 10–14.
10. Xujanov E.B. Molekulyar fizikaga oid masalalarni raqamli texnologiyalar yordamida yechish usullari // FarDU ilmiy xabarlari. – 2025. – T. 31, № 6.
11. Sze S.M., Lee M.K. Semiconductor Devices: Physics and Technology. – 3rd ed. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2012.

ARALASH TA’LIM TEXNOLOGIYASI ASOSIDA BO‘LAJAK FIZIK MUTAXASSISLARNING KASBIY KOMPETENSIYALARINI RIVOJLANTIRISH METODIKASI (“MOLEKULYAR FIZIKA” KURSI MISOLIDA)

Turdiyev Ural
Qarshi davlat universiteti, Umumiy fizika kafedrasi katta o’qituvchisi

Kirish

“O‘zbekiston – 2030” strategiyasida [1] ta’lim sifatini oshirish va raqamli texnologiyalarni keng joriy etish ustuvor yo‘nalishlar sifatida belgilangan. Bu vazifa fundamental fizika kurslarini o‘qitish metodikasini ham qayta ko‘rib chiqishni taqozo etadi. “Molekulyar fizika” kursida hanuzgacha an’anaviy ma’ruza va amaliy mashg‘ulot tizimi ustunlik qiladi: auditoriya vaqtining katta qismi axborot uzatishga sarflanadi, talabalarning faol bilish faoliyati va raqamli vositalar bilan ishlash tajribasi esa cheklanib qoladi. Xalqaro tadqiqotlar talabalarda ish, issiqlik va ichki energiya tushunchalariga oid noto‘g‘ri tasavvurlar an’anaviy o‘qitishdan keyin ham saqlanib qolishini ko‘rsatgan [2]. Bunday tasavvurlarni faqat axborot berish yo‘li bilan bartaraf etib bo‘lmaydi, buning uchun talabaning faol fikrlash faoliyatini tashkil etuvchi metodika zarur.

Tadqiqot maqsadi – raqamli ta’lim muhitida “Molekulyar fizika” kursini aralash ta’lim texnologiyasi asosida o‘qitish metodikasini ishlab chiqish va uning bo‘lajak fizik mutaxassislar kasbiy kompetensiyalarini rivojlantirishdagi samaradorligini baholash usulini asoslash.

Adabiyotlar tahlili va metodologiya

D.R. Garrison va H. Kanuka aralash ta’limni auditoriyadagi yuzma-yuz mashg‘ulotlar va onlayn faoliyatning maqsadli uyg‘unlashuvi sifatida ta’riflab, uning oliy ta’limni sifat jihatidan o‘zgartirish salohiyatini asoslagan [3]. J. Bergmann va A. Sams taklif etgan “teskari sinf” modelida nazariy material auditoriyagacha mustaqil o‘zlashtiriladi, auditoriya vaqti esa masala yechish, munozara va amaliy

faoliyatga ajratiladi [4]. E. Mazurning Peer Instruction usuli konseptual savollar va sheriklar bilan munozara orqali tushunchalarni chuqur o‘zlashtirishga xizmat qiladi [5]. R. Hake 6000 dan ortiq talaba ishtirokidagi tadqiqotda interaktiv usullar qo‘llanilgan kurslarda o‘rtacha normallashtirilgan o‘sish $\langle g \rangle \approx 0{,}48$ ni, an’anaviy kurslarda esa $\langle g \rangle \approx 0{,}23$ ni tashkil etganini aniqlagan [6]. S. Freeman va hammualliflar 225 ta tadqiqotni meta-tahlil qilib, faol o‘qitish talabalarning o‘zlashtirish ko‘rsatkichlarini oshirishini tasdiqlagan [7]. Bo‘lajak fizik mutaxassislarni tayyorlashda fan mazmuni, pedagogika va texnologiya integratsiyasini ifodalovchi TPACK modeli [8] hamda pedagoglarning raqamli kompetensiyalari bo‘yicha DigCompEdu Yevropa ramkasi [9] muhim metodologik asos bo‘lib xizmat qiladi. Respublikamizda akademik litsey o‘quvchilariga molekulyar fizika va termodinamika mavzularini raqamli platforma asosida o‘qitish samaradorligi χ^2 va *t*-mezonlar yordamida baholangan [10]. Biroq oliy ta’limda aralash ta’lim modelini “Molekulyar fizika” kursining o‘ziga xos mazmuni va bo‘lajak fiziklarning kasbiy kompetensiyalari bilan uyg‘unlashtirish masalasi hali yetarlicha ishlanmagan.

Tadqiqotda tizimli-faoliyatli va kompetensiyaviy yondashuvlar, pedagogik modellashtirish, test sinovlari hamda matematik-statistik tahlil usullaridan foydalanildi.

Tahlil va natijalar

Tadqiqot natijasida “Molekulyar fizika” kursini aralash ta’lim asosida o‘qitishning metodik tizimi ishlab chiqildi. U maqsadli (kasbiy kompetensiyalar), mazmuniy (raqamli resurslar bilan boyitilgan o‘quv modullari), jarayonli (to‘rt bosqichli o‘quv sikli), texnologik (Moodle platformasi, interaktiv simulyatsiyalar, Python muhiti) hamda baholash-natijaviy komponentlardan iborat. Kursning har bir mavzusi to‘rt bosqichli sikl asosida o‘qitiladi (1-jadval).

1-jadval

Aralash ta’lim asosidagi o‘quv sikli (“Termodinamikaning birinchi qonuni” mavzusi misolida)

Bosqich	Talaba faoliyati	Raqamli vosita va nazorat shakli
1. Auditoriyagacha (onlayn)	Qisqa videoma’ruza va elektron darslik bo‘limini o‘rganish, simulyatsiyada izojarayonlarni kuzatish	Moodle, PhET “Gas Properties”; kirish testi
2. Auditoriyada	Konseptual savollar bo‘yicha Peer Instruction, guruhda masala yechish	Onlayn so‘rov vositasi; ovoz berish natijalari
3. Laboratoriya va hisoblash loyihasi	Havo uchun C_p/C_V nisbatini Kleman–Dezorm usulida aniqlash, jarayonning kompyuter modelini qurish, siklda bajarilgan ishni sonli hisoblash	Python (NumPy, Matplotlib); hisobot va loyiha himoyasi
4. Auditoriyadan keyin	Xatolar ustida ishlash, refleksiya, elektron portfolioni to‘ldirish	Moodle testlar banki, forum; formativ baholash

Birinchi bosqichdagi kirish testi natijalari o‘qituvchiga auditoriya mashg‘ulotini talabalarda aniqlangan qiyinchiliklarga moslab rejalashtirish imkonini beradi (“Just-in-Time Teaching” yondashuvi [11]). Ikkinchi bosqichda talabalar, masalan, “Ideal gaz adiabatik siqilganda uning harorati nima uchun ortadi?” kabi savolga avval mustaqil javob beradi, so‘ngra sheriklari bilan muhokama qilib, qayta ovoz beradi. Bu [2] da qayd etilgan noto‘g‘ri tasavvurlarni ochiq muhokama orqali bartaraf etishga qaratilgan. Uchinchi bosqichda real va virtual tajriba uyg‘unlashtiriladi: talaba Kleman–Dezorm usulida o‘lchangan $\gamma = C_p/C_V$ qiymatini ikki atomli gaz uchun nazariy qiymat $\gamma = (i + 2)/i = 1{,}4$ va kompyuter modeli natijasi bilan solishtirib, farqlarning sabablarini tahlil qiladi. To‘rtinchi bosqichda esa o‘zlashtirish natijalari raqamli muhitda qayd etilib, talabaning individual ta’lim trayektoriyasi shakllantiriladi. Bunday tizimda o‘qituvchi axborotning

yagona manbai emas, balki talabalar bilish faoliyatini loyihalovchi, yo‘naltiruvchi va baholovchi tyutor vazifasini bajaradi.

Metodik tizim doirasida bo‘lajak fiziklarning kasbiy kompetensiyalari to‘rt tarkibiy qism orqali ifodalandi: *fundamental-konseptual* (asosiy tushuncha va qonuniyatlarni anglash), *eksperimental-tadqiqot* (tajriba o‘tkazish va natijalarni qayta ishlash), *hisoblash-modellashtirish* (fizik jarayonlarning kompyuter modelini qurish va tahlil qilish) hamda *raqamli-kommunikativ* (raqamli muhitda hamkorlikda ishlash va natijalarni taqdim etish). Har bir tarkibiy qism uchun past, o‘rta va yuqori daraja ko‘rsatkichlari belgilandi. Masalan, hisoblash-modellashtirish kompetensiyasining past darajasida talaba tayyor simulyatsiyada parametrlarni o‘zgartirib kuzatish o‘tkazadi, o‘rta darajasida berilgan dastur kodini o‘zgartirib tadqiqot bajaradi, yuqori darajasida esa jarayon modelini mustaqil quradi va natijani nazariya bilan solishtiradi. Baholash tizimi formativ va summativ baholashni uyg‘unlashtiradi: joriy nazorat onlayn topshiriqlar, kirish testlari, auditoriyadagi faollik va laboratoriya hisobotlariga, yakuniy nazorat esa loyiha himoyasi va konseptual testga asoslanadi.

Metodika samaradorligini baholash uchun pedagogik tajriba-sinov aniqlovchi, shakllantiruvchi va yakuniy bosqichlarda, tajriba va nazorat guruhlarida o‘tkaziladi. Kurs boshida va oxirida ikkala guruhda bir xil konseptual test – xalqaro miqyosda validatsiyadan o‘tgan Thermal Concept Evaluation testining [12] o‘zbek tiliga moslashtirilgan varianti va kurs mazmuniga oid topshiriqlar qo‘llaniladi. Guruhlardagi o‘zgarish normallashtirilgan o‘sish koeffitsiyenti orqali baholanadi [6]:

$$\langle g \rangle = (S_{\text{post}} - S_{\text{pre}}) / (100 - S_{\text{pre}}), \qquad (1)$$

bu yerda S_{pre} va S_{post} – guruhning dastlabki va yakuniy testdagi o‘rtacha natijasi, %. $\langle g \rangle < 0{,}3$ past, $0{,}3 \le \langle g \rangle < 0{,}7$ o‘rta, $\langle g \rangle \ge 0{,}7$ esa yuqori samaradorlikni bildiradi [6]. (1) ko‘rsatkich guruhlarning boshlang‘ich tayyorgarlik darajasidagi farqni hisobga oladi va natijalarni xalqaro tadqiqotlar bilan solishtirish imkonini beradi. Guruhlar natijalari orasidagi farqning statistik ishonchliligi Pirsonning χ^2 mezoni yoki Styudentning *t*-mezoni yordamida tekshiriladi.

Xulosa va takliflar

Aralash ta’lim texnologiyasi asosida ishlab chiqilgan metodika auditoriya va onlayn faoliyatni yagona to‘rt bosqichli o‘quv sikliga birlashtirib, auditoriya vaqtini axborot uzatishdan talabalarning faol bilish faoliyatiga qayta taqsimlaydi. U konseptual tushunchalarni chuqur o‘zlashtirish bilan birga fundamental-konseptual, eksperimental-tadqiqot, hisoblash-modellashtirish va raqamli-kommunikativ kompetensiyalarni kompleks rivojlantirishga xizmat qiladi. Normallashtirilgan o‘sishga asoslangan tajriba-sinov dizayni metodika samaradorligini xalqaro amaliyot bilan solishtirish mumkin bo‘lgan ko‘rsatkichlar asosida baholash imkonini beradi. Metodikani oliy ta’lim muassasalarida umumiy fizika kurslarini o‘qitishda qo‘llash va tajriba-sinov natijalari asosida takomillashtirib borish tavsiya etiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

12. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 11-sentyabrdagi “«O‘zbekiston – 2030» strategiyasi to‘g‘risida”gi PF-158-son Farmoni // Qonunchilik ma’lumotlari milliy bazasi. – URL: https://lex.uz/docs/-6600413

13. Loverude M.E., Kautz C.H., Heron P.R.L. Student understanding of the first law of thermodynamics: Relating work to the adiabatic compression of an ideal gas // American Journal of Physics. – 2002. – Vol. 70, No. 2. – P. 137–148.

14. Garrison D.R., Kanuka H. Blended learning: Uncovering its transformative potential in higher education // The Internet and Higher Education. – 2004. – Vol. 7, No. 2. – P. 95–105.

15. Bergmann J., Sams A. Flip Your Classroom: Reach Every Student in Every Class Every Day. – Eugene, OR: International Society for Technology in Education, 2012.

16. Mazur E. Peer Instruction: A User’s Manual. – Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1997.

17. Hake R.R. Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses // American Journal of Physics. – 1998. – Vol. 66, No. 1. – P. 64–74.
18. Freeman S., Eddy S.L., McDonough M. et al. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2014. – Vol. 111, No. 23. – P. 8410–8415.
19. Mishra P., Koehler M.J. Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge // Teachers College Record. – 2006. – Vol. 108, No. 6. – P. 1017–1054.
20. Redecker C. European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu / ed. Y. Punie. – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017.
21. Raxmatullayeva G. Molekulyar fizika va termodinamika mavzularini raqamli platforma asosida o‘qitish tajribasi [Elektron resurs]. – 2025. – DOI: 10.5281/zenodo.15848524.
22. Novak G.M., Patterson E.T., Gavrin A.D., Christian W. Just-in-Time Teaching: Blending Active Learning with Web Technology. – Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999.
23. Yeo S., Zadnik M. Introductory thermal concept evaluation: assessing students’ understanding // The Physics Teacher. – 2001. – Vol. 39, No. 8. – P. 496–504.

TALABALARNING KREATIVLIK QOBILIYATLARINI LABORATORIYA MASHG‘ULOTLARI JARAYONIDA TAKOMILLASHTIRISH METODIKASI

Tursunboyeva Nigoraxon A’zamjon qizi
NamDU tayanch doktoranti
nigoratursunboyeva750@gmail.com

Zamonaviy oliy ta’limda talabalarning mustaqil fikrlashi, muammoni aniqlashi, gipoteza ilgari surishi va yangi yechimlarni taklif qila olishi muhim kompetensiyalardan hisoblanadi. Fizika ta’limi, ayniqsa laboratoriya mashg‘ulotlari, ushbu qobiliyatlarni rivojlantirish uchun katta imkoniyat yaratadi. Chunki laboratoriya jarayonida talaba nazariy bilimni tajriba bilan bog‘laydi, o‘lchashlar olib boradi, natijalarni tahlil qiladi va nazariy xulosalar bilan taqqoslaydi. Biroq an’anaviy laboratoriya ishlarida maqsad, qurilma sxemasi, bajarish tartibi va hisoblash formulalarining tayyor holda berilishi talabaning mustaqil eksperimental qaror qabul qilishi uchun imkoniyatni cheklaydi. Shuning uchun laboratoriya mashg‘ulotlarini tayyor yo‘riqnomani bajarishdan bosqichma-bosqich mustaqil eksperimental-tadqiqot faoliyatiga o‘tkazish, xususan mexanika laboratoriyalari asosida talabalarning kreativlik qobiliyatlarini rivojlantirish metodikasini takomillashtirish dolzarb pedagogik vazifa hisoblanadi.

Fizika ta’limida laboratoriya mashg‘ulotlari nazariy bilimlarni tajriba bilan bog‘lash va talabalarning mustaqil eksperimental faoliyatini rivojlantirishning muhim vositasidir. R.X. Kazakov klassik mexanikani o‘qitishda nazariy va eksperimental bilimlarning birligini ta’minlash zarurligini ta’kidlaydi [1]. V.V. Davidovning mustaqil fikrlash va umumlashtirishga oid qarashlari laboratoriya mashg‘ulotlarini talabaning izlanish faoliyatini rivojlantiruvchi muhit sifatida tashkil etish zarurligini ko‘rsatadi [2]. V.G. Razumovskiy fizikani o‘qitishda ijodiy qobiliyatlarni rivojlantirishda muammoli vaziyat va mustaqil izlanishning ahamiyatini asoslagan [3]. Shunga ko‘ra, laboratoriya mashg‘ulotlarida kreativlik talabaning eksperimental muammoni aniqlashi, gipoteza ilgari surishi, tajriba usulini tanlashi, natijalarni tahlil qilishi va muqobil yechim taklif qila olishida namoyon bo‘ladi. N.S. Chasovskix va Ye.V. Yermakova tadqiqotlarida laboratoriya mashg‘ulotlarida talabalar mustaqilligi va muammoli faoliyatini kuchaytirish imkoniyatlari ko‘rsatilgan [4; 5]. Demak, mexanika laboratoriyalarini kreativlikka yo‘naltirishning asosiy vazifasi

talabani tayyor yo‘riqnomani bajaruvchidan mustaqil eksperimental tadqiqot olib boruvchi subyektga bosqichma-bosqich aylantirishdan iborat.

Mexanika laboratoriya mashg‘ulotlarida talabalar kreativligini rivojlantirish metodikasi maqsadli, mazmuniy, faoliyatli, texnologik va refleksiv-baholash komponentlaridan tashkil topadi. Unda mustaqil fikrlash, muammoni aniqlash, gipoteza ilgari surish, eksperimentni rejalashtirish, raqamli vositalardan foydalanish va natijalarni tanqidiy baholashga yo‘naltirilgan faoliyat ustuvor hisoblanadi.

Metodika laboratoriya ishlarini uch bosqichda tashkil etishga asoslanadi: reproduktiv bosqich — tayyor algoritm asosida tajriba o‘tkazish; konstruktiv-izlanuvchan bosqich — eksperiment usuli yoki sharoitlarini qisman mustaqil tanlash; ijodiy-tadqiqot bosqichi — muammoni mustaqil tahlil qilish, gipoteza ilgari surish, tajribani rejalashtirish va natijalarni baholash. Shu asosda laboratoriya faoliyati muammoli vaziyat → gipoteza → eksperiment rejasi → tajriba → natijalar tahlili → xulosa va yechimni takomillashtirish ketma-ketligida tashkil etiladi.

Laboratoriya topshiriqlari talabani tayyor algoritmni bajarishdan mustaqil eksperimental qaror qabul qilishga yo‘naltiradi. Masalan, ishqalanish koeffitsiyentini dinamometrsiz aniqlashda qiya tekislikning kritik burchagi o‘lchanib,

$$\mu = tg\alpha$$

formulasi asosida natija aniqlanadi. Talaba tajribani takrorlaydi, natijani tahlil qiladi va aniqlikni oshirish usullarini taklif etadi.

1-jadval. Mexanika laboratoriyalarida kreativ topshiriqlar namunasi

Laboratoriya mavzusi	An’anaviy topshiriq	Kreativ-tadqiqot topshirig‘i
Erkin tushish tezlanishi	g ni berilgan usulda aniqlash	g ni kamida ikki xil usulda aniqlab, ularning aniqligini taqqoslash
Ishqalanish	Ishqalanish koeffitsientini dinamometr bilan aniqlash	Dinamometrsiz ishqalanish koeffitsientini aniqlash usulini ishlab chiqish
Nyutonning II qonuni	$F = ma$ ni tekshirish	$a(F)$ va $a(m)$ bog‘lanishlarni olish va og‘ish sabablarini tushuntirish
Impuls saqlanishi	Tayyor sxema bo‘yicha impulsni hisoblash	Turli to‘qnashuvlarda impuls va energiya o‘zgarishini mustaqil tadqiq qilish
Inertsiya momenti	Tayyor qurilmada I ni aniqlash	I ni nazariy va eksperimental usullarda aniqlab, farqni izohlash
Mayatnik	g ni aniqlash	Mayatnik davri amplitudaga bog‘liq yoki bog‘liq emasligini tekshirish
Prujinali mayatnik	Prujina bikrligini aniqlash	Statik va dinamik usullarda k ni aniqlab, natijalarni taqqoslash
Aylanma harakat	Burchak tezlanishini o‘lchash	Kuch momenti va burchak tezlanishi munosabatini eksperimental tadqiq qilish

Laboratoriya mashg‘ulotlarida smartfon sensorlari, videoanaliz va elektron datchiklardan foydalanish talabalarning eksperimental izlanish imkoniyatlarini kengaytiradi. Bunda raqamli texnologiyalar tayyor natija beruvchi emas, balki tadqiqotni qo‘llab-quvvatlovchi vosita sifatida qo‘llaniladi. Kreativlik muammoni aniqlash, gipoteza ilgari surish, eksperiment usulini tanlash, natijani tahlil qilish va yechimni takomillashtirish ko‘rsatkichlari asosida baholanadi. Metodikaning samaradorligi nazorat va tajriba

guruhlarida an’anaviy hamda kreativ-tadqiqot laboratoriyalarini taqqoslash orqali aniqlanadi. Bunda mustaqil eksperimental qaror qabul qilish va natijalarni tahlil qilish ko‘nikmalarining o‘zgarishi hisobga olinadi. Asosiy pedagogik shartlar — nazariya va eksperiment birligi, topshiriqlar murakkabligini bosqichma-bosqich oshirish, mustaqil qaror qabul qilish imkoniyati va refleksiv faoliyatni ta’minlashdan iborat.

XULOSA

Mexanika laboratoriya mashg‘ulotlarini reproduktiv faoliyatdan konstruktiv-izlanuvchan va ijodiy-tadqiqot faoliyatiga bosqichma-bosqich o‘tkazish talabalarning kreativlik qobiliyatlarini rivojlantirishga xizmat qiladi. Taklif etilayotgan besh komponentli metodik model va uch bosqichli laboratoriya tizimi talabalarda mustaqil fikrlash, gipoteza ilgari surish, eksperimentni rejalashtirish va natijalarni tanqidiy baholash imkoniyatlarini kengaytiradi. Shuning uchun laboratoriya praktikumini “tayyor yo‘riqnomani bajarish” modelidan “mustaqil eksperimental tadqiqot” modeliga o‘tkazish fizika ta’limida kreativlikni rivojlantirishning samarali yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Казаков Р.Х. Методическая система обучения классической механике в курсе общей физики педагогического вуза: дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.02. – М., 2004. – 258 с.
2. Давыдов В.В. Виды обобщения в обучении: логико-психологические проблемы построения учебных предметов. – М.: Педагогика, 1972. – 423 с.
3. Разумовский В.Г. Развитие творческих способностей учащихся в процессе обучения физике. – М.: Просвещение, 1975. – 272 с.
4. Часовских Н.С. Организация самостоятельной работы студентов на лабораторных занятиях по общей физике в условиях развивающего обучения: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02. – Горно-Алтайск, 2006.
5. Ермакова Е.В. Организация и проведение лабораторных занятий по курсу общей физики в педагогических вузах с использованием задачного метода: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02. – Челябинск, 2003. – 232 с.
6. Mamatkarimov O.O., Ismanova O., Boboho‘jayev U. Talabalarni loyihaviy faoliyatga tayyorlashda laboratoriya mashg‘ulotlarining o‘rni // Fizikaning zamonaviy muammolari va rivojlanish istiqbollari: I-xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya. 22-23 Oktabr, 2024. NamDU. –B. 668- 669.

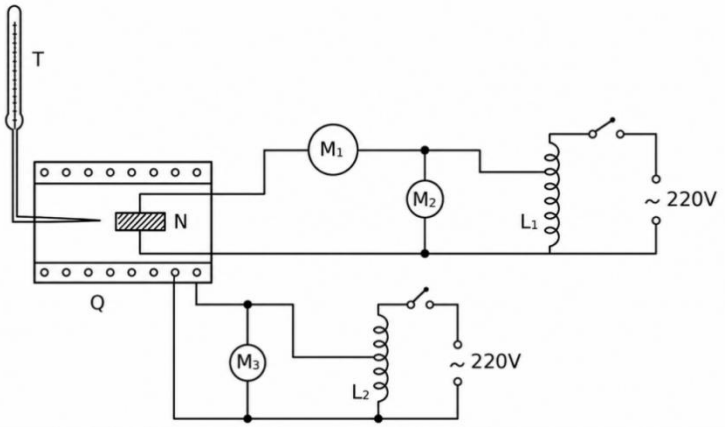
SEGNETOELEKTRIKLAR QARSHILIGINING TEMPERATURAGA BOG‘LIQLIGINI O‘RGANISH LABORATORIYA QURILMASI

Tursunmetov Kamiljan Axmetovich
O‘zbekiston Milliy universiteti Fizika fakulteti Umumiy fizika kafedrasi professori
kamiljantursunmetov47@gmail.com
Xolboyev Yunusali Xasan o‘g‘li
O‘zbekiston Milliy universiteti Fizika fakulteti Umumiy fizika kafedrasi o‘qituvchisi
yunusalikholboev@gmail.com

Segnetoelektriklar bugungi murakkab va zamonaviy elektron sistemalarda keng qo‘llanilgani bois segnetoelektriklarning elektr xossalarini o‘rganish katta ahamiyatga ega. Shuning uchun segnetoelektriklarning qarshiligining temperaturaga bog‘liqligini o‘rganish laboratoriya qurilmasi ishlab chiqildi.

Segnetoelektriklar qarshiligining temperaturaga bog‘liqligini o‘rganishda namuna sifatida bariy titanat $(BaTiO_3)$ tanlab olish qulay hisoblanadi. Chunki, $BaTiO_3$ — segnetoelektrik, piezoelektrik va yuqori dielektrik xossalarga ega bo‘lgan muhim keramik material hisoblanadi va bu namuna uchun dielektrik singdiruvchanlikning temperaturaga bog‘liqligini o‘rganish laboratoriya qurilmasi tavsiya qilingan. U zamonaviy elektronika va optoelektronika sohalarida keng qo‘llaniladi. Ushbu material tashqi elektr maydoni ta’sirisiz ham qutblanish xususiyatiga ega, shuningdek mexanik bosim ta’sirida elektr zaryad hosil qilishi bilan ajralib turadi. $BaTiO_3$ ning dielektrik singdiruvchanligi juda yuqori bo‘lgani sababli u ko‘p qatlamli keramik kondensatorlar, sensorlar, aktuatorlar va ultratovush qurilmalarini ishlab chiqarishda asosiy materiallardan biri hisoblanadi. Uning elektr xossalari, ayniqsa dielektrik singdiruvchanligi va qarshiligi temperatura o‘zgarishi bilan sezilarli darajada o‘zgaradi. Shu sababli tajribada $BaTiO_3$ uchun $R = f(t)$ grafik eksperimental yo‘l bilan o‘rganildi.

Mazkur ishda zamonaviy o’lchov asboblari bilan ta’minlangan hamda konstruksion mukammallashgan o‘quv laboratoriya qurilmasi ishlab chiqildi. Bariy titanat namunasi (N) elektr pech (Q) ichiga joylashtirildi va pech ichidagi temperatura termometr (T) yordamida nazorat qilindi. Namuna zanjiriga L_1 avtotransformator yordamida $100\ V$ kuchlanish berildi. Namuna orqali o‘tayotgan juda kichik tok bo‘lib, M_1 raqamli multimetr yordamida mikroamperlarda o‘lchandi. M_2 raqamli multimetr yordamida namunaga berilgan kuchlanish o‘lchanadi va tajriba jarayonida bu qiymat o‘zgarmas tarzda ushlab turildi. L_2 avtotransformator yordamida qizidirish pechiga berilgan kuchlanish M_3 raqamli multimetr orqali o‘lchanadi. Bunda kuchlanish L_2 avtotransformator yordamida $50\ V$ atrofida ushlab turiladi. Laboratoriya qurilmasining elektr sxemasi 1-rasmda keltirilgan.



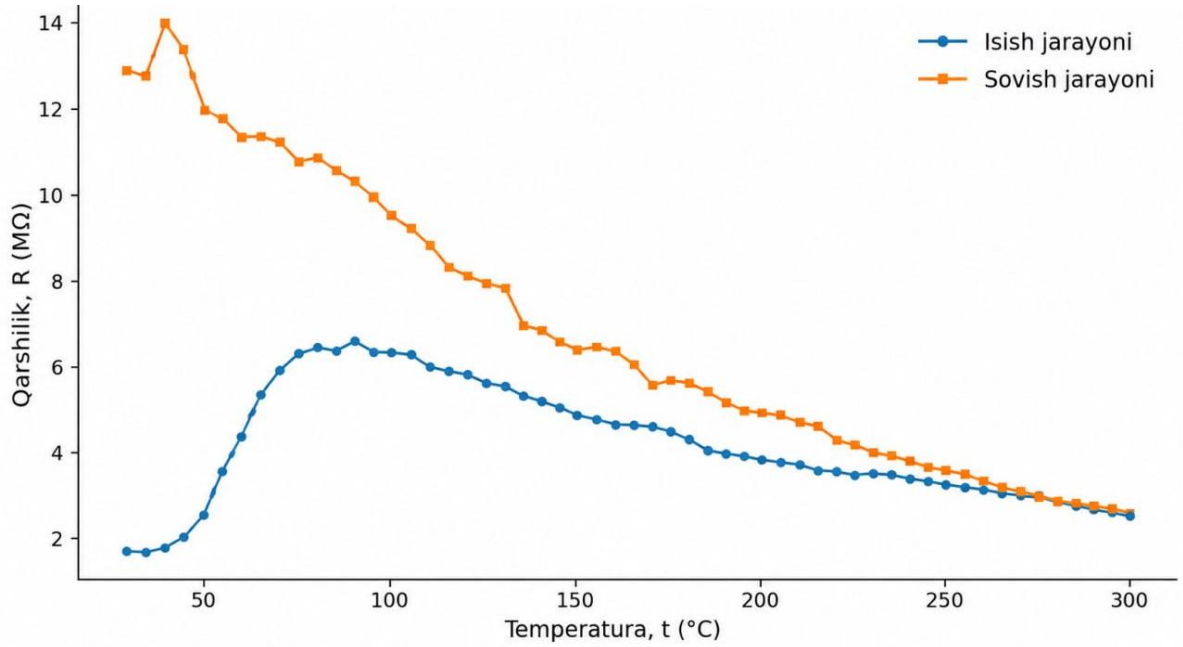
1-rasm. Bariy titanati namunasining dielektrik singdiruvchanligi va qarshiligini temperaturaga bog‘liq holda o‘lchash sxemasi.

Avvalo, $BaTiO_3$ uchun olingan VAX olindi va uni tahlil qilish davomida namuna uchun VAX ning to‘g‘ri chiziqli qismi 0-100 V oralig‘ida ekanligi aniqlandi va o‘lchashlar davomida namunaga beriladigan kuchlanish $100\ V$ bo‘lishi kerak ekanligi aniqlandi.

Tajriba natijalarini hisoblashda isish va sovish jarayonlarida temperaturaning har bir qiymatiga mos kelgan tok kuchi qiymatlari alohida ko‘rib chiqildi. Olingan qiymatlar asosida zanjirning bir qismi uchun

Om qonuni ($R = \frac{U}{I}$) dan foydalanib, bariy titanat qarshiligi hisoblanadi ($\varepsilon_0 = 8{,}85 \times 10^{-12}\ \Phi/m$, $\nu = 50\ Hz$).

$BaTiO_3$ qarshiligi isish va sovish jarayonida 2-rasmda keltirilgan grafik asosida o‘zgardi. $R = f(t)$ grafigidan ko‘rinadiki, qarshilik qiymatlari tok kuchi bilan teskari bog‘liq ravishda o‘zgaradi: isish jarayonida R qiymati dastlab ortib, ~90 °C da maksimal qiymatga yetdi, keyin temperatura oshishi bilan kamayib bordi.



2-rasm. Bariy titanat namunasining qarshiligi R ning temperaturaga bog‘liqlik grafigi ($R = f(t)$).

Natijalar segnetoelektrik materiallarda temperatura ta'sirida elektr xossalarning sezilarli o‘zgarishini ko‘rsatadi. Isish va sovish jarayonlaridagi $R(t)$ qiymatlarining farq qilishi gisterezis effektini tasdiqlaydi – bu bariy titanati uchun xarakterli hodisa bo‘lib, material ichki tuzilishi, domenlar holati va issiqlik inertsiyasi bilan bog‘liq.

Kyuri nuqtasidan o‘tishda namuna xususiyatlarning o‘zgarishi segnetoelektrikning kristal tuzilishining o‘zgarishi natijasidir. Masalan, bariy titanati Kyuri nuqtasidan yuqori haroratda kubik panjaraga, past haroratda esa tetragonal panjaraga ega bo‘ladi. O‘rganilayotgan bariy titanatining fazaviy o‘tishi ikkinchi turdagi fazaviy o‘tish hisoblanadi (ehtimol, birinchi turga yaqin).

Foydalanilgan adabiyotlar

1. K.A. Tursunmetov, Y.X. Xolboyev. Elektr va magnetizm. Toshkent. Ma’rifat-2024. 65-bet.
2. S.G. Kalashnikov. Elektr. Toshkent. Universitet-2022. 70-bet.
3. Н.Н. Майсова. Практикум по курсу общей физики. Росвузиздат-1963. С. 189.
4. Thoms, E.; Sippel, P.; et., al. Dielectric study on mixtures of ionic liquids// Sci. Rep.: journal. — 2017. — Vol. 7, no. 1

ELEKTR ZANJIRI MAVZUSINI O‘QITISHDA GAMIFIKATSIYA ELEMENTLARIDAN FOYDALANISHNING ZAMONAVIY YECHIMLARI (UMUMTA’LIM MAKTABLARI MISOLIDA)

Katta o‘qituvchi, U.S,Ismailov (Andijon davlat universiteti)

Magistrant, M.A.Muxtorjonova (Andijon davlat universiteti)
Email: maftunaismatillayeva49@gmail.com)

Umumta’lim maktablarida fizika fanini o‘qitish jarayonida o‘quvchilarning fanga bo‘lgan qiziqishini oshirish, nazariy bilimlarni amaliy faoliyat bilan bog‘lash hamda murakkab fizik tushunchalarni sodda tarzda o‘zlashtirish muhim metodik vazifalardan biridir. Elektr hodisalari va elektr zanjiri bilan bog‘liq mavzularni o‘rganishda o‘quvchilardan nafaqat nazariy bilim, fizik kattaliklar orasidagi bog‘lanishlarni aniqlash va masalalarni yecha olish ko‘nikmalari talab etiladi. Shu nuqtayi nazardan, gamifikatsiya elementlaridan foydalanish fizika ta’limining samaradorligini oshirish imkonini beradi. Gamifikatsiya ta’lim jarayoniga o‘yin mexanizmlari, qoidalari kiritish orqali o‘quv faoliyatini faollashtirishga qaratilgan yondashuvdir. Bunda ta’limning asosiy maqsadi o‘yin o‘ynash emas, balki o‘quvchilarning bilim olish jarayonidagi ishtirokini kuchaytirishdan iborat. Ball to‘plash, bosqichlardan o‘tish, topshiriqlarni ketma-ket bajarish, jamoaviy musobaqalar va tezkor fikr-mulohaza kabi elementlardan foydalanish o‘quvchining darsdagi faolligini oshirishi mumkin. Tadqiqotlarda gamifikatsiyaning o‘quvchilarning faolligi va ta’lim jarayonidagi ishtirokiga ijobiy ta’sir ko‘rsatishi qayd etilgan.

Elektr zanjiri mavzusini o‘qitishda gamifikatsiyani qo‘llashning asosiy afzalligi mavzuning amaliy mazmuni bilan o‘yin mexanizmlarini birlashtirish imkoniyatidir. Masalan, darsni “Elektr zanjiri muhandislari” nomli o‘yinli topshiriq asosida tashkil etish mumkin. Bunda o‘quvchilar kichik guruhlarga ajratilib, ularga elektr manbai, lampochka, kalit, ulovchi simlar va boshqa elementlardan foydalanib, berilgan shart asosida elektr zanjirini tuzish vazifasi beriladi. Har bir to‘g‘ri yig‘ilgan zanjir uchun guruhga ma’lum miqdorda ball beriladi. Zanjirning ishlash prinsipini to‘g‘ri tushuntirish, elektr toki yo‘nalishini aniqlash yoki sxematik tasvirini to‘g‘ri chizish uchun qo‘shimcha ball berilishi mumkin. Mazkur jarayonda o‘quvchi bilimni faqat qabul qiluvchi emas, balki muammoni hal qiluvchi faol ishtirokchiga aylanadi. Masalan, o‘qituvchi “Lampochka yonmayapti. Sababini toping” vaziyatini yaratishi mumkin. O‘quvchilar zanjirdagi uzilish, kalitning holati, ulanishning noto‘g‘riligi yoki elektr manbai bilan bog‘liq muammoni aniqlashlari kerak bo‘ladi. Har bir aniqlangan sabab uchun ball berilib, eng qisqa vaqt ichida muammoni to‘g‘ri hal qilgan guruh keyingi bosqichga o‘tadi. Bunday topshiriq o‘quvchilarda mantiqiy fikrlash, hamkorlikda ishlash va fizik hodisani tahlil qilish ko‘nikmalarini shakllantirishga xizmat qiladi. Elektr zanjiri mavzusida gamifikatsiyaning yana bir samarali shakli “Fizik missiya” metodidir. Ushbu metodda o‘quvchilarga bir nechta ketma-ket topshiriqlar beriladi. Birinchi bosqichda ular elektr zanjirining asosiy elementlarini aniqlaydilar. Ikkinchi bosqichda elektr sxemasini o‘qiydilar va undagi xatolarni topadilar. Uchinchi bosqichda berilgan sxema asosida zanjirni amaliy ravishda yig‘adilar. Yakuniy bosqichda esa elektr toki, kuchlanish va qarshilik o‘rtasidagi bog‘lanishdan foydalanib, hisoblash topshirig‘ini bajaradilar. Har bir bosqichning muvaffaqiyatli bajarilishi o‘quvchiga keyingi topshiriqni bajarish imkonini beradi. Natijada dars jarayoni o‘zaro bog‘langan kichik vazifalar tizimiga aylanadi.

Gamifikatsiya elementlaridan foydalanishda axborot texnologiyalarini ham qo‘llash mumkin. Jumladan, interaktiv testlar, elektron viktorinalar, raqamli reytinglar va virtual laboratoriya muhitlari elektr zanjirlarini modellashtirish imkonini beradi. Virtual muhitda o‘quvchi turli elektr elementlarini tanlab, ularni o‘zaro ulashi, zanjirdagi o‘zgarishlarni kuzatishi va xatolarini mustaqil aniqlashi mumkin. Bu, ayniqsa, barcha o‘quvchilar bilan bir vaqtning o‘zida real laboratoriya tajribasini tashkil etish imkoniyati cheklangan sharoitlarda metodik jihatdan foydalidir.

Elektr zanjiri mavzusida gamifikatsiyani tashkil etishda topshiriqlarning murakkablik darajasini bosqichma-bosqich oshirish muhimdir. Dastlab o‘quvchi elektr zanjirining asosiy elementlarini bilishi kerak. Keyingi bosqichlarda sxemalarni o‘qish, xatolarni aniqlash, zanjirni mustaqil tuzish va fizik kattaliklarni hisoblash kabi topshiriqlar berilishi mumkin. Shu orqali o‘quvchining bilimlari oddiy tanib olish darajasidan amaliy qo‘llash va muammoni mustaqil hal qilish darajasiga olib chiqiladi.

Bunda baholash tizimi ham gamifikatsiya talablariga mos ravishda tashkil etilishi mumkin. Masalan, to‘g‘ri javob uchun 1 ball, amaliy topshiriqni to‘g‘ri bajarish uchun 2 ball, murakkab muammoni mustaqil hal qilish uchun 3 ball beriladi. Dars yakunida o‘quvchilar to‘plagan ballari asosida “Elektr zanjiri bilimdoni”, “Eng yaxshi muhandis”, “Eng tezkor guruh” kabi nominatsiyalar bilan rag‘batlantirilishi mumkin. Shuningdek, gamifikatsiya elementlarini tanlashda o‘quvchilarning yosh xususiyatlari, bilim darajasi va sinfdagi psixologik muhitni hisobga olish zarur. Haddan tashqari raqobat ayrim o‘quvchilarda salbiy munosabatni yuzaga keltirishi mumkin. Shuning uchun individual topshiriqlar bilan bir qatorda jamoaviy vazifalardan foydalanish, barcha o‘quvchilarning ishtirokini ta’minlash va baholash mezonlarini oldindan aniq belgilash maqsadga muvofiqdir. Gamifikatsiyaning samarasi uning o‘quv maqsadlariga qanchalik moslashtirilganiga bog‘liq. Elektr zanjiri mavzusini gamifikatsiya asosida tashkil etish natijasida o‘quvchilarning darsdagi faolligi, fizik tushunchalarni amaliy vaziyatlarda qo‘llash, sxemalarni tahlil qilish va muammoli vaziyatlarga yechim topish ko‘nikmalarini rivojlantirish uchun qo‘shimcha metodik imkoniyatlar yaratiladi. Ayniqsa, “Elektr zanjiri muhandislari”, “Fizik missiya”, “Xatoni top”, “Zanjirni yig‘”, “Tezkor fizik” kabi topshiriqlarni bir darsning turli bosqichlariga moslashtirish orqali ta’lim jarayonini qiziqarli tashkil etish mumkin.

Shunday qilib, elektr zanjiri mavzusini o‘qitishda gamifikatsiya elementlaridan foydalanish fizika ta’limini zamonaviylashtirishning amaliy yo‘nalishlaridan biri sifatida qaralishi mumkin. Gamifikatsiya o‘quvchini dars jarayonining faol ishtirokchisiga aylantirish, nazariy bilimlarni amaliy faoliyat bilan bog‘lash va o‘quv muammolarini mustaqil hal qilishga yo‘naltirish imkonini beradi. Eng muhimi, o‘yin elementlari fizika fanining mazmunini almashtirmasdan, balki uni o‘zlashtirishni qo‘llab-quvvatlovchi metodik vosita sifatida qo‘llanishi lozim. Shu asosda elektr zanjiri mavzusini o‘qitish uchun ishlab chiqilgan gamifikatsion topshiriqlar umumta’lim maktablari fizika darslarining mazmuni va o‘quvchilarning tayyorgarlik darajasiga moslashtirilganda ta’lim samaradorligini oshirishga xizmat qilishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Zainuddin Z., Shujahat M., Haruna H., Chu S.K.W. The role of gamified e-quizzes on student learning and engagement: An interactive gamification solution for a formative assessment system // Computers & Education. – 2020. – Vol. 145.
2. Kalogiannakis M., Papadakis S., Zourmpakis A.-I. Gamification in science education: A systematic review of the literature // Education Sciences. – 2021. – Vol. 11, No. 1.
3. Li X., Hew K.F., Du J.Gamification enhances student intrinsic motivation in online learning: A systematic review and meta-analysis // Educational Technology Research and Development. – 2024.
4. Ratinho E., Martins C. The role of gamification in online learning: A systematic review // Education Sciences. – 2023.
5. Milinskiy A. Pedagogical potential of gamification in physics education // zamonaviy fizika ta’limida gamifikatsiya masalalariga bag‘ishlangan tadqiqot. – 2026.

KASB-HUNAR MAKTABLARIDA ENERGIYA VA RESURSLARNI TEJOVCHI INNOVATSION TEXNOLOGIYALARNI O‘QITISHNING O‘RNI

Umirzaqova Muxtaram Olimjonovna-Andijon viloyati Asaka tumani 3-son texnikum Fizika-astranomiya fani o‘qituvchisi, Asqaraliyev Ozodbek Namangan davlat universiteti Fizika kafedrasi, 2-bosqich talabasi Meliboyev Bositxon Vohid o‘g‘li Namangan Davlat Universiteti Kimyo kafedrasi talabasi E-mail: bositxonmeliboyev20@gmail.com

Bugungi kunda energiya resurslaridan oqilona foydalanish va ularni tejash masalasi dunyo miqyosida muhim ilmiy, iqtisodiy va ijtimoiy muammolardan biri hisoblanadi. Sanoat, transport, qishloq xo‘jaligi, xizmat ko‘rsatish hamda maishiy sohalarda energiyaga bo‘lgan talabning ortib borishi energiya samarador texnologiyalarni rivojlantirish va ulardan foydalanishni taqozo etmoqda. Shu sababli energiyani tejash masalasini nafaqat ishlab chiqarish jarayonida, balki ta’lim tizimida ham keng targ‘ib qilish muhim ahamiyatga ega. Ayniqsa, kasb-hunar maktablari o‘quvchilarni muayyan kasb va mutaxassislik bo‘yicha amaliy faoliyatga tayyorlashi bilan ajralib turadi. Ushbu ta’lim muassasalarida o‘quvchilar kelajakdagi mehnat faoliyatida turli xil texnika va texnologiyalardan foydalanadilar. Shuning uchun ularga energiya va moddiy resurslardan samarali foydalanish, texnik qurilmalarning energiya sarfini baholash hamda energiya tejamkor texnologiyalarni qo‘llash bo‘yicha bilim va ko‘nikmalarni berish dolzarb vazifalardan biridir [1]. Energiya va resurslarni tejovchi texnologiyalarni o‘qitish o‘quvchilarda nafaqat texnik bilimlarni, balki ekologik va iqtisodiy fikrlashni ham shakllantiradi. Masalan, elektr energiyasini tejash, suv va issiqlik resurslaridan oqilona foydalanish, ishlab chiqarish chiqindilarini kamaytirish kabi masalalar kasbiy ta’lim jarayonida amaliy misollar orqali tushuntirilishi mumkin.

Kasb-hunar maktablarida energiya va resurslarni tejovchi texnologiyalarni o‘qitishning asosiy natijalaridan biri o‘quvchilarda energiya samaradorligi haqida amaliy tasavvurning shakllanishidir. An’anaviy darslarda energiya tejash tushunchasi faqat nazariy ma’lumot sifatida berilishi mumkin. Innovatsion yondashuvda esa o‘quvchi energiya sarfini bevosita o‘lchaydi, hisoblaydi va turli qurilmalarni taqqoslaydi. Masalan, o‘quvchilarga 60 W quvvatli an’anaviy chiroq va 10 W quvvatli LED chiroqni taqqoslash topshirig‘i berilishi mumkin. Agar ikkala chiroq ham bir xil vaqt ishlatilsa, ularning energiya sarfi o‘rtasidagi farqni matematik hisoblash orqali aniqlash mumkin. Bunday mashg‘ulotlar o‘quvchilarda uchta muhim kompetensiyani shakllantiradi: texnik kompetensiya- qurilmalarning ishlash prinsipini tushunish, hisoblash kompetensiyasi- energiya sarfini hisoblash va ekologik-iqtisodiy kompetensiya- energiya tejashning ekologik va iqtisodiy ahamiyatini anglash.

Kasb-hunar maktablarida energiya tejamkor texnologiyalarni o‘qitishni shartli ravishda quyidagi ketma-ketlik asosida tashkil etish mumkin:

Nazariya → Amaliy tajriba → O‘lchash → Hisoblash → Tahlil → Xulosa

Birinchi bosqichda o‘quvchilarga texnologiyaning fizik prinsipi tushuntiriladi. Ikkinchi bosqichda ular real yoki laboratoriya qurilmasi bilan ishlaydilar. Keyingi bosqichlarda o‘lchash va hisoblash ishlari bajariladi. Yakunda o‘quvchilar olingan natijalarni tahlil qilib, texnologiyaning samaradorligi haqida xulosa chiqaradilar.

Bu yondashuv an’anaviy “o‘qituvchi tushuntiradi — o‘quvchi tinglaydi” modelidan farq qiladi. Unda o‘quvchi ta’lim jarayonining faol ishtirokchisiga aylanadi [2].

Kasb-hunar maktabi bitiruvchisi kelajakda ishlab chiqarish korxonalarida, servis markazlarida, energetika tizimlarida yoki boshqa texnik sohalarda faoliyat olib borishi mumkin. Shu sababli u energiya samaradorligi va resurslardan oqilona foydalanish tamoyillarini bilishi zarur. Masalan, elektr mutaxassisi elektr qurilmalarining energiya sarfini nazorat qilishi, texnik qurilmalarni samarali ishlatishi va ortiqcha energiya sarfining oldini olishi mumkin. Mexanik yo‘nalishidagi mutaxassis esa energiya samarador mexanizmlardan foydalanish va ularning texnik holatini nazorat qilish ko‘nikmalariga ega bo‘lishi kerak. Demak, energiya tejamkorlikni o‘qitish alohida bir mavzu bilan chegaralanib qolmasdan, kasbiy fanlarning tarkibiy qismiga aylanishi lozim.

Kasb-hunar maktablarida quyosh energetikasini o‘qitish ham katta istiqbolga ega. Quyosh panellarining ishlash prinsipi fotoelektrik effekt bilan bog‘liq bo‘lib, o‘quvchilarga fizika fanidagi nazariy bilimlarni amaliy texnologiya bilan bog‘lash imkonini beradi. Energiya monitoring tizimlaridan foydalanish ham o‘quv jarayonini takomillashtiradi. Zamonaviy sensorlar yordamida elektr energiyasi sarfi, harorat, yoritilganlik va boshqa parametrlarni real vaqt rejimida kuzatish mumkin [3]. O‘quvchilar olingan

ma’lumotlarni jadval va grafiklar ko‘rinishida tahlil qilish orqali ma’lumotlar bilan ishlash ko‘nikmasini ham rivojlantiradilar.

Xulosa qilib aytganda kasb-hunar maktablarida energiya tejamkor texnologiyalarni o‘qitishni shartli ravishda quyidagi ketma-ketlik asosida tashkil etish mumkin: energiya va resurslarni tejovchi innovatsion texnologiyalarni o‘qitish zamonaviy kasbiy ta’limning muhim yo‘nalishlaridan biridir. Bunday ta’lim o‘quvchilarning texnik bilimlarini kengaytirish bilan bir qatorda ularning ekologik, iqtisodiy va kasbiy kompetensiyalarini ham rivojlantiradi. Shuningdek, energiya va resurslarni tejashga oid bilimlarning shakllanishi o‘quvchilarda tabiatga ehtiyotkor munosabat va energiya resurslaridan oqilona foydalanish madaniyatini rivojlantiradi.Umuman olganda, kasb-hunar maktablarida energiya va resurslarni tejovchi innovatsion texnologiyalarni o‘qitish kelajak mutaxassislarini tayyorlashning muhim tarkibiy qismi bo‘lib, energiya samarador va ekologik mas’uliyatli jamiyatni shakllantirishga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. A.Xodjaboev, I.Husanov. Kasbiy faoliyat metodlolgiyasi. “Fan texnologiya”, 2007.
2. R. Ishmuhamedov O‘quv jarayonida interfaol uslublar va pedagogik texnologiyalarni qo‘llash uslubiyati. – T.: RBIMM, 2008. – 68 b.
3. Ergasheva Muqaddasxon Abdumajitovna, Umirzaqova Muhtaram Olimjonovna. Profissional ta’limda fizika fanini o‘qitishda interfaol metodlarning o‘rni. Xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya. Namangan-2024.

FIZIKANI HARBIY-TEXNIK FANLAR BILAN INTEGRATSIYALASH ASOSIDA O‘QITISHDA RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR VA BILIM TRANSFERI

Ergashev Xaydar Ikramovich
Mirzo Ulug‘bek nomidagi O‘zbekiston Milliy universiteti
Harbiy tayyorgarlik o‘quv markazi katta o‘qituvchisi

Kirish. Zamonaviy harbiy texnika va texnologiyalarning konstruktiv, energetik, axborot va boshqaruv jihatidan murakkablashuvi fizika ta’limi natijalariga qo‘yiladigan talablarni yangilamoqda. Kursant tomonidan fizik qonun va formulalarning reproduktiv o‘zlashtirilishi kasbiy tayyorgarlikning yetarli ko‘rsatkichi bo‘la olmaydi. Harbiy-texnik faoliyat fizik hodisaning mohiyatini anglash, muhim parametrlarni ajratish, adekvat modelni tanlash, hisoblash yoki o‘lchash natijalarini texnik cheklovlar bilan qiyoslash va dalillangan qaror qabul qilishni talab etadi. Shu sababli fizika ta’limining natijasi faqat bilim hajmi bilan emas, balki bilim va faoliyat usullarini muayyan kasbiy vaziyatda safarbar etish hamda yangi vaziyatga transfer qila olish qobiliyati bilan tavsiflanishi lozim [1–3].

Tadqiqotning maqsadi fizikani harbiy-texnik fanlar bilan integratsiyalash asosida o‘qitishda raqamli texnologiyalar va bilim transferining didaktik imkoniyatlarini aniqlash, integrativ o‘quv mazmunini tanlash mezonlarini hamda kursant kasbiy kompetensiyasini shakllantirishga xizmat qiluvchi pedagogik shart-sharoitlarni tizimlashtirishdan iborat.

Tadqiqot metodlari. Ishda kompetensiyaviy, integrativ va kontekstli yondashuvlarga tayangan nazariy tahlil; ilmiy-pedagogik manbalarni qiyosiy tahlil qilish; fizika va harbiy-texnik fanlar o‘quv mazmunini strukturaviy-funksional qiyoslash; tushuncha va kategoriyalarni tizimlashtirish; didaktik modellashtirish; integrativ mazmun, transfer mexanizmi va pedagogik shart-sharoitlarni mantiqiy-konstruktiv loyihalash metodlaridan foydalanildi. Tadqiqotning mazkur bosqichida nazariy-metodologik natijalarni tizimlashtirish va keyingi empirik tekshiruv uchun operatsion konstruksiyalarni ishlab chiqishga ustuvorlik berildi.

Fizika va harbiy-texnik fanlar o‘rtasida barqaror mazmuniy bog‘lanishlar mavjud: mexanika texnikaning harakati va barqarorligini; termodinamika dvigatel va issiqlik tizimlarini; elektrodinamika

elektr ta’minoti, datchik va aloqa vositalarini; tebranishlar va to‘lqinlar fizikasi signal tarqalishini; optika kuzatuv va optoelektron tizimlarni; aerodinamika esa uchuvchisiz uchish apparatlarining harakatini ilmiy tushuntirish uchun asos yaratadi. Biroq fanlararo aloqadorlikning o‘zi didaktik integratsiyani anglatmaydi. Integratsiya kasbiy vazifa, fizik model, o‘quv faoliyati mahsuli va baholash mezoni funksional birlikda loyihalangandagina yuzaga keladi.

Ilmiy yangilik. Birinchidan, integrativ o‘quv mazmunini tanlash uchun «kasbiy ahamiyat → ilmiy reprezentativlik → transfer imkoniyati → o‘quv dasturiga muvofiqlik → xavfsizlik → diagnostik kuzatiluvchanlik → resurs imkoniyati» mezonlari tizimi taklif etildi. Mazkur tizim harbiy-texnik kontekstni fizik mazmunga sun’iy qo‘shishdan farqli ravishda, har bir integrativ elementning ilmiy, kasbiy, didaktik va diagnostik asoslanganligini izchil tekshirish imkonini beradi.

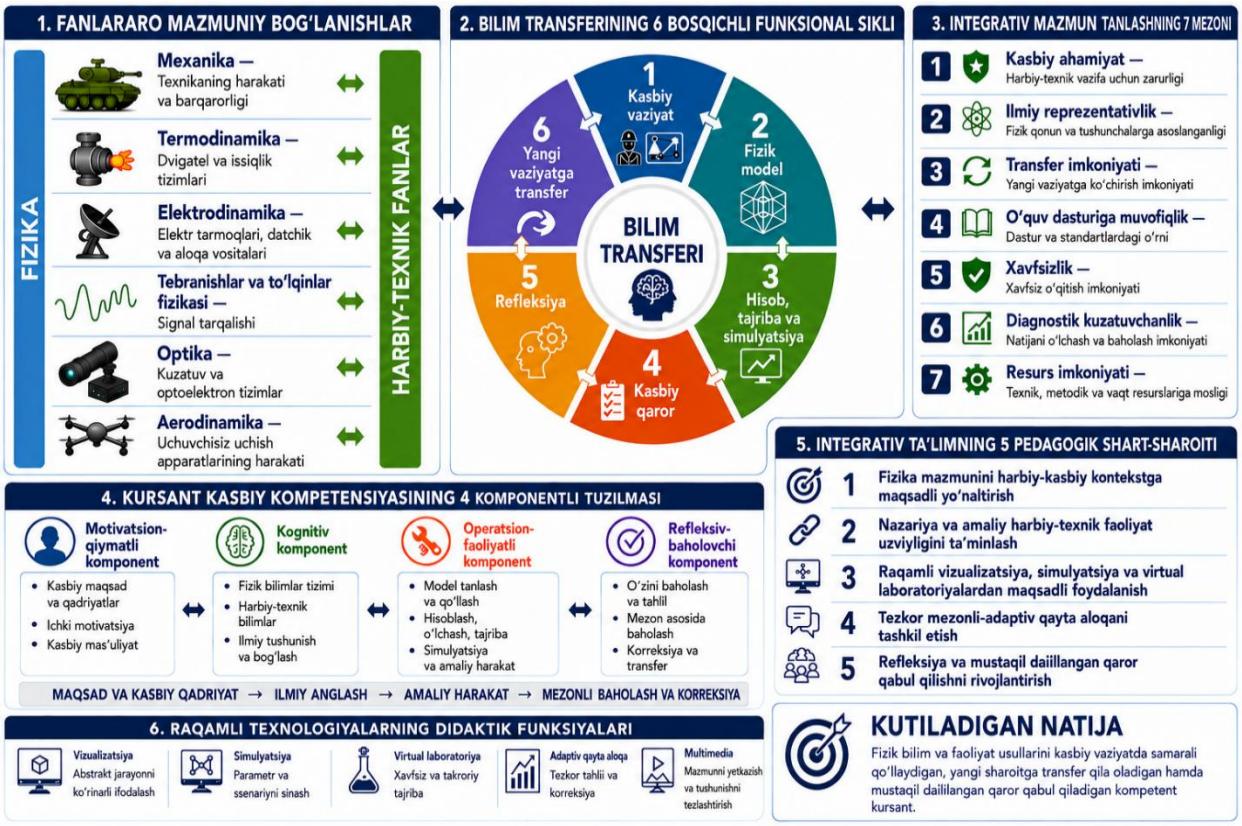
Ikkinchidan, fizik bilim va faoliyat usullarini kasbiy vaziyatga ko‘chirish integratsiyalashgan ta’limning markaziy didaktik mexanizmi sifatida asoslandi. Uning funksional mantiqi «kasbiy vaziyat → fizik model → hisob/tajriba/simulyatsiya → kasbiy qaror → refleksiya → yangi vaziyatga transfer» siklida ifodalandi. Ushbu sikl tayyor algoritmni takrorlashdan vaziyatning chuqur fizik tuzilmasini aniqlash, dalil hosil qilish va yangi sharoitda mustaqil yechim ishlab chiqishga o‘tishni ta’minlaydi [3; 4].

Uchinchidan, kursant kasbiy kompetensiyasining motivatsion-qiymatli, kognitiv, operatsion-faoliyatli va refleksiv-baholovchi komponentlardan iborat to‘rt komponentli tarkibiy-funksional tuzilmasi integrativ fizika ta’limi nuqtayi nazaridan operatsionlashtirildi. Mazkur tuzilma «maqsad va kasbiy qadriyat → ilmiy anglash → amaliy harakat → mezonli baholash va korreksiya» funksiyalarini yaxlit qamrab oladi.

To‘rtinchidan, integrativ ta’lim samaradorligini ta’minlovchi beshta pedagogik shart-sharoit tizimlashtirildi: fizika mazmunini harbiy-kasbiy kontekstga maqsadli yo‘naltirish; nazariya va amaliy harbiy-texnik faoliyat uzviyligini ta’minlash; raqamli vizualizatsiya, simulyatsiya va virtual laboratoriyalardan didaktik maqsadga muvofiq foydalanish; tezkor mezonli-adaptiv qayta aloqani tashkil etish; kursantlarni refleksiya va mustaqil dalillangan qaror qabul qilish faoliyatiga jalb etish.

Tadqiqotning nazariy natijalari. Tadqiqot natijasida: 1) integrativ mazmunni saralashning yetti mezonli mualliflik konstruksiyasi; 2) bilim transferining olti bo‘g‘inli funksional sikli; 3) kasbiy kompetensiyaning to‘rt komponentli tarkibiy-funksional tuzilmasi; 4) integrativ ta’limning beshta pedagogik shart-sharoiti ishlab chiqildi va o‘zaro bog‘landi. Natijalar «nazariy asos → didaktik mexanizm → kompetensiya komponenti → kuzatiladigan natija» mantiqida tizimlashtirildi.

Raqamli texnologiyalarning didaktik funksiyasi alohida aniqlashtirildi. Virtual laboratoriya va simulyatsiya parametrlarni boshqarish, bevosita kuzatish qiyin bo‘lgan jarayonlarni vizuallashtirish, xavfli yoki qimmat tajribalarni xavfsiz takrorlash hamda tezkor qayta aloqa olish imkonini beradi. Biroq raqamli vositalar real o‘lchash va amaliy ko‘nikmalarni to‘liq almashtirmasligi, balki nazariya, tajriba va kasbiy talqinni bog‘lovchi didaktik vosita sifatida qo‘llanishi lozim [5; 6]. Multimedia vositalarining samarasi ham texnologiyaning mavjudligi bilan emas, balki mazmunning kognitiv tamoyillar asosida izchil tashkil etilishi bilan belgilanadi [7].



1-rasm. Fizikani harbiy-texnik fanlar bilan integratsiyalash asosida o‘qitishda raqamli texnologiyalar va bilim transferining tarkibiy-funksional sxemasi (muallif ishlanmasi).

Izoh: Infografika tezisning nazariy-metodologik natijalariga asoslangan bo‘lib, fizikani harbiy-texnik fanlar bilan integratsiyalash, raqamli texnologiyalardan didaktik maqsadda foydalanish hamda bilim transferining tarkibiy-funksional mexanizmini ifodalaydi.

XULOSA

Nazariy tahlil fanlararo mazmuniy aloqadorlikning o‘zi yetarli emasligini, samarali integratsiya kasbiy vaziyat, fizik model, hisob yoki tajriba, kasbiy qaror, refleksiya va transferning yagona didaktik siklida tashkil etilishini ko‘rsatdi [3; 4]. Integrativ mazmunning yetti mezoni, kasbiy kompetensiyaning to‘rt komponenti va beshta pedagogik shart-sharoit o‘zaro bog‘liq metodik tizimni hosil qiladi. Raqamli vositalar fizik hodisani anglash, xavfsiz tajriba, qayta aloqa va refleksiyani qo‘llab-quvvatlaydi, biroq real o‘lchash hamda amaliy faoliyatni almashtirmaydi [5–7]. Taklif etilgan konstruksiyalar bilim transferini loyihalash va mezonli baholashga asos yaratadi; ularning samaradorligi tajriba-sinovda empirik tekshirilishi lozim.

TAKLIFLAR

Integrativ mazmunning yetti mezonini fan dasturi va mashg‘ulot xaritalariga joriy etib, modullarni «kasbiy vaziyat → fizik model → hisob/tajriba/simulyatsiya → kasbiy qaror → refleksiya → transfer» sikli asosida loyihalash.

Virtual laboratoriya va simulyatsiyalarni real o‘lchash, texnik qurilma bilan ishlash hamda xavfsizlikka yo‘naltirilgan amaliy mashg‘ulotlar bilan uyg‘unlashtirish.

Kasbiy kompetensiyaning to‘rt komponenti uchun «mezon → indikator → diagnostik vosita → daraja» rubrikasini ishlab chiqib, uni tezkor mezonli-adaptiv qayta aloqa bilan bog‘lash.

Model samaradorligi va diagnostik vositalarning validligi, ishonchliligi hamda baholovchilararo muvofiqligini tajriba-nazorat guruhlarida statistik tekshirish; o‘qituvchilar uchun transfer topshiriqlari va raqamli resurslardan foydalanishga doir metodik seminarlarni tashkil etish.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. OECD. The Definition and Selection of Key Competencies: Executive Summary. Paris: OECD, 2005. 20 p.
2. González J., Wagenaar R. (eds.). Tuning Educational Structures in Europe: Final Report, Phase One. Bilbao; Groningen, 2003. 316 p.
3. Perkins D.N., Salomon G. Teaching for Transfer // Educational Leadership. 1988. Vol. 46, No. 1. P. 22–32.
4. National Research Council. How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School: Expanded Edition. Washington, DC: National Academies Press, 2000. 374 p. DOI: 10.17226/9853.
5. Chmyr V., Koriekhov A., Psol S., Partyka S. Fostering Digital Transformations in Military Engineering Education: Introduction of a Technology-Enhanced Learning Environment // Problems of Education in the 21st Century. 2024. Vol. 82, No. 2. P. 162–185. DOI: 10.33225/pec/24.82.162.
6. Rosli R., Ishak N.A. Integration of Virtual Labs in Science Education: A Systematic Literature Review // Jurnal Pendidikan Sains dan Matematik Malaysia. 2024. Vol. 14, No. 1. P. 81–103. DOI: 10.37134/jpsmm.vol14.1.8.2024.
7. Mayer R.E. Multimedia Learning. 2nd ed. New York: Cambridge University Press, 2009. 304 p.

FIZIKA DARSLARIDA FORMATIV BAHOLASH ASOSIDA O‘QUVCHILARNING KONSEPTUAL TUSHUNISHINI RIVOJLANTIRISH METODIKASI

Xolmirzayev Begimqul Sulaymonovich
Muhammad al-Xorazmiy nomidagi ixtisoslashtirilgan maktabning Qarshi filiali
fizika fani o‘qituvchisi.
Email: xolmirzayevbegim@gmail.com

Ixtisoslashtirilgan maktablarda fizika fanini chuqurlashtirib o‘qitish o‘quvchining formulalar va hisoblash algoritmlarini egallashi bilangina cheklanmaydi. Bunday ta’lim muhitida o‘quvchidan fizik hodisani ilmiy izohlash, turli reprezentatsiyalarni o‘zaro bog‘lash, tajriba natijalarini tahlil qilish, matematik model tuzish va bilimni yangi vaziyatga ko‘chirish talab etiladi. Shu sababli yuqori akademik natija ko‘rsatish bilan konseptual tushunish o‘rtasidagi munosabat fizika didaktikasining muhim masalalaridan biridir.

Fizika ta’limiga oid tadqiqotlar o‘quvchining miqdoriy masalani muvaffaqiyatli bajarishi tegishli tushunchani chuqur o‘zlashtirganini anglatmaydi. Ayniqsa, kinematikada tezlik, tezlanish, koordinata, grafik qiyaligi va grafik ostidagi yuzaning fizik ma’nosini bir tizimda anglash talab etiladi. Shu bois o‘qitish jarayonida “o‘quvchi masalani yecha oldimi?” savoli bilan bir qatorda “o‘quvchi nima uchun aynan shu qonuniyatdan foydalandi va natijani qanday talqin qiladi?” savoli ham markaziy o‘rin egallashi lozim.

Formativ baholash o‘quvchining joriy bilim holati to‘g‘risida dalillar yig‘ish va ularni keyingi pedagogik qarorni moslashtirish uchun qo‘llashga asoslanadi. Maqolaning maqsadi - ixtisoslashtirilgan maktablarda fizika darslarida o‘quvchilarning konseptual tushunishini rivojlantirish uchun formativ baholashning metodik modelini ishlab chiqish va uning amaliy qo‘llanish mexanizmini asoslash.

Taklif etilayotgan modelning metodologik asosi uning hozirgi bosqichda nazariy-metodik konstruksiya sifatida talqin qilinishiga tayanadi. Model tarkibidagi mezonlar, ko‘rsatkichlar va metodik mexanizmlar O‘zbekiston ixtisoslashtirilgan maktablari sharoitiga mos ravishda ishlab chiqilgan bo‘lib, ularning amaliy samaradorligi keyingi bosqichda tashkil etiladigan empirik-pedagogik tadqiqotlar orqali aniqlanishi va ilmiy jihatdan verifikatsiya qilinishi nazarda tutiladi. Fizik tushuncha birgina ta’rif yoki formuladan iborat emas. Masalan, tezlanishni o‘zlashtirish uchun o‘quvchi uning tezlikning vaqt bo‘yicha o‘zgarishiga bog‘liqligi, vektor xususiyati, yo‘nalishning tanlangan koordinata tizimiga bog‘liqligi, v-t va a-t grafiklari

bilan munosabati hamda real harakatda qanday namoyon bo‘lishini bir butun bilim tizimida anglay olishi kerak.

Kinematikada kundalik tajriba asosida shakllangan tasavvurlar ayniqsa barqaror bo‘lishi mumkin. Masalan, jism oldinga harakat qilayotgan bo‘lsa, tezlanish ham albatta oldinga yo‘naladi degan intuitiv qarash o‘quvchini xatoga olib keladi. Bunday vaziyatda noto‘g‘ri javobni shunchaki “xato” deb belgilash yetarli emas; o‘qituvchi xatoning manbaini aniqlashi va o‘quvchiga o‘z bilim modelini qayta qurish imkonini berishi lozim.

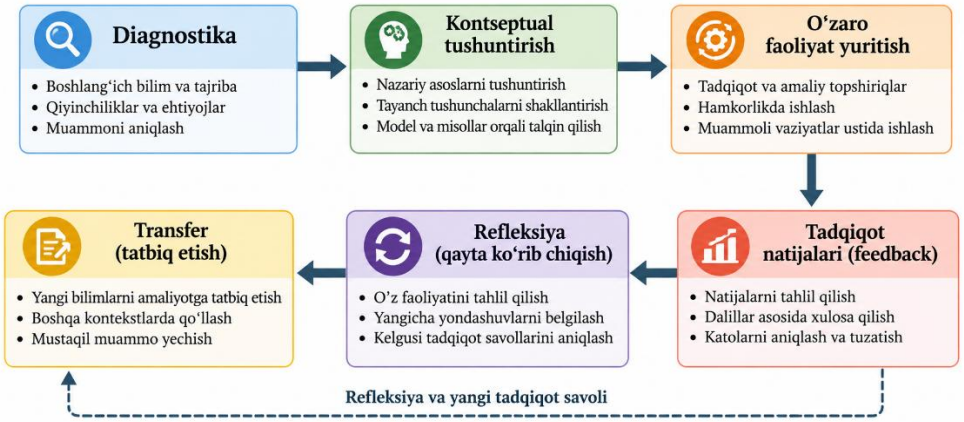
Diagnostik savolning didaktik qiymati shundaki, u o‘quvchining yashirin konseptual modelini yuzaga chiqaradi. Shuning uchun distractorlar tasodifiy emas, balki real noto‘g‘ri tasavvurlarni aks ettirishi kerak. Bu yondashuv o‘qituvchiga sinfdagi dominant tushunmovchiliklarni aniqlash va keyingi tushuntirishni umumiy emas, maqsadli tashkil etish imkonini beradi.

Taklif etilayotgan model olti ketma-ket bosqichdan iborat: diagnostika, konseptual faollashtirish, o‘zaro muhokama, tezkor feedback, refleksiv korreksiya va transfer. Modelda baholash darsning yakuni sifatida emas, balki o‘qitishni keyingi bosqichga yo‘naltiruvchi axborot manbai sifatida qaraladi.

Masalan, “Jism o‘ng tomonga harakatlanmoqda, biroq uning tezligi kamaymoqda. Tezlanish qaysi tomonga yo‘nalgan?” savoli katta hisoblash talab qilmaydi, ammo tezlik va tezlanish vektorlarini farqlashni talab etadi. Dastlab o‘quvchilar mustaqil javob beradi; so‘ng javoblar taqsimoti aniqlanadi, to‘g‘ri javob esa darhol ochilmaydi. O‘quvchilar o‘z qarorini dalillar bilan asoslaydi va muhokamadan so‘ng qayta javob beradi.

Keyingi bosqichda shu konsept miqdoriy vaziyatga ulanadi. Masalan, $v_0 = 20$ m/s, $v = 5$ m/s va $t = 10$ s bo‘lsa, $a = -1.5$ m/s². Hisoblashdan keyin o‘quvchidan “manfiy ishora nimani anglatadi?”, “bu natijadan harakat yo‘nalishini to‘g‘ridan-to‘g‘ri aniqlash mumkinmi?” va “agar koordinata o‘qi teskariga yo‘naltirilsa, ifodalar qanday o‘zgaradi?” kabi savollarga javob berish talab etiladi. Shu tariqa matematik natija fizik interpretatsiya bilan bog‘lanadi.

Ixtisoslashtirilgan maktab o‘quvchisi uchun transfer bosqichida masala boshqa reprezentatsiyada berilishi maqsadga muvofiq: grafik, jadval, video kuzatuv ma’lumoti yoki real harakat tavsifi. Bu o‘zlashtirishni standart topshiriqni takrorlashdan farqlaydi.



1-rasm. Ixtisoslashtirilgan maktablar uchun formativ baholashning konseptual sikli

O‘zbekiston ixtisoslashtirilgan maktablarida fizika ta’limini tashkil etishda konseptual savollardan foydalanish muhim metodik vosita hisoblanadi, biroq ularni shunchaki muntazam qo‘llashning o‘zi to‘liq formativ baholashni anglatmaydi. Bunday savollar, avvalo, o‘quvchilarning fizik tushunchalarni qay darajada anglagani, qanday xatolar va muqobil tasavvurlar mavjudligi haqida diagnostik ma’lumot beradi. Ushbu ma’lumotlar asosida o‘qituvchi tezkor qayta aloqa tashkil etib, o‘quvchilarning reflektiv faoliyatini yo‘lga qo‘yishi va keyingi topshiriq hamda o‘qitish strategiyalarini individual ehtiyojlarga moslashtirishi

zarur. Shu jihatdan ixtisoslashtirilgan maktablarda formativ baholashning samaradorligi konseptual savol – diagnostika – feedback – refleksiya – moslashtirilgan o‘qitish uzviyligi orqali ta’minlanadi.

Bosqich	Asosiy maqsad	O‘quvchi faoliyati	O‘qituvchi faoliyati
Diagnostika	Mavjud bilim va misconceptionni aniqlash	Individual javob beradi	Javoblar strukturasini tahlil qiladi
Faollashtirish	Konseptual ziddiyat yaratish	Taxmin va tushuntirish beradi	Muammoli vaziyat yaratadi
Muhokama	Fizik dalillashni rivojlantirish	Fikrini himoya qiladi va taqqoslaydi	Moderator bo‘ladi
Feedback	Xatoning sababini aniqlash	Javobini qayta ko‘rib chiqadi	Yo‘naltiruvchi qayta aloqa beradi
Refleksiya	Bilim modelini qayta tashkil etish	Nima o‘zgarganini izohlaydi	Refleksiyani boshqaradi
Transfer	Bilimni yangi vaziyatga ko‘chirish	Notanish topshiriqni bajaradi	Yangi kontekst beradi

Mazkur modelning ilmiy-metodik yangiligi xalqaro tajribadagi formativ baholash mexanizmlarini ixtisoslashtirilgan maktabning yuqori kognitiv talablariga moslashtirish, transfer bosqichini majburiy element sifatida kiritish va noto‘g‘ri javobni baho uchun emas, keyingi ta’lim qarori uchun diagnostik signal sifatida talqin qilishdan iborat.

Ixtisoslashtirilgan maktablarda fizika ta’limining yuqori sifati o‘quvchilarning faqat ko‘p masala yechishi bilan emas, fizik tushunchalarni chuqur anglash, ularni turli reprezentatsiyalar bilan bog‘lash va yangi vaziyatga transfer qilish qobiliyati bilan belgilanadi. Taklif etilgan “diagnostika - konseptual faollashtirish - o‘zaro muhokama - tezkor feedback - refleksiv korreksiya - transfer” modeli baholashni o‘quv jarayonining yakuniy elementi emas, balki uning boshqaruv mexanizmi sifatida tashkil etishga yo‘naltirilgan.

Kelgusida modelni ixtisoslashtirilgan maktablarda pre-test, post-test va kechiktirilgan transfer testi asosida empirik tekshirish, konseptual tushunish va miqdoriy masala yechish o‘rtasidagi bog‘lanishni aniqlash hamda turli fizika bo‘limlarida metodikaning barqarorligini baholash maqsadga muvofiq.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Lichtenberger, A., Hofer, S. I., Stern, E., & Vaterlaus, A. (2025). Enhanced conceptual understanding through formative assessment: Results of a randomized controlled intervention study in physics classes. Educational Assessment, Evaluation and Accountability, 37, 5–33. https://doi.org/10.1007/s11092-024-09445-6

2. Maxmanov E. B. Fizikadan masalalar yechish orqali talabalarning fizik kompetentligini oshirish // Mug‘allim hem uzliksiz bilimlendirio‘. – 2020. – № 5.1. – B. 113–118.

3. Ишмуродова Г. И., Махманов Э. Б. Физика фанидан лаборатория машғулотларини инновацион ёндашув асосида ўтказиш // Современное образование (Узбекистан). – 2019. – № 8 (81). – С. 16–22.

4. Махманов Э. Б. Физика таълими жараёнида талабаларнинг ўқув компетенцияларини ривожлантириш // A ILM. – Б. 75.

5. Maxmanov E. B. Fizikadan masalalar yechishda algoritmlar tuzish orqali fizikadan amaliy kompetentligini rivojlantirish // Образование и наука в XXI веке. – 2024.

ZAMONAVIY FIZIKA TA’LIMIDA MULTIMEDIA TAQDIMOTLARI VA INNOVATSION TEXNOLOGIYALARIDAN FOYDALANISH

Farg’ona davlat universiteti
Yakubova Shohidaxon Kadirovna, dotsent
sh.k.yakubova@pf.fdu.uz
Farg’ona davlat universiteti
Samadova Manzura, talaba

Zamonaviy fizika ta’limida innovatsion texnologiyalari maktab fizika kursida yangi mavzuni tushuntirish, bilimlarni mustahkamlash, masalalar yechish, fizik jarayonlarni modellashtirish, hodisalarni vizuallashtirish hamda o‘quvchilarning mustaqil ishlarini tashkil etishda samarali qo‘llanilishi mumkin. Fizika fanini o‘qitishda multimedia taqdimotlari, innovatsion texnologiyalari o‘quv videomateriallari, fizik hodisalarning animatsion modellari, elektron o‘quv qo‘llanmalar, ta’lim dasturlari, virtual trenajyorlar, internet resurslari, raqamli laboratoriya majmualari hamda kompyuterlashtirilgan o‘lchash tizimlarini, jumladan, L-micro laboratoriyasini o‘z ichiga olishi mumkin. Fizika darslarida multimedia taqdimoti innovatsion texnologiyalaridan foydalanishning eng ommabop vositalaridan biridir. U o‘quv materiallarini tartibli va tizimli shaklda taqdim etish, asosiy tushunchalarni ajratib ko‘rsatish, sxemalar, grafiklar, rasmlar, animatsiyalar va videolar orqali mavzuni yanada tushunarli izohlash imkonini beradi.

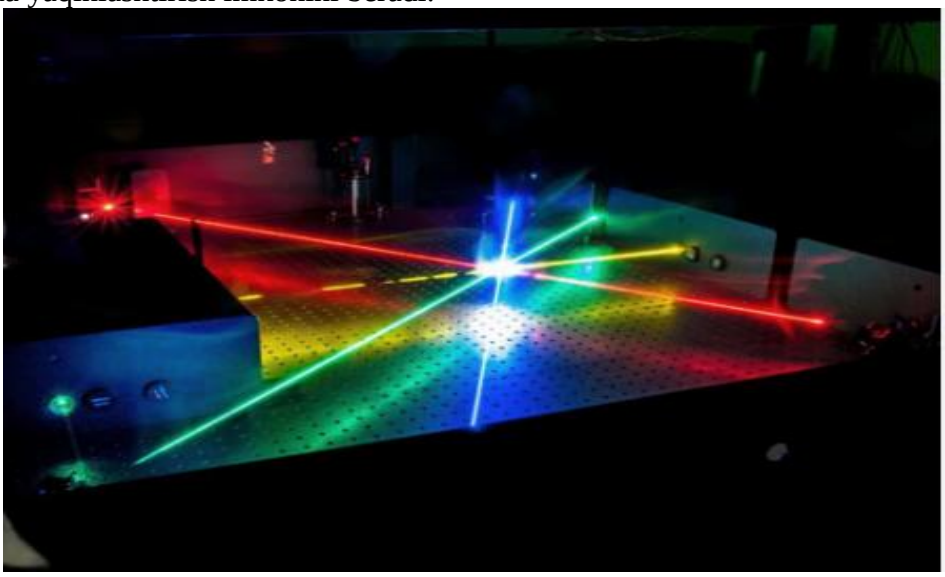
Multimedia taqdimot turi maktab o‘quvchilarida katta qiziqish uyg‘otadi, chunki u o‘quvchilarni o‘z g‘oyalaridan foydalanishga, mustaqil izlanishga va fizik jarayonlarni chuqurroq anglashga undaydi. Bunday mashg‘ulotlarda ular kompyuter tajribalarini o‘tkazadilar, ilmiy farazlarni tekshiradilar, tajribaning boshlang‘ich sharoitlarini o‘zgartiradilar, natijalarni oladilar va ular asosida ilmiy xulosalar chiqaradilar. Bunday muhitda an’anaviy laboratoriya mashg‘ulotlarida shakllanadigan ko‘nikmalar ham rivojlanadi. Zamonaviy fizika laboratoriya mashg‘ulotlarini tashkil etishning asosiy vositalaridan biri sifatida L-micro laboratoriya majmuasini misol keltirish mumkin (1-rasm).

1-rasm. L-micro laboratoriya majmuasi

Ushbu majmua o‘zaro bog‘langan eksperimental jihozlar tizimi bo‘lib, namoyish qurilmalari, laboratoriya to‘plamlari hamda o‘quv fizik tajribalarini o‘tkazish uchun mo‘ljallangan asbob-uskunalarni o‘z ichiga oladi. Mazkur tizimning asosini o‘lchash bloki bilan ulangan shaxsiy kompyuter tashkil etadi. O‘lchash blokiga turli fizik kattaliklarni o‘lchaydigan datchiklar ulanadi. Tajriba natijalari grafiklar, diagrammalar yoki jadvallar ko’rinishida olinishi mumkin. Bu esa natijalarni tahlil qilish va talqin etishni sezilarli darajada osonlashtiradi. Shuningdek, tajriba davomida ma’lumotlarni avtomatik ravishda qayd etish hisobiga o‘lchashlarning aniqligi va ularni qayta ishlash tezligi bir necha baravar oshadi.

Hozirgi vaqtda ishlab chiqarilayotgan L-micro seriyasidagi jihozlar yagona eksperimental muhitni tashkil etadi. Ular namoyish uskunalari, laboratoriya ishlari va fizika praktikumi uchun mo‘ljallangan

to‘plamlarni birlashtiradi. Ushbu tizimning markazida o‘lchash bloki bilan jihozlangan shaxsiy kompyuter joylashgan bo’lib, o‘lchashlarni amalga oshirish uchun turli fizik kattaliklarni o‘lchovchi datchiklar o‘lchash blokiga ulanadi. L-micro kompaniyasi fizika va kimyo fanlarini o‘rganayotgan o‘quvchilar, shuningdek, biologiya, geografiya, tillar va boshqa tabiiy hamda texnologik yo‘nalishlarda tahsil olayotgan talabalar uchun sinf xonalari va laboratoriyalarda foydalanishga mo‘ljallangan keng turdagi o‘quv jihozlari hamda ta’lim texnologiyalarini ishlab chiqaradi. Bu murakkabroq kuzatishlarni amalga oshirish, tajriba natijalarini qayta ishlashni soddalashtirish hamda o‘quvchilarning ilmiy-tadqiqot faoliyatini haqiqiy ilmiy izlanishlarga yanada yaqinlashtirish imkonini beradi.



2-rasm. Elements of Big Science - bu fundamental fanlar: fizika, biologiya, kimyo va matematika haqida mashhur veb-sayt.

Elementy.ru sayti ilmiy-ta’lim yo‘nalishidagi asosiy internet resurslaridan biri hisoblanadi (2-rasm). Unda umumiy ilmiy mavzular bilan bir qatorda murakkab texnik tizimlarning tuzilishini o‘rganishga, ularning alohida ish parametrlarini sozlashga hamda o‘rganilayotgan jarayonlarning nazariy asoslarini interaktiv usulda o‘zlashtirishga xizmat qiluvchi materiallar ham mavjud.

Zamonaviy fizika ta’limiga innovatsion *texnologiyalarini joriy etish ikki asosiy maqsadni ko’zlaydi:* o‘quvchilarning bilishga bo’lgan qiziqishi va faolligini rivojlantirish; o‘qituvchilarni raqamli ta’lim muhitida samarali faoliyat yuritishga kasbiy jihatdan tayyorlash.

Innovatsion texnologiyalaridan samarali foydalanish uchun o‘qituvchi quyidagi ko‘nikmalarga ega bo‘lishi zarur: matn, grafik, sonli ma’lumotlar va audio materiallar bilan ishlash; tegishli muharrirlar va zamonaviy dasturiy vositalardan foydalanish; multimedia taqdimotlarini yaratish; fizika faniga oid mavjud dasturiy ta’minotdan foydalanish; ta’lim jarayonini raqamli vositalar yordamida boshqarish; internet tarmog‘idan ta’limga oid axborotlarni maqsadli ravishda izlash va ulardan samarali foydalanish. Shu bilan birga, o‘qituvchilarning bo’yicha kasbiy tayyorgarligini oshirish raqamli vositalardan samarali foydalanishning eng muhim shartlaridan biridir.

ADABIYOTLAR:

1.Баженова, Г.А. Информационные технологии в образовании: теория и практика применения. — М.: Академия, 2020. — 232 с.

2.Полат, Е.С., Бухаркина, М.Ю., Моисеева, М.В. Современные педагогические и информационные технологии в системе образования. — М.: Академия, 2021. — 368 с.

3. Ш. Якубова, Х. Хошимов, М. Кадыралив. Использование ИКТ в преподавании уроков технологии. O’zbekistonda fanlararo innovatsiyalar va ilmiy tadqiqotlar jurnali. USSN: 2181 – 3302. 2022 20 iyun 9-son.

4.Якубова Шохидахон Кадировна, Камолидинов Нуридин Субхонидинович. Применение информационных технологий на уроках физики при выполнении лабораторных работ в средних школах. ISSN 2181 1571. Научный вестник. ФерГУ. 3/2025.

ATOM FIZIKASINING DOLZARB MUAMMOLARINI O‘QITISHDA REFLEKTIV PEDAGOGIK TEXNOLOGIYALARNI QO‘LLASH VA ULARNING SAMARADORLIGI

Yo.A. Mamatoxunov, p.f.f.d. PhD. Dotsent. Andijon davlat universiteti
M.A.Ne`matova, magistr. Andijon davlat universiteti
Email: nematovamahliyo47@gmail.com)

Zamonaviy ta’lim tizimida fanlarni o‘qitish sifatini oshirish davlat siyosatining ustuvor yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Xususan, aniq fanlar, jumladan fizika ta’limida o‘quvchilarning nafaqat nazariy bilimlarni egallashi, balki mustaqil fikrlash, tahlil qilish va o‘z bilim faoliyatini boshqarish qobiliyatini rivojlantirish muhim vazifa bo‘lib qolmoqda.

Atom fizikasi bo‘limi — kvant holatlari, elektron bulutlari, yadro reaksiyalari, radioaktivlik qonuniyatlari kabi yuqori darajada mavhumlashtirilgan tushunchalarni o‘z ichiga oladi. Bu mavzularni an’anaviy, tushuntirish-yodlash usulida o‘qitish o‘quvchilarda ko‘pincha yuzaki, mexanik bilimlarning shakllanishiga olib keladi, chuqur tushunish va amaliy tatbiq etish ko‘nikmalari esa yetarli darajada rivojlanmay qoladi. Bu muammoni hal etishning samarali yo‘llaridan biri — o‘quv jarayoniga reflektiv pedagogik texnologiyalarni tatbiq etishdir. Reflektiv yondashuv o‘quvchini o‘z bilim faoliyati ustidan kuzatuv olib borishga, o‘zlashtirgan va o‘zlashtirmagan jihatlarini anglashga, shu orqali bilimni ongli ravishda mustahkamlashga undaydi. Shu bois atom fizikasining dolzarb mavzularini o‘qitishda reflektiv texnologiyalarning samaradorligini ilmiy asoslash dolzarb pedagogik-metodik muammo sifatida belgilandi.

Kvant fizikasi bo'limini o'qitish jarayonida zamonaviy interfaol ta'lim texnologiyalarini unumli qo'llash o'quvchilarning mantiqiy fikrlash qobiliyatini rivojlantirishda muhim ahamiyat kasb etadi. Xususan, dars jarayonida qo'llanilgan quyidagi reflektiv texnologiya elementlari qo‘llanildi. "Insert" (AQL/BBB) va "Klaster" usullari o'quvchilarning mavjud bazaviy bilimlarini Bor postulatlari, de Broyl to'lqinlari kabi murakkab yangi tushunchalar bilan tizimli bog'lashga xizmat qiladi.

"Insert" usuli o'quvchilarga o'z bilimlarini muntazam tahlil qilish, o'zlariga noma'lum bo'lgan fizik hodisalarni aniqlash imkonini beradi. "Klaster" usuli esa zarracha-to'lqin dualizmi hamda atomning kvant modellariga oid tushunchalarni yaxlit mantiqiy zanjirga birlashtirish orqali mavzu mohiyatini chuqur anglashga yordam beradi.

"Bilaman — bilishni xohlayman — bilib oldim" (BBB) jadvali zamonaviy pedagogik texnologiyalar orasida o'quvchining bilim olish jarayonini izchil kuzatib borishga imkon beruvchi samarali metodlardan biri hisoblanadi. Yadro reaksiyalari va termoyadro sintezi kabi murakkab mavzularni o'rganishda ushbu jadval uch bosqichli tizim asosida qo'llaniladi. Dars boshida o'quvchilar jadvalning birinchi ustuni — "Bilaman" bo'limini to'ldirib, mavzu yuzasidan o'zlarida mavjud bo'lgan dastlabki bilim va tasavvurlarni yozma ravishda ifodalaydilar. Bu bosqich o'qituvchiga har bir o'quvchining boshlang'ich bilim saviyasini aniqlash va darsni shu asosda loyihalashtirish imkonini beradi. Ikkinchi ustun — "Bilishni xohlayman" bo'limi orqali o'quvchilar mavzu bo'yicha o'zlarini qiziqtirgan savollarni shakllantiradilar, bu esa ularda mustaqil izlanishga bo'lgan ehtiyoj va motivatsiyani kuchaytiradi. Dars yakunida esa jadvalning uchinchi ustuni — "Bilib oldim" qismi to'ldiriladi, unda o'quvchilar dars davomida o'zlashtirgan yangi bilim va tushunchalarni bayon etadilar.

Shu tariqa, BBB jadvali o'quvchilarda tanqidiy fikrlash, o'z bilimini refleksiya qilish va yangi ma'lumotni ongli ravishda o'zlashtirish ko'nikmalarini shakllantirib, yadro fizikasi kabi murakkab va abstrakt mavzularni tushunarli hamda tizimli tarzda o'rganishga xizmat qiladi. Refleksiv kundalik va "besh daqiqalik insho usullari o'quvchilarning o'z bilim va tushunchalarini mustaqil tahlil qilish, shuningdek, o'zlashtirish jarayonidagi kamchiliklarni aniqlash imkonini beruvchi samarali interfaol usullardan hisoblanadi. Ushbu usullar dars yakunida qo'llanilib, o'quvchilarga o'tilgan mavzu bo'yicha o'z fikr-mulohazalarini erkin va ixcham shaklda yozma bayon etish imkonini yaratadi.

"Besh daqiqalik insho" metodi asosida o'quvchilar belgilangan qisqa vaqt (besh daqiqa) ichida dars davomida o'rganilgan asosiy tushunchalar, formulalar yoki qonuniyatlar haqida o'z so'zlari bilan qisqacha yozma fikr bildiradilar. Bunda ular, odatda, ikkita savolga javob berishga yo'naltiriladi: "Bugungi darsda men nimani o'rgandim?" va "Menda hali qanday savollar qolmoqda?". Ushbu yondashuv o'quvchining fikrlash jarayonini erkin, hech qanday qat'iy shablonga bog'lanmagan holda ifodalashiga sharoit yaratadi. Refleksiv kundalik esa mazmunan chuqurroq va davomiyroq yondashuv bo'lib, o'quvchilar unda nafaqat o'zlashtirgan bilimlarini, balki mavzuni tushunish jarayonida duch kelgan qiyinchiliklarni, o'z fikrlash yo'lini va ushbu bilimlarning amaliy ahamiyati haqidagi mulohazalarini ham bayon etadilar. Bu esa o'quvchida o'z-o'zini kuzatish (metakognitiv) ko'nikmalarining rivojlanishiga xizmat qiladi. Ushbu ikki usulning birgalikda qo'llanilishi o'qituvchiga muhim afzallik beradi: yozma ishlarni tahlil qilish orqali har bir o'quvchining mavzuni qay darajada tushunganligi, qaysi jihatlar hali noaniq yoki chalkash qolganligi aniq ko'rinadi. Natijada o'qituvchi keyingi darslarni rejalashtirishda aynan shu bo'shliqlarga alohida e'tibor qaratish, zarur bo'lsa qo'shimcha tushuntirish yoki mashqlar kiritish imkoniyatiga ega bo'ladi. Shu bilan birga, o'quvchilarning o'zlari ham o'z bilim darajasini ob'ektiv baholash va mustaqil ravishda bilim bo'shliqlarini to'ldirishga bo'lgan mas'uliyatni his qiladilar. Guruhli muhokama va "debat" texnologiyasi o'quvchilarda mustaqil fikrlash, o'z pozitsiyasini ilmiy asoslar bilan himoya qilish hamda muqobil qarashlarni hurmat qilgan holda tahlil qilish ko'nikmalarini shakllantiruvchi samarali interfaol usullardan biri hisoblanadi.

Ushbu texnologiya atom energetikasining dolzarb muammolari, xususan, ekologik xavfsizlik va radioaktiv chiqindilarni utilizatsiya qilish masalalarini o'rganishda muvaffaqiyatli qo'llanildi.Dars jarayonida o'quvchilar ikki yoki bir necha guruhga bo'linib, atom energetikasiga oid muammoli masalalar bo'yicha qarama-qarshi nuqtai nazarlarni himoya qildilar. Masalan, "Atom elektr stansiyalarini qurish ekologik jihatdan maqsadga muvofiqmi?" yoki "Radioaktiv chiqindilarni saqlashning mavjud usullari xavfsizmi?" kabi muammoli savollar asosida guruhlar o'z dalillarini shakllantirdilar. Har bir guruh o'z fikrini himoya qilishda nafaqat umumiy mulohazalarga, balki aniq ilmiy hisob-kitoblar, statistik ma'lumotlar va me'yoriy ko'rsatkichlarga (masalan, radiatsiya dozasi, chiqindilarning yarim yemirilish davri, energiya samaradorligi koeffitsientlari) tayanishga harakat qildilar.Debat jarayonida o'quvchilar bir-birlarining dalillariga savol berish, raqib guruhning fikrlaridagi zaif jihatlarni aniqlash va o'z pozitsiyasini qo'shimcha argumentlar bilan mustahkamlash imkoniyatiga ega bo'ldilar. Bu esa ularda tanqidiy fikrlash, tezkor qaror qabul qilish va ommaviy nutq so'zlash ko'nikmalarining rivojlanishiga xizmat qildi.

Ushbu usulning qo'llanilishi natijasida o'quvchilar atom energetikasi mavzusini nafaqat nazariy jihatdan, balki uning ijtimoiy-ekologik ahamiyati va amaliy muammolari nuqtai nazaridan ham chuqur anglab yetdilar. Bundan tashqari, ilmiy dalillarga asoslangan fikr yuritish ko'nikmasi shakllanib, o'quvchilarda fanga bo'lgan qiziqish va mas'uliyat hissi kuchaydi.

Tajriba guruhida (an’anaviy usulda o‘qitilgan nazorat guruhiga nisbatan) o‘zlashtirish darajasi o‘rtacha 18% –22 % ga oshgani, mavzuni mustaqil tahlil qilish va amaliy masalalarni yechish ko‘nikmalari sezilarli yaxshilanganligi aniqlandi. So‘rovnoma natijalariga ko‘ra, o‘quvchilarning 85 % dan ortig‘i

O'tkazilgan tadqiqot atom fizikasining dolzarb mavzularini o'qitishda reflektiv pedagogik texnologiyalarning yuqori samaradorligini tasdiqladi. Tajriba natijalari shuni ko'rsatdiki, reflektiv

yondashuvlar — "Insert" va "Klaster" usullari, BBB jadvali, refleksiv kundalik, "besh daqiqalik insho" hamda guruhli muhokama va debat texnologiyalari — o'quvchilarni tayyor bilimni passiv qabul qiluvchidan o'z bilish jarayonini anglovchi faol subyektga aylantiradi. Buning natijasida tajriba guruhida o'zlashtirish darajasi nazorat guruhiga nisbatan 18–22 % ga oshdi, o'quvchilarning 85 % dan ortig'i esa bu usullar mavzuni chuqurroq va ongli anglashga yordam berganini qayd etdi.

Bu texnologiyalarning asosiy qiymati faqat bilim sifatini oshirishda emas, balki o'quvchida bir qator muhim kompetensiyalarni shakllantirishda namoyon bo'ladi. Tanqidiy fikrlash va mustaqil tahlil — o'quvchi hodisani turli nuqtai nazardan baholash, ma'lumotlarni qiyoslash va mustaqil xulosalar chiqarish qobiliyatiga ega bo'ladi. Ichki motivatsiya — o'z fikrini bildirish, xatolarini anglash va tuzatish imkoniyati o'quvchining fanga bo'lgan qiziqishini kuchaytiradi. Metakognitiv qobiliyatlar — o'z bilim faoliyatini mustaqil baholash, nazorat qilish va boshqarish ko'nikmalari rivojlanadi, bu esa zamonaviy ta'limning eng muhim maqsadlaridan biridir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.120-bet.
2. Bruner, J. S. (1966). *Toward a Theory of Instruction*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
3. M'aminov, T. M., Xoliqulov, A. B., & Xushmurodov, Sh. X. (2009). *Atom yadrosi va zarralar fizikasi*. Toshkent: "O‘zbekiston faylasuflari milliy jamiyati" nashriyoti. 354-bet.
4. To'rayev, EY. (2020). *Fizika o‘qitish metodikasi*. Toshkent: "Sano-standart" nashriyoti.139-bet.
5. Ahmad, J. (2019). *Pedagogy of Science: Reflective Practices*. New Delhi: SAGE Publications.185-bet.

IKKI O‘LCHAMLI POTENSIAL O‘RA MODELINI KOMPYUTER MODELLASHTIRISH ORQALI O‘QITISH

Zaynabidinov S.Z[1]. Muxtarov E.K[2].
[1]Andijon davlat universiteti, Kondensirlangan muhitlar fizikasi kafedrasi professori, O‘zR FA akademigi
[2]Andijon davlat universiteti Umumiy fizika kafedrasi dotsenti

Nanoo‘lchamli kristall va yarimo‘tkazgich strukturalarda elektronlarning harakati klassik mexanika qonunlari bilan to‘liq tavsiflanmaydi. Qurilma o‘lchamlari elektronning to‘lqin xususiyatlari bilan taqqoslanadigan darajaga kelganda kvant effektlari muhim ahamiyat kasb etadi. Bunday jarayonlarni o‘rganishda potensial o‘ra modelidan foydalanish mumkin.

Ikki o‘lchamli potensial o‘ra - elektronning x va y koordinatalar bo‘yicha ma’lum bir sohada harakatlanishi cheklangan kvant-mexanik modeldir. Tomonlari L_x va L_y bo‘lgan to‘g‘ri to‘rtburchak shaklidagi o‘ra uchun potensial energiya quyidagicha ifodalanadi [1]:

$$U(x,y) = \begin{cases} 0, & 0 < x < L_x, 0 < y < L_y \\ \infty, & boshqa\ sohalarda \end{cases}$$

Bunda elektron faqat potensial o‘ra ichida harakatlana oladi, uning tashqariga chiqishi ideal modelda taqiqlangan hisoblanadi.

Shredinger tenglamasini ushbu sistema uchun yechish natijasida elektron energiyasi uzluksiz emas, balki diskret qiymatlarga ega bo‘lishi aniqlanadi [2]:

$$E_{n_x,n_y} = \frac{\hbar^2\pi^2}{2m}\left(\frac{n_x^2}{L_x^2} + \frac{n_y^2}{L_y^2}\right)$$

bu yerda m - elektron massasi, $\hbar$ - Plank doimiysi, L_x va L_y - potensial o‘raning o‘lchamlari, n_x va n_y kvant sonlari.

Ushbu ifodadan ko‘rinib turibdiki, elektronning energiyasi o‘ra o‘lchamlariga bevosita bog‘liq. Nanoo‘lchamli strukturaning geometrik parametrlarini o‘zgartirish orqali elektronning energetik holatlarini boshqarish mumkin.

Ikki o‘lchamli potensial o‘rada elektronning holati nafaqat uning energiyasi, balki fazodagi to‘lqin funksiyasi orqali ham tavsiflanadi. To‘g‘ri to‘rtburchak shaklidagi potensial o‘ra uchun Shredinger tenglamasining statsionar yechimi quyidagi ko‘rinishga ega:

$$\psi_{n_x,n_y}(x,y) = \frac{2}{\sqrt{L_x L_y}} sin\left(\frac{n_x \pi x}{L_x}\right) sin\left(\frac{n_y \pi y}{L_y}\right)$$

Elektronni fazoning ma’lum bir nuqtasida topish ehtimolligi zichligi to‘lqin funksiyasining moduli kvadrati bilan aniqlanadi:

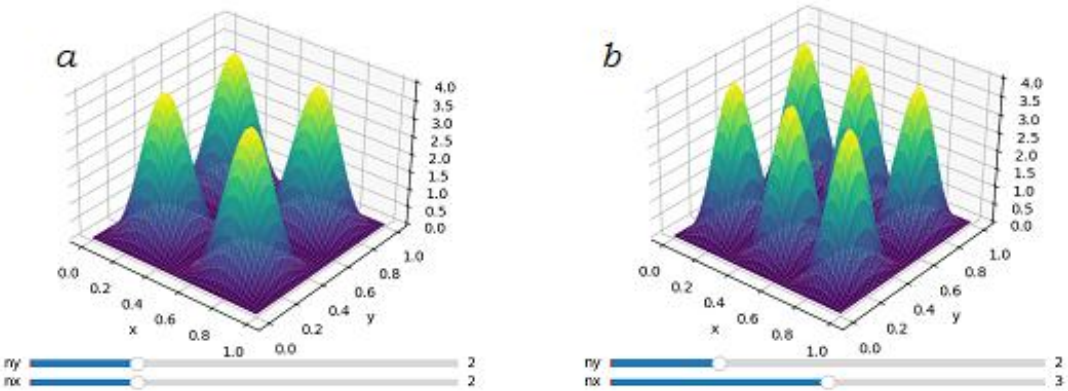
$$\rho(x,y) = \left|\psi_{n_x,n_y}(x,y)\right|^2$$

Ikki o‘lchamli potensial o‘ra modeli nanoqatlamlar, kvant nuqtalari, kvant simlari va boshqa nanostrukturalarda kuzatiladigan kvant cheklanish hodisasini tushuntirish uchun muhim nazariy model hisoblanadi. Uning yana bir muhim xususiyati - energiya sathlarining geometrik o‘lchamlar orqali boshqarilishi. Bu xususiyat mikro va nanoelektronika uchun muhim bo‘lib, nanoqurilmalarning elektr va optik parametrlarini maqsadli o‘zgartirish imkonini beradi.

Real kristall sistemalarda potensial chegaralari ideal holatdagidek cheksiz bo‘lmasligi, kristall nuqsonlari va interfeys holatlari mavjud bo‘lishi mumkin. Shu sababli real nanostrukturalarni tahlil qilishda mazkur modelni murakkabroq kvant-mexanik modellar bilan to‘ldirish talab etiladi.

Ikki o‘lchamli potensial o‘ra modelini o‘rganish uchun interaktiv kompyuter modeli ishlab chiqildi (1-rasm). Modelda to‘rtta parametrlar boshqariladi: L_x va L_y - o‘raning geometrik o‘lchamlari, n_x va n_y - kvant sonlari. Har bir parametr o‘zgartirilganda grafik real vaqtda qayta hisoblanib, ekranda yangilanadi [3].

Model uchta grafikni hosil qiladi. Birinchi grafik energiya satrlarini ko‘rsatadi: E_{n_x,n_y} qiymatlari n_x va n_y ga bog‘liq holda ustunlar shaklida tasvirlanadi. Ikkinchi grafik to‘lqin funksiyasining fazoviy taqsimotini ko‘rsatadi: $\psi_{n_x,n_y}(x,y)$ funksiyasining musbat va manfiy sohalari ranglar bilan ajratiladi. Uchinchi grafik ehtimollik zichligini ko‘rsatadi: $\left|\psi_{n_x,n_y}(x,y)\right|^2$ qiymatining fazoviy taqsimoti issiqlik xaritasi shaklida beriladi.



1-rasm. $\psi_{2,2}(x,y)$ holat uchun ehtimollik zichligi grafigi (*a*),
$\psi_{3,2}(x,y)$ holat uchun ehtimollik zichligi grafigi (*b*).

Model bilan ishlash jarayoni to‘rt bosqichdan iborat. Birinchi bosqichda talaba $L_x$va L_y qiymatlarini o‘zgartirib, energiya satrlari orasidagi masofa qanday o‘zgarishini kuzatadi. Ikkinchi bosqichda n_x va n_y qiymatlarini o‘zgartirib, to‘lqin funksiyasidagi tugunlar soni qanday ko‘payishini aniqlaydi. Uchinchi bosqichda ehtimollik zichligi taqsimotini tahlil qiladi. To‘rtinchi bosqichda olingan natijalarni nazariy formulalar bilan solishtiradi.

Kompyuter modellashtirish asosida tegishli parametrlarni o‘zgartirish orqali kvant o‘rasining o‘lchami kichrayganda energiya sathlarining o‘zgarish qonuniyatlari, kvant sonlari ortishi bilan to‘lqin funksiyasidagi tugunlar sonining o‘zgarishi hamda elektronning fazoda topilish ehtimolining taqsimlanish xususiyatlari mustaqil ravishda tadqiq qilinadi va tahlil qilinadi. Natijada, klassik tasavvurdagi “elektron zarracha sifatida o‘rada harakatlanadi” degan sodda qarashdan kvant-mexanik “elektron holati to‘lqin funksiyasi bilan tavsiflanadi” degan tushunchaga o‘tish ta’minlanadi [4].

Adabiyotlar:

1. Блохинцев, Д. И. Основы квантовой механики: учебное пособие / Д. И. Блохинцев; - 7-е изд., стер. - Санкт-Петербург: Изд-во «Лань», 2021. - 672 с. - ISBN 978-5-8114-0554-1.

2. Демидович, Б. П. Математические основы квантовой механики: учебное пособие / Б. П. Демидович. - 3-е изд., стер. - Санкт-Петербург: Изд-во «Лань», 2022. - 200 с. - ISBN 978-5-8114-9077-6.

3. Трофименко В.Е. Microsoft Visual Studio. Учебный курс. – М.: Диалектика, 2021. – 320 с. – ISBN 978-5-8459-2434-8.

4. Zaynobidinov S.Z., Muxtarov E.K. Oliy ta’limda kvant mexanikasini o‘qitishning pedagogik modeli xususiyatlari va samaradorligi // Urganch davlat pedagogika instituti axborotnomasi. 2025. №3. 189-196 b.

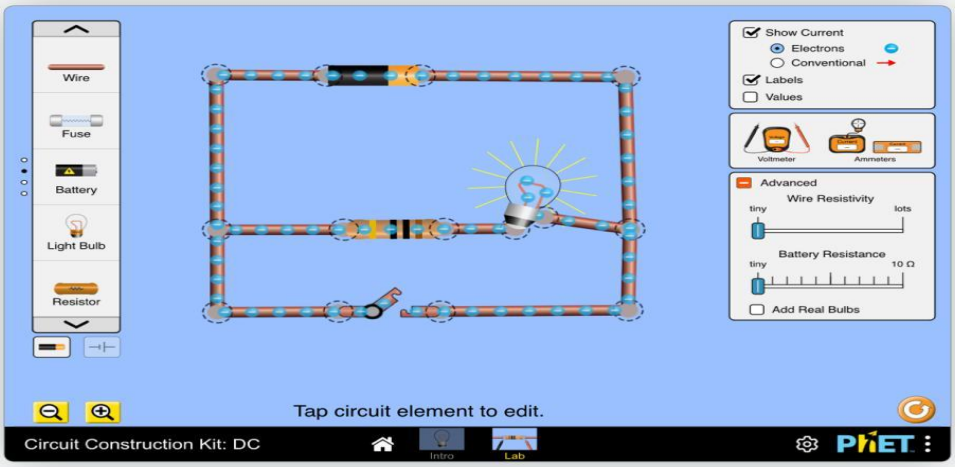
UMUMIY O‘RTA TA’LIM MAKTABLARIDA FIZIKA FANINING ELEKTR BO‘LIMINI ÓQITISHDA RAQAMLI TEXNOLOGIYALARDAN FOYDALANISH METODIKASINI TAKOMILLASHTIRISH

[1]Imomov Bahodir Umrzoqovich, [2]Jumaboyeva Sarvinoz Murodilloyevna.
[3]Norbekova Xulkaroy Azamat qizi, [1]Samarqand davlat pedagogika instituti
Fizika kafedrasi o‘qituvchisi.
[23]Samarqand davlat pedagogika instituti talabasi.
bahodirimomov@samdpi.uz

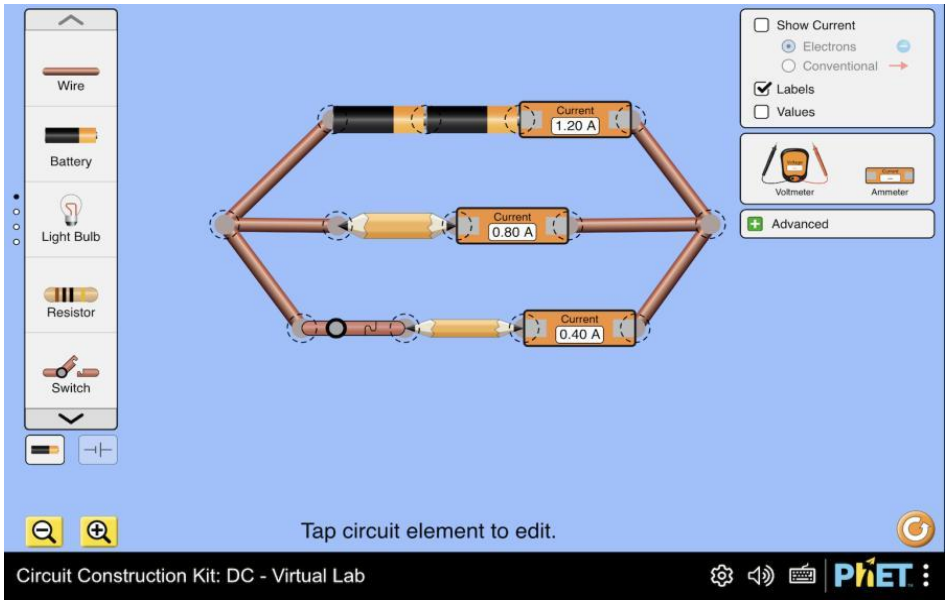
Kalit so‘zlar: fizika ta’limi, elektr bo‘limi, raqamli texnologiyalar, virtual laboratoriya, interaktiv simulyatsiya, metodikani takomillashtirish, AKT, PhET platformasi, pedagogik dasturiy vositalar.

Kirish: Rivojlanib borayotgan jahonda ilm-fan va texnologiyalarning shiddatli rivojlanishi ta’lim tizimi oldiga mutlaqo yangi vazifalarni qo‘yadi. Jamiyatning raqamli texnalogiyalar sharoitida umumiy o‘rta ta’lim maktablarida tabiiy fanlarni, xususan, fizika kursini o‘qitish sifatini oshirishda dolzarb vazifalardan hisoblanadi.

Prezidentimizning 2022-2026 yillarga mo’ljallangan Yangi O’zbekistonning Taraqqiyot strategiyasi ham ta’limni raqamlashtirishga qaratilgan qator qarorlar qabul qilingan. Fizika fani asosi bo‘lgan elektr, texnika, energetika elektronika va raqamni texnalogiyalar sohaning poydevori hisoblanadi. Biroq ushbu bo‘limdagi ko‘plab tushunchalar (masalan, elektr maydoni, zaryadlarning harakati, elektromagnit induksiya hodisasi) mavhum xarakterga ega bo‘lib, o‘quvchilar tomonidan an’anaviy metodlar yordamida o‘zlashtirilishi birmuncha qiyinchilikni yuzaga keltirib chiqaradi .Bugungi kunda maktab laboratoriyalaridagi mavjud moddiy-texnik baza ba’zan mikrodunyoda sodir bo‘ladigan dinamik jarayonlarni to‘liq va ko‘rgazmali namoyish etish imkonini bermaydi ya’ni misol qilib zaryadlar o’zaro ta’sirlashadi yoki musbat va manfiy zaryadlar bir-biriga tortiladi deb aytishning o’zi yetarli bo’lmay qoldi. Shu sababli, elektr bo‘limini o‘qitishda **raqamli texnologiyalar, virtual laboratoriyalar, interaktiv simulyatsiyalar (PhET, Yenka va b.) hamda mobil ilovalardan** foydalanish metodikasini takomillashtirish dolzarb pedagogik muammo hisoblanadi. Raqamli vositalar o‘quvchilarning darsga bo‘lgan motivatsiyasini oshirish bilan birga, ularda XXI asr ko‘nikmalari — tanqidiy fikrlash, mustaqil tadqiqot olib borish va xotirada yaxshi saqlanishiga xizmat qiladi sababi hozir rivojlanib borayotgan aavlod uchun turli xil animatsiyalarni kuzatish va bajarish ancha tushunarli qabul qilishi oson .



1-rasm Phet dasturida zanjir yig’ish



2-rasm Phet dasturida tajriba

3.1. Tajriba sinov ishlari**.**

3.2. Umumiy o‘rta ta’lim maktabining 8-sinf o‘quvchilarida elektr zanjiri, tok kuchi va kuchlanish tushunchalarini PhET virtual laboratoriyasi yordamida shakllantirish hamda raqamli metodikaning dars samaradorligiga ta’sirini aniqlash.

3.3. Tajriba Samarqand tumani 41-umumiy o‘rta ta’lim maktabining 8-sinf o‘quvchilari ishtirokida o‘tkazildi. O‘quvchilar ikki guruhga ajratildi:

3- rasm

4- rasm

3-rasmda ko’rsatilgandek ;Nazorat guruhi, an’anaviy usul: doska, darslik va oddiy laboratoriya.

4-rasm. Tajriba guruhi,PhET simulyatsiyasi orqali virtual elektr zanjiri yig‘ish.

Dars davomida o‘quvchilar batareya, lampochka, kalit va rezistordan iborat elektr zanjirini mustaqil ravishda yig‘dilar. Simulyatsiya yordamida ampermetr va voltmetr ko‘rsatkichlari kuzatildi hamda rezistor qiymati o‘zgartirilganda tok kuchining qanday o‘zgarishi tahlil qilindi.

3.4. Bajarilgan topshiriqlar

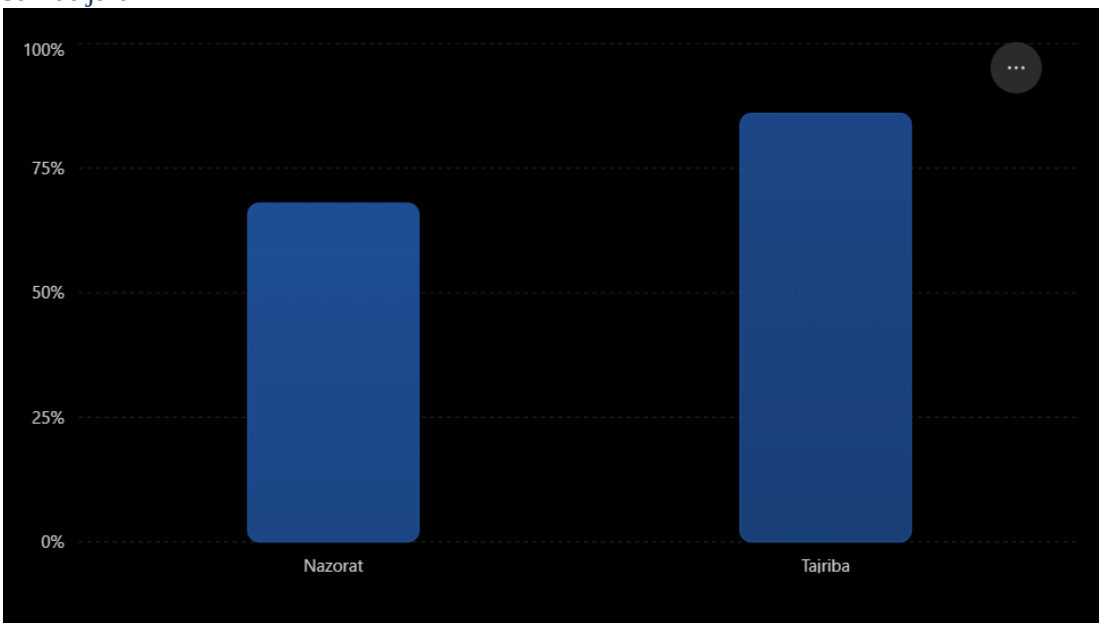
Batareya, kalit va lampochkadan elektr zanjiri yig‘ish.

Kalit ochiq va yopiq holatda lampochkaning ishlashini kuzatish.

Rezistor qiymatini 10 Ω dan 50 Ω gacha o‘zgartirib tok kuchini solishtirish.

Voltmeter va ampermetr ko‘rsatkichlarini jadvalga yozish.

3.5. Tajriba natijalari



Tajriba yakunida o‘quvchilarga 10 ta test va 2 ta amaliy topshiriq berildi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, PhET simulyatsiyasidan foydalangan guruhning o‘rtacha ko‘rsatkichi 86%, an’anaviy usulda o‘qigan guruhniki esa 68% ni tashkil etdi. Bu raqamli metodikaning dars samaradorligini oshirishini ko‘rsatadi.

Kuzatishlar davomida o‘quvchilar elektr maydoni va tokning yo‘nalishi kabi mavhum tushunchalarni virtual muhitda vizual ko‘rganlari sababli mavzuni tezroq angladilar. Ayniqsa, rezistor qiymatini o‘zgartirish orqali tok kuchining kamayishini real vaqt rejimida kuzatish ularning mantiqiy fikrlashini va mustaqil xulosa chiqarish ko‘nikmalarini rivojlantirdi.PhET platformasidagi Circuit Construction Kit simulyatsiyasidan foydalanish elektr bo‘limini o‘qitishda nafaqat nazariy bilimlarni mustahkamlaydi, balki o‘quvchilarning amaliy kompetensiyalari, darsga qiziqishi va tadqiqotchilik faoliyatini ham sezilarli darajada oshiradi.

Fizika ta’limida axborot-kommunikatsiya va raqamli texnologiyalardan foydalanish masalalari xorijiy va respublikamiz olimlari tomonidan keng o’rganib chiqilgan. Respublikamizda fizika o‘qitish metodikasini rivojlantirishga va ta’limni raqamlashtirishga oid izlanishlar olib borilgan bo‘lsa-da, aynan elektr bo‘limidagi murakkab va real olib chiqich tajriba qilish xavfli yoki imkonsz mavzularni zamonaviy raqamli ekotizimlar (VR/AR texnologiyalar, STEM yondashuv, sun'iy intellekt elementlari) yordamida o‘qitishning pedagogik-psixologik mexanizmlari va metodik tizimi hali to‘liq tizimlashtirilmagan.

Xulosa qilib aytganda, umumiy o‘rta ta’lim maktablarida fizika fanining elektr bo‘limini o‘qitishda raqamli texnologiyalardan samarali foydalanish metodikasini takomillashtirish va dars samaradorligini oshirish bo‘yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqishdan iborat.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O‘zbekiston Respublikasining “Ta’lim to‘g‘risida”gi Qonuni. Toshkent, 2020.
2. PhET Interactive Simulations. University of Colorado Boulder. Circuit Construction Kit: DC virtual laboratory.
3. Crocodile Physics (Yenka). Interactive Physics Simulation Software. Crocodile Clips Ltd.
4. Halliday D., Resnick R., Walker J. Fundamentals of Physics. 11th Edition. Wiley, 2018.
5. Serway R. A., Jewett J. W. Physics for Scientists and Engineers. Cengage Learning, 2019.
6. To‘laganov A. Fizika o‘qitish metodikasi. Toshkent: O‘qituvchi, 2021.
7. Rasulov A. Umumiy fizika: Elektr va magnetizm. Toshkent, 2020.

8. STEM ta’limida raqamli texnologiyalar va virtual laboratoriyalardan foydalanish bo‘yicha metodik tavsiyalar. Respublika ta’lim markazi, 2023.
9. . Kamolov J., Ismoilov I., Begimqulov U., Avazboyev S. Elektr va magnetizm. – Toshkent: IQTISOD-MOLIYA, 2007. – 280 b.
10. Saidaxmedova Z.V., Xudayberdiyeva A.I. Fizika (Elektr va magnetizm). O‘quv qo‘llanma. – Toshkent: Tafakkur tomchilari, 2019. – 248 b
11. Izbosarov B.F., Kamolov I.R. Elektromagnetizm. Darslik. – Toshkent: IQTISOD-MOLIYA, 2006. – 360 b.

ATOM YADROSINING TUZILISHI VA XOSSALARINI O‘RGANISH METODLARI HAMDA ZAMONAVIY TEXNOLOGIYALAR

f.-m.f.n., dotsent A. Abduraximov,
katta o’qituvchi U.Ismoilov,
magistrant M. U. Yusufbekova

Zamonaviy fizika fanining eng muhim va tez rivojlanayotgan tarmoqlaridan biri bo‘lgan yadro fizikasi materiyaning eng quyi, mikroskopik darajadagi strukturasi hamda unda kechadigan fundamental o‘zaro ta’sirlarni o‘rganishga qaratilgandir. Atom yadrosining kashf etilishi va uning ichki tuzilishini anglash fanda ulkan burilish yasadi hamda olamning mikrostrukturasini tushunishda yangi ufqlar ochib berdi. Yadro fizikasi sohasidagi tadqiqotlar nafaqat materiyaning fundamental xossalari, ya'ni massaning shakllanishi, zarrachalararo kuchlar, simmetriya qonunlari va energiya sathlari haqidagi tasavvurlarimizni boyitadi, balki amaliy texnologiyalar rivojiga ham to‘g‘ridan-to‘g‘ri turtki bo‘lmoqda. Atom yadrosining tuzilishi, undagi nuklonlararo o‘zaro ta’sir kuchlari va yadro reaksiyalarining mexanizmlarini chuqur va aniq tadqiq etish bugungi kunda atom va termoyadro energetikasi, pozitron-emission tomografiya va radioterapiya kabi yadro tibbiyoti usullari, kosmik tadqiqotlar hamda yangi xossalarga ega zamonaviy materiallar yaratish kabi strategik sohalar uchun hal qiluvchi ahamiyat kasb etadi. Shu sababli, atom yadrosining fizik xarakteristikalarni o‘rganish metodlarini hamda zamonaviy tajriba va modellashtirish texnologiyalarini uzluksiz rivojlantirish dolzarb ilmiy va amaliy vazifalardan biri hisoblanadi.

Atom yadrosi musbat zaryadlangan protonlar va neytral neytronlardan (nuklonlardan) iborat bo‘lib, ular o‘ta kuchli yadro kuchlari yordamida o‘zaro bog‘langan. Yadroning geometrik o‘lchami uning massa soniga proporsional ravishda o‘zgaradi, shuningdek, yadrolar spin, magnit moment va energiya sathlarining diskret tuzilishiga ega. Eynshteynning massa-energiya ekvivalentligi qonuniga ko‘ra, yadro massasi uni tashkil etuvchi alohida nuklonlar massalari yig‘indisidan kichik bo‘lib, bu farq, ya'ni massa defekti yadroning barqarorligi va bog‘lanish energiyasini ta’minlaydi. Atom yadrosi va uning ichki tuzilishini o‘rganishda bir qancha zamonaviy metodlardan foydalaniladi. Xususan, zarrachalar sochilishi metodida yuqori energiyali zarrachalar oqimini yadroga yo‘naltirish orqali uning geometrik o‘lchamlari va zaryad taqsimoti aniqlansa, yadro spektroskopiyasi yordamida alfa-, beta-parchalanishlar va gamma-kvantlar nurlanishining energiyasini o‘lchash orqali yadro energetik sathlari va uning quyi tuzilishi o‘rganiladi. Bular bilan bir qatorda, kvant mexanikasi tenglamalari va raqamli simulyatsiyalarga asoslangan kompyuter modellashtirishi orqali murakkab yadro jarayonlari chuqur tahlil qilinadi.

Yadro xossalarini tadqiq etishda zamonaviy texnologik ta’minot alohida o‘rin tutadi. Chiziqli va siklik zarracha tezlatgichlari hamda reaktorlar zarrachalarni yuqori energiyaga yetkazib, yadro reaksiyalarini qo‘zg‘atishga xizmat qiladi. Ushbu ilmiy natijalar va texnologik ishlanmalar atom energetikasida, tibbiy radioterapiya va diagnostika qurilmalarida, shuningdek, sanoatda ob’ektlar yaxlitligini buzmasdan nazorat qilish (nondestructive testing) jarayonlarida keng tatbiq etilmoqda. Umuman olganda, atom yadrosining tuzilishi va xossalarini o‘rganish hamda zamonaviy tadqiqot texnologiyalarini

takomillashtirish yangi turdagi energiya manbalarini yaratish, tibbiyot va materialshunoslik sohalarini rivojlantirish uchun keng imkoniyatlar ochadi. Bu yo‘nalishdagi fundamental tadqiqotlar kelgusida ilm-fan va texnika taraqqiyotini belgilovchi asosiy omillardan biri bo‘lib qoladi.

Atom yadrosining tuzilishi va xossalarini o‘rganish hamda zamonaviy tadqiqot texnologiyalarini takomillashtirish yangi turdagi energiya manbalarini yaratish, tibbiyot va materialshunoslik sohalarini rivojlantirish uchun keng imkoniyatlar ochadi. Bu yo‘nalishdagi fundamental tadqiqotlar kelgusida ilm-fan va texnika taraqqiyotini belgilovchi asosiy omillardan biri bo‘lib qoladi.

Foydalangan adabiyotlar.

1.Karimov M. "Atom fizikasi va yadro fizikasi", Toshkent, O'qituvchi, 2010. 120-bet
2.Sivuxin D.V. "Umumiy fizika kursi. IV tom. Atom va yadro fizikasi", Moskva, Fizmatlit, 2005. 60-bet
3.Shirokov Yu.M., Yudin N.P. "Yadro fizikasi", Moskva, Nauka, 1980. 22-bet
4. Krane K.S. "Introductory Nuclear Physics", John Wiley & Sons, 1987. 88-bet
5. Mukhamedzhanov A.M. "Nuclear Reaction Theory", Springer, 2023. 100-bet

ZAMONAVIY FIZIKANING DOLZARB MUAMMOLARINI YECHISHDA METAKOGNITIV USULLARDAN FOYDALANISH (MEXANIKA MISOLIDA)

p.f.d.DSc A.Xakimov (Andijon davlat universiteti)
Magistrant, D.D. Khabibullayeva (Andijon davlat universiteti)
Email: dergasheva117@gmail.com

Zamonaviy fizikaning dolzarb muammolarini hal etishda metakognitiv usullardan foydalanish masalasi mexanika fani misolida yoritilgan. Fizika ta’limida o‘quvchining faqat formulalarni bilishi va masalalarni hisoblash orqali yechishi yetarli emas. U muammoni anglash, mavjud bilimlarini tahlil qilish, yechim strategiyasini mustaqil tanlash, o‘z faoliyatini nazorat qilish va olingan natijani baholash ko‘nikmalariga ham ega bo‘lishi zarur. Metakognitiv yondashuv ana shu ko‘nikmalarni shakllantirishga xizmat qiladi. Maqolada mexanikaga oid masalalarni yechishda “rejalashtirish–monitoring–baholash” sikli, o‘z-o‘ziga savol berish, “fikrlashni ovoz chiqarib ifodalash”, muammoli vaziyat, konseptual xarita va refleksiya kabi usullardan foydalanish imkoniyatlari ko‘rib chiqilgan. Mexanika mavzulari misolida metakognitiv usullarni qo‘llashning amaliy modeli taklif etilgan. Bugungi kunda ta’lim jarayonining asosiy maqsadlaridan biri o‘quvchiga tayyor bilimlarni berish bilan cheklanib qolmasdan, uni mustaqil fikrlaydigan, muammoni tahlil qila oladigan va o‘z faoliyatini boshqara oladigan shaxs sifatida shakllantirishdan iborat. Ayniqsa, fizika fanini o‘qitishda ushbu masala muhim ahamiyatga ega. Chunki fizika tabiat hodisalarini kuzatish, ularning sabablarini aniqlash, qonuniyatlarni izlash va matematik modellar asosida tushuntirishga asoslangan fandir.

Mexanika fizikaning fundamental bo‘limlaridan biri bo‘lib, u jismlarning mexanik harakati, kuch, massa, impuls, energiya, ish, quvvat, muvozanat va boshqa tushunchalarni o‘rganadi. O‘quvchi mexanik masalani yechish jarayonida faqat formulani eslab qolmasdan, qaysi vaziyatda qaysi qonundan foydalanishni anglay olishi kerak.

Amaliyotda esa o‘quvchilar ko‘pincha masala shartini to‘liq tahlil qilmasdan, o‘zlariga tanish bo‘lgan formulani izlashga harakat qiladilar. Natijada formulani to‘g‘ri tanlamaslik, fizik kattaliklarning ma’nosini chalkashtirish yoki olingan natijaning mantiqiyligini tekshirmaslik kabi xatolar yuzaga keladi. Ushbu muammoni bartaraf etishda metakognitiv yondashuv muhim vosita bo‘la oladi.

Metakognitsiya insonning o‘z fikrlashi, bilimi va o‘quv faoliyatini anglash hamda boshqarish qobiliyatidir. Fizika ta’limida metakognitiv yondashuv o‘quvchining “Men nimani bilaman?”, “Muammoni hal qilish uchun yana qanday bilim kerak?”, “Qaysi qonunni qo‘llashim kerak?”, “Men tanlagan usul to‘g‘rimi?” kabi savollarni o‘ziga berishini nazarda tutadi.

Bu oddiy masala bo‘lsa-da, o‘quvchi unda metakognitiv fikrlashning to‘liq siklini amalga oshiradi. Mexanikaning muhim mavzularidan biri kuch va Nyuton qonunlaridir. Ushbu mavzuda o‘quvchilar ko‘pincha kuchning yo‘nalishi, natijaviy kuch va tezlanish o‘rtasidagi bog‘lanishni chalkashtiradilar. Shuning uchun muammoli vaziyat yaratish mumkin: “Nima sababdan og‘ir yukni gorizontal sirt bo‘ylab tortish uchun ma’lum kuch talab etiladi?” O‘quvchilar avval o‘z taxminlarini bildiradilar. Keyin quyidagi savollar asosida fikrlash jarayoni tashkil etiladi: Jismga qanday kuchlar ta’sir qilmoqda? Kuchlarning yo‘nalish qanday? Ishqalanish kuchi mavjudmi? Bu savollar orqali o‘quvchi tayyor formulani qo‘llashdan oldin fizik hodisani tushunishga harakat qiladi. Bu jarayonda o‘qituvchi o‘quvchining qaysi bosqichda xato qilayotganini aniqlashi mumkin. Eng muhimi, o‘quvchi o‘z fikrlash jarayonini o‘zi ham anglay boshlaydi.

Mexanika mavzularini tizimlashtirishda konseptual xaritalardan foydalanish ham samarali hisoblanadi

Masalan, “Mexanik harakat” tushunchasi markazga joylashtirilib, undan: mexanik harakat → tezlik → tezlanish → kuch → massa → impuls → ish → energiya kabi tushunchalar o‘rtasidagi bog‘lanishlar ko‘rsatiladi.

O‘quvchi ushbu xaritani mustaqil tuzish orqali mavzular orasidagi bog‘lanishni anglaydi. Agar biror tushunchani boshqa tushuncha bilan bog‘lay olmasa, aynan shu qism bo‘yicha qo‘shimcha bilimga ehtiyoj borligini tushunadi.

Mexanika darsining oxirida o‘quvchilarga quyidagi refleksiv topshiriqlarni berish mumkin: Bugun men qanday yangi fizik tushunchani o‘rgandim? Masalani yechishda birinchi navbatda nimaga e’tibor berdim? Formulani qanday tanladim? Qaysi bosqichda qiynaldim? Xatoyimning sababi nimada bo‘ldi? Natijani qanday tekshirdim? Keyingi safar masalani yechishda nimaga ko‘proq e’tibor beraman?

Bunday savollar o‘quvchini o‘z faoliyatini tahlil qilishga o‘rgatadi. Mexanika darslarida quyidagi umumiy modelni qo‘llash mumkin: Muammoli vaziyat → Muammoni tushunish → O‘z bilimini faollashtirish → Yechim rejasini tuzish → Fizik qonunni tanlash → Yechimni amalga oshirish → O‘z faoliyatini monitoring qilish → Natijani tekshirish → Refleksiya → Xulosa.

Ushbu model yordamida o‘quvchi masalani faqat o‘qituvchi ko‘rsatmasi asosida emas, balki mustaqil fikrlash orqali hal qilishga o‘rganadi. O‘qituvchi esa dars davomida “Javob qancha?” degan savoldan ko‘ra “Nima uchun shunday deb o‘ylaysiz?”, “Bu xulosani qaysi fizik qonun bilan asoslash mumkin?”, “Boshqa usul bilan tekshirish mumkinmi?” kabi savollardan ko‘proq foydalanishi maqsadga muvofiq.

Zamonaviy fizikaning dolzarb muammolarini yechishda metakognitiv usullardan foydalanish, ayniqsa mexanika misolida, o‘quvchilarning fizik bilimlarini amaliy faoliyat bilan bog‘lash va mustaqil fikrlash qobiliyatlarini rivojlantirish uchun muhim metodik imkoniyat yaratadi. Mexanika masalalarini metakognitiv yondashuv asosida o‘rgatishda o‘quvchi avvalo muammoni anglaydi, mavjud bilimlarini faollashtiradi, yechim rejasini tuzadi, tegishli fizik qonunni tanlaydi, o‘z faoliyatini nazorat qiladi va yakunda olingan natijani baholaydi. “Rejalashtir – bajar – tekshir – xulosa qil” tamoyili orqali o‘quvchi formulalarni mexanik qo‘llashdan bosqichma-bosqich voz kechib, fizik hodisaning mohiyatini tushunishga yo‘naltiriladi. O‘z-o‘ziga savol berish, fikrlashni ovoz chiqarib ifodalash, muammoli vaziyatlar, konseptual xaritalar va refleksiv topshiriqlar esa ushbu jarayonni yanada samarali tashkil etishga yordam beradi. Shunday qilib, mexanika darslarida metakognitiv usullardan foydalanish o‘quvchilarda fizik masalalarni mustaqil yechish, o‘z fikrini asoslash, xatolarini aniqlash, natijalarni tekshirish va yangi vaziyatlarda o‘z bilimlarini qo‘llash ko‘nikmalarini shakllantiradi. Bu esa zamonaviy fizika ta’limining asosiy maqsadlaridan biri bo‘lgan mustaqil va ilmiy fikrlovchi o‘quvchini tarbiyalashga xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. O‘rinboyev M.I. Umumiy ta’lim maktablarida fizika fanini o‘qitishda o‘quvchilarning metakognitiv faoliyatlarini takomillashtirish: avtoreferat. – 2025. 125-bet
2. Djo‘rayev M. Fizika o‘qitish metodikasi. – Toshkent: Abu matbuot-konsalt, 2015. – 280 b.
3. Djo‘rayev M., Sattarova B. Fizika va astronomiya o‘qitish nazariyasi va metodikasi. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2015. – 352 b.
4. Begmatova D.A., Qurbonov M., Sodiqova Sh.M. va boshq. Fizika o‘qitish metodikasi. – Toshkent: 2021. – 300 b.
5 .Turdiyev N.Sh. va boshq. Fizika: 10-sinf uchun darslik. – Toshkent, 2024. 250 bet

BUTUN OLAM TORTISHISH QONUNI: FIZIK MOHIYATI, MATEMATIK IFODASI VA ZAMONAVIY AHAMIYATI

Abduraxmonov Muxiddin
Samarqand davlat pedagogika instituti Fizika kafedrasi dotsenti
Narzullayev Xayrulla Lutfulla og‘li
Samarqand davlat pedagogika instituti Aniq va Tabiiy fanlarni o‘qitish metodikasi (fizika va astronomiya)mutaxasisligi 2-kurs magistranti
e-mail: xayrullanarzullayev12@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada Isaak Nyutonning butun olam tortishish qonuni tarixiy shakllanishi, fizik mohiyati va matematik ifodasi nuqtai nazaridan tahlil qilinadi. Qonunning asosiy xossalari, uning Yer va olma hamda ikki planeta o‘zaro ta’siri misollarida qo‘llanilishi ko‘rsatilgan, sonli hisob keltirilgan. Shuningdek, qonunning qo‘llanilish chegaralari va uni umumiy nisbiylik nazariyasi doirasida aniqlashtirish masalalari yoritilgan.

Kalit so‘zlar. butun olam tortishish qonuni, gravitatsion o‘zaro ta’sir, gravitatsion doimiy, Nyuton mexanikasi, umumiy nisbiylik nazariyasi.

Kirish

Gravitatsiya tabiatdagi to‘rtta fundamental o‘zaro ta’sirdan biri bo‘lib, makroskopik jismlar harakatini, sayyoralar orbitalarini va Koinotning yirik masshtabdagi tuzilishini belgilaydi. Uning miqdoriy tavsifi birinchi marta 1687-yilda Nyutonning «Naturfalsafaning matematik asoslari» asarida berilgan [1; 2]. Ushbu ishning maqsadi butun olam tortishish qonunining mazmunini, matematik ifodasini va qo‘llanilish chegaralarini ilmiy manbalar asosida tizimli bayon etishdir.

Shuni alohida ta’kidlash lozimki, ba’zi o‘quv materiallarida bu qonun shartli ravishda «Nyutonning IV qonuni» deb ataladi. Aslida Nyutonning harakat qonunlari uchtadir, butun olam tortishish qonuni esa dinamikaning uchta qonunidan alohida, mustaqil qonun hisoblanadi [4]. Ushbu maqolada «IV qonun» atamasi faqat o‘quv infografikasidagi shartli nom sifatida qayd etiladi.

1. Qonunning tarixiy shakllanishi

XVII asrga kelib Yoxannes Kepler sayyoralar harakatining empirik qonunlarini shakllantirgan edi. Nyuton bu qonunlar, xususan, sayyora aylanish davri kvadratining orbita katta yarim o‘qi kubiga proporsionalligi, Quyoshga tomon yo‘nalgan va masofa kvadratiga teskari proporsional kuchning mavjudligini taqozo etishini ko‘rsatdi [1; 2]. Shu tariqa Yerdagi jismlarning erkin tushishi va osmon jismlarining harakati yagona qonun asosida tushuntirildi.

Qonun tarkibidagi gravitatsion doimiy G ning qiymati Nyutonning o‘zi tomonidan berilmagan. 1798-yilda Genri Kavendish burilish tarozisi yordamida laboratoriya sharoitida jismlarning o‘zaro tortishishini

o‘lchab, Yerning o‘rtacha zichligini aniqladi [3]; undan keyinchalik G ning son qiymati hisoblab chiqildi. Hozirgi vaqtda CODATA tavsiyasiga ko‘ra

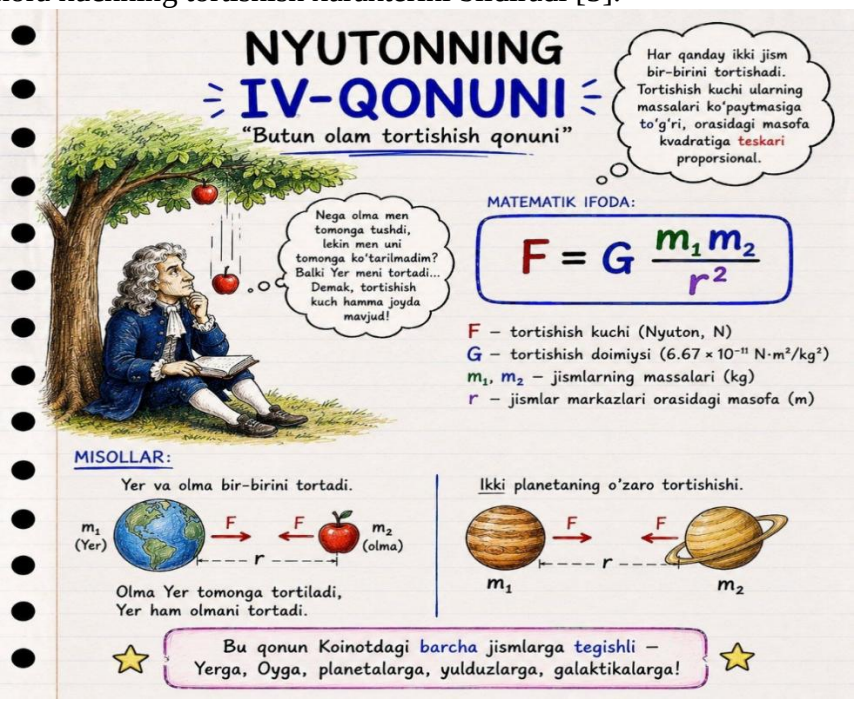
G = 6,67430 (15)·10^{-11} $m^3 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2}$ [6]. Bu fundamental doimiylar ichida eng kam aniqlik bilan o‘lchangani hisoblanadi.

2. Qonunning ta’rifi va matematik ifodasi

Butun olam tortishish qonuni quyidagicha ta’riflanadi: ixtiyoriy ikki moddiy nuqta bir-birini tortadi; tortishish kuchining moduli ularning massalari ko‘paytmasiga to‘g‘ri proporsional va ular orasidagi masofa kvadratiga teskari proporsional bo‘ladi [4; 5]. Matematik ko‘rinishi: $-G \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot \hat{r}_{12}$

$$F = G\,\frac{M\ m}{R^2}$$

bunda F – tortishish kuchi (N), G – gravitatsion doimiy ($\frac{N \cdot m^2}{kg^2}$) m_1 va m_2 – jismlarning massalari (kg), r – jismlar markazlari orasidagi masofa (m). Vektor shaklda birinchi jismga ikkinchisi tomonidan ta’sir etuvchi kuch $F_1 = \frac{-G \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot \hat{r}_{12}}{r^2}$ ko‘rinishida yoziladi, bunda $\hat{r}_{12}$ – birinchi jismdan ikkinchisiga yo‘nalgan birlik vektor; minus ishora kuchning tortishish xarakterini bildiradi [5].



1-rasm. Butun olam tortishish qonuni (o‘quv infografikasi)

3. Qonunning asosiy xossalari

Birinchidan, tortishish kuchlari Nyutonning uchinchi qonuniga bo‘ysunadi: jismlar bir-birini modul jihatidan teng va yo‘nalishi qarama-qarshi kuchlar bilan tortadi ($F_1 = -F_2$). Demak, olma Yerga tortilganidek, Yer ham olmaga tortiladi; olmaning tezlanishi kattaroq bo‘lishiga sabab uning massasi Yer massasidan beqiyos kichikligidir [4].

Ikkinchidan, kuch masofa kvadratiga teskari proporsional: masofa ikki barobar ortsa, kuch to‘rt barobar kamayadi. Uchinchidan, bir jinsli sharsimon jismlar uchun tortishish kuchi jism massasi markazda to‘plangandek hisoblanadi, shuning uchun Yer va Oy kabi jismlar orasidagi kuchni hisoblashda r sifatida markazlar orasidagi masofa olinadi [1; 5].

To‘rtinchidan, Yer sirti yaqinidagi erkin tushish tezlanishi $g = \frac{GM}{R^2}$ formuladan aniqlanadi, bunda M va R – Yerning massasi va radiusi. Doiraviy orbita bo‘ylab harakat uchun chiziqli tezlik $v = (\sqrt{\frac{GM}{r}})$ ga teng; Yer sirti yaqinida bu birinchi kosmik tezlikni (taxminan 7,9 km/s) beradi [4; 10].

4. Amaliy misol: Yer va olma

Massasi m = 0,1 kg bo‘lgan olmaning Yerga tortilish kuchini hisoblaymiz. Yer massasi $M \approx 5{,}972 \cdot 10^{24}$ kg, o‘rtacha radiusi $R \approx 6{,}371 \cdot 10^{6}$ m, $G \approx 6{,}674 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$ deb olamiz:

$$F = G\frac{M\ m}{R^2} \approx \frac{(6{,}674 \cdot 10^{-11} \cdot\ 5{,}972 \cdot 10^{24}\ \cdot\ 0{,}1)}{(6{,}371 \cdot 10^{6})^2}\ \approx\ 0{,}98\ N.$$

Natija olmaning og‘irlik kuchiga (mg ≈ 0,98 N) mos keladi. Xuddi shunday kattalikdagi kuch Yerga ham olma tomonidan ta’sir qiladi, biroq Yer massasi katta bo‘lgani uchun uning tezlanishi e’tiborga olmasa bo‘ladigan darajada kichik. Yer sirtidagi tezlanish $g \approx 9{,}8$ m/s² bo‘lsa, Oy orbitasida (Yer markazidan $r \approx 3{,}84 \cdot 10^{8}$ m masofada) tezlanish $(R/r)^2$ marta kichik, ya’ni taxminan $2{,}7 \cdot 10^{-3}$ m/s² bo‘ladi; bu kuzatuvlarga mos keladi va Nyutonning yer va osmon tortishishining birligi haqidagi g‘oyasini tasdiqlaydi [1; 4]. Ikki planeta o‘zaro ta’sirida ham xuddi shu qonun ishlaydi: masofa va massalar kattaligiga qarab kuch ortadi yoki kamayadi, ammo uning tabiati o‘zgarmaydi.

5. Qo‘llanilish chegaralari va zamonaviy talqin

Nyuton tortishish nazariyasi kuchsiz gravitatsion maydonlar va yorug‘lik tezligidan ancha kichik tezliklar uchun yuqori aniqlik bilan ishlaydi va kosmik apparatlar traektoriyalarini hisoblashda hozir ham qo‘llaniladi. Biroq kuchli maydonlarda va katta tezliklarda uni 1915-yilda Albert Eynshteyn taklif qilgan umumiy nisbiylik nazariyasi aniqlashtiradi [7]. Bu nazariyada gravitatsiya fazo-vaqt egriligi sifatida talqin qilinadi. Uning eng mashhur tasdiqlaridan biri Merkuriy orbitasi perigeliyining Nyuton nazariyasi bilan tushuntirib bo‘lmaydigan, taxminan asrda 43 burchak soniyasiga teng siljishidir [9]. 2015-yilda LIGO detektorlari qora tuynuklar qo‘shilishidan hosil bo‘lgan gravitatsion to‘lqinlarni birinchi marta bevosita qayd etdi [8].

Shunday qilib, Nyuton qonuni umumiy nisbiylikning kichik tezliklar va kuchsiz maydonlar uchun limit holati sifatida saqlanib qoladi va o‘z ahamiyatini yo‘qotmaydi [9].

Xulosa

Butun olam tortishish qonuni jismlarning tortishuvini masofa va massalar orqali miqdoran ifodalaydi hamda Yerdagi va osmondagi hodisalarni yagona nuqtai nazardan tushuntiradi. Qonun uchinchi qonunga mos simmetriyaga ega, masofa kvadratiga teskari bog‘liqlik xarakteriga ega va sharsimon jismlar uchun markazlar orasidagi masofa bo‘yicha qo‘llaniladi. Zamonaviy fizikada u umumiy nisbiylik nazariyasining kuchsiz maydon limiti sifatida qaraladi va astronomiya, kosmonavtika hamda geodeziyada amaliy ahamiyatini saqlab kelmoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Newton I. Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica. London: Royal Society, 1687.
2. Newton I. The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy / transl. by I. B. Cohen, A. Whitman. Berkeley: University of California Press, 1999.
3. Cavendish H. Experiments to determine the density of the Earth // Philosophical Transactions of the Royal Society of London. 1798. Vol. 88. P. 469–526.
4. Halliday D., Resnick R., Walker J. Fundamentals of Physics. 10th ed. Hoboken: Wiley, 2014.
5. Feynman R. P., Leighton R. B., Sands M. The Feynman Lectures on Physics. Vol. I. Reading (MA): Addison-Wesley, 1963. Ch. 7: The theory of gravitation.

6. Tiesinga E., Mohr P. J., Newell D. B., Taylor B. N. CODATA recommended values of the fundamental physical constants: 2018 // Reviews of Modern Physics. 2021. Vol. 93, No. 2. Art. 025010.

7. Einstein A. Die Feldgleichungen der Gravitation // Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. 1915. S. 844–847.

8. Abbott B. P. et al. (LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration). Observation of gravitational waves from a binary black hole merger // Physical Review Letters. 2016. Vol. 116. Art. 061102.

9. Will C. M. The confrontation between general relativity and experiment // Living Reviews in Relativity. 2014. Vol. 17. Art. 4.

“YOPISHQOQLIK KOEFFITSIYENTINI STOKS USULIDA ANIQLASH’’ TAJRIBASINI TEXNOLOGIK JARAYONLAR ASOSIDA O‘QITISH

M.R. Kayumova[1], K.I. Vaxabov[2], B.X. Islamov[3]
[1]Toshkent kimyo-texnologiya instituti
[2]Toshkent davlat texnika universiteti
[3]Toshkent to‘qimachilik va yengil sanoat instituti
e-mail: vahobov1964@mail.ru

Annotatsiya: Ushbu tezisda kimyo-texnologiya yo‘nalishi talabalarining kasbiy kompetensiyalarini shakllantirishda fizik tajribalardan foydalanishning metodik imkoniyatlari ko‘rib chiqilgan. Xususan, texnologik suyuqliklarning muhim fizik xossalaridan biri bo‘lgan yopishqoqlik koeffitsiyentini Stoks usuli yordamida aniqlash tajribasining mazmuni va uni o‘quv jarayonida qo‘llash metodikasi yoritilgan. Tajriba davomida talabalarning fizik kattaliklarni o‘lchash, tajriba natijalarini qayta ishlash, hisoblash ishlarini bajarish, o‘lchash xatoliklarini tahlil qilish hamda olingan natijalarni texnologik jarayonlar bilan bog‘lash ko‘nikmalarini rivojlantirishga e’tibor qaratilgan. Stoks usulini kasbiy yo‘naltirilgan holda tashkil etish orqali fizika fanining nazariy qonuniyatlarini kimyo-texnologiya sohasidagi amaliy masalalar bilan integratsiyalash imkoniyati asoslangan.

Kalit so‘zlar: fizika tajribasi, kasbiy kompetensiya, kimyo-texnologiya, Stoks usuli, yopishqoqlik koeffitsiyenti, texnologik suyuqlik, dinamik yopishqoqlik, tajriba, o‘lchash, texnologik jarayon.

KIRISH

Zamonaviy oliy ta’lim jarayonida mutaxassislarni tayyorlashda nazariy bilimlarni amaliy faoliyat bilan bog‘lash va talabalarda kasbiy kompetensiyalarni shakllantirish muhim vazifalardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, kimyo-texnologiya yo‘nalishida tahsil olayotgan talabalar uchun fizika fanini o‘qitishda fizik qonun va hodisalarning kelajakdagi kasbiy faoliyat bilan bog‘liqligini ko‘rsatish alohida ahamiyatga ega. Fizik tajribalar ushbu vazifani amalga oshirishning samarali vositalaridan biri bo‘lib, ular orqali talabalar nazariy bilimlarni amaliy faoliyatda qo‘llash, fizik kattaliklarni o‘lchash va tajriba natijalarini tahlil qilish imkoniyatiga ega bo‘ladilar [1, 2].

Kimyo, oziq-ovqat, neft-gaz va boshqa texnologik jarayonlarda turli xil suyuqliklardan foydalaniladi. Bunday suyuqliklarning fizik xossalari texnologik qurilmalar va jarayonlarning ishlashiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Suyuqlikning yopishqoqligi uning harakatlanishiga qarshilikni ifodalovchi muhim fizik parametr bo‘lib, suyuqliklarni quvurlar orqali tashish, nasoslar yordamida uzatish, aralashtirish, filtrlash va boshqa texnologik jarayonlarni tashkil etishda hisobga olinadi. Shu sababli bo‘lajak kimyo-texnologiya mutaxassislarida yopishqoqlik haqidagi fizik bilimlarni shakllantirish va uni tajriba asosida aniqlash ko‘nikmasini rivojlantirish muhimdir [3, 4].

ASOSIY QISM

Suyuqlikning yopishqoqligi uning qatlamlari yoki suyuqlik ichida harakatlanayotgan jism bilan suyuqlik o'rtasidagi ichki ishqalanishni tavsiflaydi. Dinamik yopishqoqlik koeffitsiyenti odatda η harfi bilan belgilanadi va SI sistemasida Pa·s birligida o'lchanadi. Yopishqoqlik qiymati suyuqlikning tabiati, harorati va boshqa omillarga bog'liq bo'ladi.

Yopishqoqlik koeffitsiyentini tajribaviy aniqlash usullaridan biri Stoks usulidir. Ushbu usul suyuqlik ichida harakatlanayotgan kichik sharsimon jismga ta'sir qiluvchi qarshilik kuchini aniqlashga asoslangan. Stoks qonuniga ko'ra, kichik sharchaning suyuqlikdagi sekin harakatida unga ta'sir qiluvchi qarshilik kuchi quyidagicha aniqlanadi:

$$F_s = 6\pi\eta r\upsilon \qquad (1)$$

bu yerda: F_s – Stoks kuchi bo'lib, suyuqlik tomonidan sharchaning harakatiga qarshilik ko'rsatadigan kuch, η – suyuqlikning dinamik yopishqoqlik koeffitsiyenti, r – sharcha radiusi, υ – sharchaning suyuqlikdagi harakat tezligi.

Tajriba qurilmasi: tsilindrsimon idish, tekshirilayotgan suyuqlik, ma'lum radius va zichlikka ega bo'lgan kichik metall sharcha, sekundomer hamda uzunlik o'lchov lentasidan tashkil topadi. Sharcha suyuqlik ichiga ohista tashlab yuboriladi, ma'lum vaqt harakatlangandan so'ng sharcha o'zgarmas tezlikda harakat qila boshlaydi. Idishning sharcha o'zgarmas tezlik bilan harakat qilgan qismida ikkita belgi qo'yiladi va ular orasidagi masofa o'lchab olinadi. Sharchaning shu ikki belgi orasidagi harakalanish vaqti sekundomer yordamida o'lchanadi.

Sharcha suyuqlik ichida o'zgarmas tezlik bilan harakatlangan holatda sharchaga ta'sir qiluvchi og'irlik kuchi, Arximed kuchi va Stoks qarshilik kuchi o'zaro muvozanatlashadi. Sharchaning zichligi ρ_{sh}, suyuqlik zichligi esa ρ_s bo'lsa, uning tekis harakat holatidan quyidagi ifodani keltirib chiqa olinadi:

$$\eta = \frac{2r^2 g \cdot (\rho_{sh} - \rho_s)}{9\upsilon} \qquad (2)$$

Sharchaning tezligi esa tajribada o'lchangan masofa va vaqt orqali:

$$\upsilon = \frac{l}{t} \qquad (3)$$

formula yordamida aniqlanadi. Demak, yopishqoqlik koeffitsiyentini aniqlash uchun sharchaning radiusi, sharcha va suyuqlik zichligi, erkin tushish tezlanishi, shuningdek, sharchaning ma'lum masofani bosib o'tish vaqti aniqlanishi kerak.

Tajriba jarayonida talabalar dastlab o'lchov asboblari bilan tanishadilar va sharchaning diametrini mikrometr yoki shtangensirkul yordamida aniqlaydilar. Diametr qiymatidan foydalanib sharcha radiusi hisoblanadi. Keyin tajribada foydalanilayotgan suyuqlikning zichligi aniqlanadi yoki berilgan ma'lumotdan foydalaniladi. Sharcha suyuqlikka tushirilgach, uning belgilangan masofani bosib o'tish vaqti bir necha marta o'lchanadi. Takroriy o'lchashlardan keyin vaqtning o'rtacha qiymati hisoblanadi.

Tajriba natijalarini jadval ko'rinishida rasmiylashtirish mumkin.

KASBIY YO'NALTIRILGAN METODIKA

Tajriba natijalarining ishonchliligini oshirish uchun o'lchashlarni bir necha marta takrorlash maqsadga muvofiq. Olingan qiymatlar asosida o'rtacha natija aniqlanadi. Tajribada haroratni ham qayd etish muhim, chunki suyuqlikning yopishqoqligi harorat o'zgarishiga sezilarli darajada bog'liq bo'lishi mumkin.

Mazkur tajribani kimyo-texnologiya yo'nalishi talabalariga o'qitishda uning kasbiy mazmunini ochib berishga alohida e'tibor qaratiladi. Masalan, tajribadan oldin talabalarga: "Nima uchun texnologik jarayonda suyuqlikning yopishqoqligini bilish zarur?" degan muammoli savol berish mumkin. Talabalar

ushbu savolga javob berish orqali yopishqoqlikning ishlab chiqarish jarayonlaridagi ahamiyatini aniqlaydilar.

Texnologik jarayonlarda suyuqlikning yopishqoqligi quvurdagi oqim tezligiga, nasosning ishlashiga, suyuqlikni aralashtirish samaradorligiga va energiya sarfiga ta’sir qiladi. Masalan, yopishqoqligi yuqori bo‘lgan suyuqlikni quvur orqali uzatishda qarshilik ortishi mumkin. Natijada suyuqlikni harakatlantirish uchun ko‘proq energiya talab etiladi. Shu sababli bo‘lajak texnolog mutaxassis fizik kattaliklarning amaliy ahamiyatini tushunishi va ularni tajriba asosida aniqlay olishi zarur [3].

Stoks tajribasini kasbiy yo‘naltirilgan holda tashkil etish talabalarda bir nechta muhim kompetensiyalarni shakllantiradi. Birinchidan, o‘lchash kompetensiyasi rivojlanadi: talabalar radius, masofa va vaqt kabi fizik kattaliklarni mustaqil o‘lchaydilar. Ikkinchidan, hisoblash kompetensiyasi shakllanadi: olingan natijalarni formulalar asosida qayta ishlash va yopishqoqlik koeffitsiyentini aniqlash amalga oshiriladi. Uchinchidan, tahliliy kompetensiya rivojlanadi: talabalar turli o‘lchash natijalarini taqqoslaydilar, farqlarning sabablarini izlaydilar va tajriba xatoliklarini baholaydilar. To‘rtinchidan, kasbiy-texnologik kompetensiya shakllanadi, chunki talabalar fizik kattalikning real texnologik jarayonlardagi ahamiyatini anglaydilar [3, 4].

Tajriba yakunida talabalarga texnologik suyuqliklarning yopishqoqligini taqqoslash, harorat o‘zgarishining yopishqoqlikka ta’sirini izohlash yoki olingan natijalar asosida texnologik jarayon uchun xulosa chiqarish kabi topshiriqlar berish mumkin. Bunday topshiriqlar fizik tajribani oddiy laboratoriya ishidan kasbiy yo‘naltirilgan amaliy mashg‘ulotga aylantiradi.

XULOSA

Stoks usulida yopishqoqlik koeffitsiyentini aniqlash tajribasi kimyo-texnologiya yo‘nalishi talabalarining nazariy bilimlarini amaliy va kasbiy faoliyat bilan bog‘lash imkonini beruvchi samarali fizik tajribalardan biridir. Tajriba jarayonida talabalar suyuqlikning yopishqoqligi haqidagi nazariy bilimlarini mustahkamlaydi, fizik kattaliklarni o‘lchaydi, tajriba natijalarini matematik qayta ishlaydi va o‘lchash xatoliklarini tahlil qiladi.

Shuningdek, yopishqoqlikning quvurlarda suyuqliklarni tashish, nasoslar faoliyati, aralashtirish va boshqa texnologik jarayonlardagi ahamiyatini tushuntirish orqali fizika fanining kasbiy yo‘nalishini kuchaytirish mumkin. Demak, Stoks usuliga asoslangan laboratoriya tajribalarini kasbiy mazmun bilan boyitish kimyo-texnologiya yo‘nalishi talabalarida o‘lchash, hisoblash, tahlil qilish va texnologik muammolarni hal etish bilan bog‘liq kompetensiyalarni shakllantirishga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 1. Механика, молекулярная физика и термодинамика. - М.: Кно Рус, 2018.
2. Halliday D., Resnick R., Walker J. Fundamentals of Physics. - Wiley, 2014.
3. Young H.D., Freedman R.A. University Physics with Modern Physics. - Pearson, 2000.
4. Беспалько В.П. Педагогика и прогрессивные технологии обучения. - М.: Просвещение, 2021.
5. Краевский В.В. Методология педагогического исследования. - М.: Академический проект, 2021.

EXACT DEHNEN-(1,4,0) HALO COMPACT STARS IN LINEAR *f*(*R*,*T*) GRAVITY VIA MINIMAL GEOMETRIC DEFORMATION

P.U.Jamolov[1]
1. Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti
paxlavon1994jamolov@gmail.com

1. Introduction

The nature of dark matter is one of the central open problems of modern physics. Its gravitational effect is firmly established on galactic scales [1], whereas its role in dense-matter systems with strong gravity remains poorly explored. Compact stars are natural laboratories for this question, because their pressures are comparable to the energy density and their matter may be anisotropic. A second line of inquiry is modified gravity. In $f(R,T)$ gravity [2] the Lagrangian depends on the Ricci scalar R and on the trace T of the energy–momentum tensor, so the pressures of the stellar fluid couple directly to the geometry. Exact solutions that contain both ingredients are hard to obtain. The minimal geometric deformation (MGD) method [3] allows an additional gravitational source to be added to a known seed solution while the temporal metric potential stays unchanged. Anisotropic stars immersed in a Dehnen-(1,4,0) halo [4] with the Kohler–Chao–Tikekar (KCT) seed geometry were constructed in [5]. Here we extend this construction to the linear model $f(R,T) = R + 2\lambda T$ and show that the coupling constant λ separates cleanly from the effect of the halo.

2. Field equations and effective source

For $f(R,T) = R + 2\lambda T$, an anisotropic fluid with mixed energy–momentum tensor diag(ρ, $-p_r$, $-p_t$, $-p_t$), and the matter Lagrangian $L_m = -\bar{p}$ with $\bar{p} = (p_r + 2p_t)/3$, the field equations read ($G = c = 1$)

$$G_{\mu\nu} = (8\pi + 2\lambda)T_{\mu\nu} + \lambda(T + 2\bar{p})g_{\mu\nu} \tag{1}$$

where $T = \rho - p_r - 2p_t$. We use the metric $ds^2 = e^{\alpha}dt^2 - e^{\beta}dr^2 - r^2d\Omega^2$ and define $Y = e^{-\beta}$. The tt, rr and θθ components of Eq. (1) connect the geometric functions $E = (1 - Y)/r^2 - Y'/r$, $P_r = -(1 - Y)/r^2 + Y\alpha'/r$ and the tangential function P_t to the physical variables. Writing $E = 8\pi\rho_{eff}$, $P_r = 8\pi p_{r,eff}$ and $P_t = 8\pi p_{t,eff}$ for the source seen by the geometry, one finds

$$E = (8\pi + 3\lambda)\rho - \frac{\lambda}{3}p_r - \frac{2\lambda}{3}p_t \tag{2}$$

$$P_r = -\lambda\rho + \left(8\pi + \frac{7\lambda}{3}\right)p_r + \frac{2\lambda}{3}p_t \tag{3}$$

$$P_t = -\lambda\rho + \frac{\lambda}{3}p_r + \left(8\pi + \frac{8\lambda}{3}\right)p_t \tag{4}$$

These relations are inverted exactly, so that the physical density and pressures follow from the geometry alone:

$$\rho = \frac{(24\pi + 9\lambda)E + \lambda P_r + 2\lambda P_t}{24(\lambda + 2\pi)(\lambda + 4\pi)} \tag{5}$$

$$p_r = \frac{3\lambda E + (24\pi + 11\lambda)P_r - 2\lambda P_t}{24(\lambda + 2\pi)(\lambda + 4\pi)} \tag{6}$$

$$p_t = \frac{3\lambda E - \lambda P_r + (24\pi + 10\lambda)P_t}{24(\lambda + 2\pi)(\lambda + 4\pi)} \tag{7}$$

with $\lambda \neq -2\pi, -4\pi$. For $\lambda = 0$ they reduce to $\rho = E/8\pi$, $p_r = P_r/8\pi$ and $p_t = P_t/8\pi$.

3. Dehnen halo and minimal geometric deformation

The Dehnen density profile [4] with inner slope $\gamma = 0$ has a finite central density,

$$\rho_D(r) = \frac{\rho_0 a^4}{(r+a)^4}, \quad m_D(r) = M_h \frac{r^3}{(r+a)^3} \tag{8}$$

where $\rho_0 = 3M_h/(4\pi a^3)$, M_h is the halo mass and a is the scale radius. Since ρ_D falls as r^{-4}, M_h is finite. In the MGD scheme the effective source is split into a seed part and a decoupled part weighted by η, the temporal potential is kept as in the seed, and only the radial function is deformed, $e^{-\beta} = \mu(r) + \eta s(r)$. Here μ

is the seed function. The geometric density then splits as $E = E_s + \eta E_\Theta$, with $E_\Theta = -(rs)'/r^2$. The halo is introduced through a mimic constraint: the tt component of the decoupled source equals ρ_D, that is $E_\Theta = 8\pi\rho_D$. The equation $(rs)' = -8\pi\rho_0 a^4 r^2/(r + a)^4$ has the regular solution

$$s(r) = -\frac{8\pi}{3}\rho_0 a^3 \frac{r^2}{(r+a)^3} \tag{9}$$

which vanishes for $\rho_0 = 0$ and behaves as r^2 near the center. Because $s < 0$, a positive η lowers $e^{-\beta}$.

4. Exact solution on the KCT seed

We take $e^{\alpha} = A + Br^2$ and $\mu = (A + Br^2)/(A + 2Br^2)$ with $A, B > 0$. The exact radial function is

$$e^{-\beta(r)} = \frac{A+Br^2}{A+2Br^2} - \frac{8\pi\eta}{3}\rho_0 a^3 \frac{r^2}{(r+a)^3} \tag{10}$$

It is regular at the center, $e^{-\beta(0)} = 1$, and does not contain λ. The geometry is fixed by (A, B, η, ρ_0, a), and λ enters only through Eqs. (5)–(7). The geometric density and the difference of the geometric pressures are

$$E = \frac{B(3A+2Br^2)}{(A+2Br^2)^2} + \frac{8\pi\eta\rho_0 a^4}{(r+a)^4} \tag{11}$$

$$P_t - P_r = \frac{4\pi\eta\rho_0 a^3 r\left(3A^2 - 2ABar + 7ABr^2 + 6B^2r^4\right)}{3(A+Br^2)^2(r+a)^4} \tag{12}$$

The seed is isotropic, so the anisotropy is produced by the halo alone and vanishes at the center. From Eqs. (6) and (7), the physical anisotropy $\Delta = p_t - p_r$ equals $(P_t - P_r)/[2(\lambda + 4\pi)]$, and therefore

$$\Delta = \frac{4\pi}{\lambda+4\pi}\Delta_E \tag{13}$$

where Δ_E is the Einstein value at $\lambda = 0$. The coupling rescales the anisotropy without changing its radial profile: positive λ suppresses it, while negative λ with $\lambda > -4\pi$ enhances it. For $\eta > 0$, $Ba^2 < 21A$ and $\lambda > -4\pi$ one has $\Delta > 0$, so the tangential pressure exceeds the radial one and the anisotropic force acts outward.

5. Matching and admissible coupling

Outside the star $T = 0$ and the field equations reduce to the Einstein vacuum equations, so the exterior is the Schwarzschild spacetime. Continuity of the first fundamental form gives $A + BR^2 = 1 - 2M/R$ and $e^{-\beta(R)} = 1 - 2M/R$, and continuity of the second fundamental form requires $P_r(R) = 0$. With the compactness $u = M/R$ these conditions give

$$A = 1 - 3u, \quad B = \frac{M}{R^3} \tag{14}$$

$$\eta\rho_0 = \frac{3u(1-2u)(R+a)^3}{8\pi(1-u)a^3R^2} \tag{15}$$

so that (A, B, ρ_0) are fixed by M, R, η and a, and $A > 0$ requires $u < 1/3$. Because the geometry does not depend on λ, the mass function, the compactness and the surface redshift $z_s = (1 - 2u)^{-1/2} - 1$ are the same for all λ. The coupling instead selects the physically acceptable configurations: positivity of ρ, p_r and p_t, the energy conditions, causality and stability, applied to Eqs. (5)–(7), restrict λ to an interval that depends on (M, R, η, a).

6. Conclusions

The Dehnen-(1,4,0) halo enters the stellar geometry through the exact deformation (9), and this deformation is the only source of anisotropy in the model. The coupling λ leaves the metric unchanged and acts on the physical variables through Eqs. (5)–(7), rescaling the anisotropy by $4\pi/(\lambda + 4\pi)$. The model therefore separates the effect of the halo from the effect of the matter–geometry coupling, and it allows λ to be constrained by requiring physically acceptable stars for given (M, R).

References

[1] G. Bertone, D. Hooper, J. Silk, Particle dark matter: evidence, candidates and constraints, Phys. Rep. 405, 279 (2005).

[2] T. Harko, F. S. N. Lobo, S. Nojiri, S. D. Odintsov, $f(R,T)$ gravity, Phys. Rev. D 84, 024020 (2011).

[3] J. Ovalle, Decoupling gravitational sources in general relativity: from perfect to anisotropic fluids, Phys. Rev. D 95, 104019 (2017).

[4] W. Dehnen, A family of potential–density pairs for spherical galaxies and bulges, Mon. Not. R. Astron. Soc. 265, 250 (1993).

[5] S. Khan, J. Rayimbaev, O. Sirajiddin, Y. Turaev, S. Usanov, A. Seytov, Gravitationally decoupled anisotropic compact stars immersed in Dehnen-(1,4,0) density profiles, Nucl. Phys. B 1024, 117356 (2026).

TEACHING THE DARK MATTER PROBLEM WITH THE DEHNEN-(1,4,0) MASS FUNCTION: FROM NEWTONIAN ROTATION CURVES TO A RELATIVISTIC STAR MODEL

P.U. Jamolov[1]
1. Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti
paxlavon1994jamolov@gmail.com

1. Introduction

Dark matter is one of the most visible open problems of modern physics. The flat rotation curves of spiral galaxies [1] and other evidence [2] point to unseen mass, yet the subject is hard to teach at an early stage. Realistic halo models such as the Navarro–Frenk–White (NFW) profile [3] contain logarithms in the mass function, which makes the algebra heavy for beginners. The Dehnen family of profiles [4] with inner slope $\gamma = 0$, the (1,4,0) model, has algebraic density and mass functions. The same profile is used in current research on compact stars in dark-matter environments [7]. As stressed in [2], the observed anomalies can be attributed either to unseen mass or to a deviation from the known laws of gravity. The model used here contains both options, which lets students compare them within one framework. This work describes a short teaching sequence for undergraduate students and members of student research clubs who know basic calculus. The sequence starts from Newtonian rotation curves and ends at a relativistic star model, and Python-based computation is its main new tool.

2. Newtonian stage: density, mass and rotation curve

The (1,4,0) density and the enclosed mass are

$$\rho_D(r) = \frac{\rho_0 a^4}{(r+a)^4}, \quad m_D(r) = M_h \frac{r^3}{(r+a)^3} \qquad (1)$$

with $\rho_0 = 3M_h/(4\pi a^3)$, where M_h is the halo mass and a is the scale radius. Students integrate the density themselves and see that the total mass is finite, because ρ_D falls as r^{-4}. The circular speed of a test body is

$$v_c^2(r) = \frac{G m_D(r)}{r} = \frac{G M_h r^2}{(r+a)^3} \qquad (2)$$

Three features can be read off directly. The speed grows as $v_c \propto r$ near the center, which reflects a constant-density core. It has a single maximum at $r = 2a$, where $v_c^2 = 4GM_h/(27a)$. At large radius it falls as $v_c \propto r^{-1/2}$, the Keplerian behavior of a finite mass. The last point is a useful topic for discussion. Observed curves stay flat [1], so this profile alone does not reproduce the outer part of a galaxy. Students compare it with the cuspy NFW profile [3] and discuss what a core and a cusp mean physically.

As a units exercise, students take the illustrative values $M_h = 10^{12}$ solar masses and $a = 20$ kpc. With $G = 4.30 \times 10^{-6}$ kpc (km/s)² per solar mass they obtain a peak speed of about 178 km/s at $r = 40$ kpc and about 158 km/s at $r = 100$ kpc, which shows how slowly the curve declines beyond the peak.

3. Computational tools

All steps are carried out in Python (NumPy, SymPy, Matplotlib) in a Jupyter notebook. The notebook runs in a web browser without local installation, for example on Google Colab, or on an ordinary computer-class machine. In the first task students integrate ρ_D symbolically and confirm $m_D(r)$. In the second they locate the maximum of v_c with SymPy and compare the result with $2a$. In the third they check the finiteness of the total mass numerically by integrating ρ_D to increasing radii and comparing the result with M_h. In the fourth they plot $v_c(r)$ with sliders for M_h and a and observe that a sets the position of the peak while M_h sets

its height. Each task can be given as a worksheet with a partly filled notebook. Research on interactive simulations reports higher student motivation and better conceptual understanding [5]. Symbolic verification is taught as a habit: every analytic relation used later in the sequence is first checked by the student in code. AI code assistants may be allowed for drafting scripts, provided that the student verifies the result symbolically or numerically.

4. Relativistic stage: from halo mass to metric

In general relativity ($G = c = 1$) the enclosed mass is defined by $e^{-\beta} = 1 - 2m(r)/r$. In the minimal geometric deformation construction of a compact star [7], the halo is added to a seed radial function $\mu(r)$ through a deformation $\eta s(r)$, where η is the deformation strength. When the halo density is the (1,4,0) profile, the deformation is

$$s(r) = -\frac{8\pi}{3}\rho_0 a^3 \frac{r^2}{(r+a)^3} = -\frac{2m_D(r)}{r} \qquad (3)$$

where m_D follows from Eq. (1) with $M_h = 4\pi\rho_0 a^3/3$. Students recognize the familiar form $1 - 2m/r$: the deformation is the Newtonian halo mass written in relativistic form. The radial function and the total mass function become

$$e^{-\beta} = \mu(r) - \frac{2\eta m_D(r)}{r} \qquad (4)$$

$$m(r) = m_s(r) + \eta m_D(r) \qquad (5)$$

where m_s is the mass of the seed star. For the seed geometry $e^{\alpha} = A + Br^2$ with $\mu = (A + Br^2)/(A + 2Br^2)$, which is of the Kohler–Chao–Tikekar type, one finds $m_s(r) = Br^3/[2(A + 2Br^2)]$. The parameter η thus weights the halo mass in the geometry, which gives students a concrete meaning for a parameter that is otherwise abstract.

The same model contains the matter–geometry coupling λ of linear $f(R,T)$ gravity, $f = R + 2\lambda T$ [6]. The coupling does not enter the metric. It changes the physical density and pressures that are reconstructed from the geometry, and this reconstruction is a 3×3 linear system that students solve with SymPy. As a final check they confirm numerically, for several values of λ, that the pressure anisotropy $\Delta = p_t - p_r$ obeys

$$\Delta = \frac{4\pi}{\lambda + 4\pi}\Delta_E \qquad (6)$$

where Δ_E is its value at $\lambda = 0$. One short notebook therefore links a Newtonian halo, a relativistic star and a modified-gravity parameter.

5. Organization and assessment

The sequence is proposed for three sessions of about 90 minutes. The first session covers Sections 2 and 3: the analytic profile, the rotation curve and the notebook tasks. The second covers the relativistic stage and the check of Eq. (6). In the third session each student varies one parameter (a, M_h, η or λ) and gives a short explanation of what changes and why. Assessment can rely on the notebook and on this short presentation, together with questions such as the following. Why does the (1,4,0) density stay finite at the center? Why does v_c fall at large radius although observed curves stay flat? What would change if an NFW halo were used instead?

6. Intended outcomes and conclusion

After the sequence students should be able to derive and interpret the rotation curve of the (1,4,0) halo, to connect a mass function with a metric through $1 - 2m/r$, and to use symbolic computation to verify relations and to explore the role of parameters. The sequence uses only algebraic functions and free software. It can be shortened for school-level clubs by omitting the last stage, and extended in higher courses to the physical viability conditions of the star. Natural topics for small club projects are other Dehnen slopes γ, for which $v_c^2 = GM_h r^{2-\gamma}/(r + a)^{3-\gamma}$, and other seed geometries. Students are told explicitly that the (1,4,0) profile, the linear $f(R,T)$ model and the effective-source treatment are simplified models. The

sequence illustrates a method of reasoning and computation. It is not a fitted description of a particular galaxy or star. An assessment of learning gains is outside the scope of this abstract.

References

[1] V. C. Rubin, W. K. Ford Jr., N. Thonnard, Rotational properties of 21 Sc galaxies with a large range of luminosities and radii, from NGC 4605 (R = 4 kpc) to UGC 2885 (R = 122 kpc), Astrophys. J. 238, 471 (1980).

[2] G. Bertone, D. Hooper, J. Silk, Particle dark matter: evidence, candidates and constraints, Phys. Rep. 405, 279 (2005).

[3] J. F. Navarro, C. S. Frenk, S. D. M. White, The structure of cold dark matter halos, Astrophys. J. 462, 563 (1996).

[4] W. Dehnen, A family of potential–density pairs for spherical galaxies and bulges, Mon. Not. R. Astron. Soc. 265, 250 (1993).

[5] C. E. Wieman, W. K. Adams, K. K. Perkins, PhET: simulations that enhance learning, Science 322, 682 (2008).

[6] T. Harko, F. S. N. Lobo, S. Nojiri, S. D. Odintsov, $f(R,T)$ gravity, Phys. Rev. D 84, 024020 (2011).

[7] S. Khan, J. Rayimbaev, O. Sirajiddin, Y. Turaev, S. Usanov, A. Seytov, Gravitationally decoupled anisotropic compact stars immersed in Dehnen-(1,4,0) density profiles, Nucl. Phys. B 1024, 117356 (2026).

OPTIKA FANINI O‘QITISHDA FIZIK EKSPERIMENTLAR VA RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR YORDAMIDA TALABALARNING KASBIY KOMPETENSIYALARINI TAKOMILLASHTIRISH

Po‘latova Nozimaxon Sobidxon qizi
Namangan davlat universiteti
e-mail:mirzihidobidjonov@gmail.com

Kirish. Bo‘lajak fizika o‘qituvchisini tayyorlashda fizik eksperiment nazariy bilimlarni amaliyot bilan bog‘lovchi asosiy vosita hisoblanadi. Eksperiment orqali talaba hodisani bevosita kuzatadi, gipoteza ilgari suradi, o‘lchaydi va natijani tahlil qiladi, ya’ni kelgusi kasbiy faoliyati uchun zarur bo‘lgan tadqiqotchilik ko‘nikmalarini egallaydi. Fizika sohasidagi ta’lim sifatini oshirishga qaratilgan me’yoriy hujjatlarda ham ta’lim jarayonini amaliy mashg‘ulotlar va zamonaviy laboratoriya bazasi bilan boyitish vazifasi belgilangan [1].

Shu bilan birga, amaliyotda o‘quv tajriba qurilmalari va didaktik vositalarning yetarlicha ishlab chiqilmagani fizik jarayon qonuniyatlarining o‘zaro aloqasiz o‘rganilishiga olib kelmoqda. Mavjud ishlarning ko‘pchiligi laboratoriya ishlarini virtual usulda bajarishga bag‘ishlangan, ma’ruza mashg‘ulotlari esa hanuz asosan an’anaviy shaklda o‘tkazilmoqda. Ushbu ishning maqsadi — optika fanini o‘qitishda real namoyish eksperimentlari va raqamli texnologiyalarni uyg‘unlashtirish orqali fizika yo‘nalishi talabalarining kasbiy kompetensiyalarini takomillashtirish metodikasini ishlab chiqish va uning samaradorligini tajriba-sinovda tekshirishdan iborat.

Kasbiy kompetensiya va eksperimentga asoslangan ma’ruza. Kasbiy kompetensiya deganda shaxsning muayyan kasbiy faoliyatni samarali bajarishi uchun zarur bo‘lgan bilim, ko‘nikma va malakalarning integrallashgan majmui tushuniladi [6]. Tadqiqotda fizika yo‘nalishi talabalarining kommunikativ, shaxsiy, texnologik va innovatsion kompetensiyalarini rivojlantirishga e’tibor qaratildi.

An’anaviy va eksperimentga asoslangan ma’ruzalarning qiyosiy tahlili ular o‘rtasida sezilarli farqlar borligini ko‘rsatdi. An’anaviy ma’ruzada talaba asosan passiv tinglovchi bo‘lib, interferensiya yoki qutblanish kabi hodisalarni faqat doskadagi chizma orqali tasavvur qiladi. Eksperimentga asoslangan ma’ruzada esa nazariya lazer, prizma, difraksion panjara, interferometr va polyaroidlar yordamidagi

namoyishlar bilan parallel olib boriladi: talaba hodisani o‘z ko‘zi bilan ko‘radi, «nima uchun shunday bo‘ldi?» degan savolga javob izlaydi, natijada bilim uzoq muddat esda saqlanadi [3; 5]. Bunday ma’ruza o‘qituvchidan ko‘proq tayyorgarlik, jihozlarni sozlash va texnika xavfsizligini ta’minlashni talab qiladi.

Ma’ruza mashg‘ulotining bosqichlari. Eksperimentga asoslangan ma’ruza uch bosqichda tashkil etildi. Birinchi bosqichda mashg‘ulot ta’rif bilan emas, balki javobi darhol ko‘rinmaydigan muammoli savol bilan boshlanadi. Masalan, idishdan oqib chiqayotgan suv oqimiga lazer nuri yo‘naltirilganda nur oqim bo‘ylab egilib tarqalayotgandek ko‘rinadi. O‘qituvchi talabalarga: «Yorug‘lik bir jinsli muhitda to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tarqaladi-ku, nega nur suv oqimi ichida egri yo‘l bo‘ylab harakatlanmoqda?» degan savol bilan murojaat qiladi. Bu savol talabalarni to‘liq ichki qaytish hodisasini mustaqil izlashga undaydi va mavzuni optik tolalarning amaliy qo‘llanilishi bilan bog‘laydi.

Ikkinchi bosqichda interaktiv ma’ruza-namoyish (Interactive Lecture Demonstrations) usuli qo‘llaniladi: talabalar tajriba natijasini oldindan bashorat qiladi, uni kuzatadi va o‘z bashoratini natija bilan solishtirib muhokama qiladi [3]. Uchinchi, loyihaviy bosqichda talabalar kichik guruhlarda oddiy fizik eksperimentni o‘zlari rejalashtiradi va bajaradi, bunda raqamli o‘lchov vositalari va simulyatsiyalardan foydalanadi.

Tadqiqot davomida o‘quv fizik eksperimentini o‘tkazishda yuzaga keladigan noaniqlik omillari — natijaga ta’sir etuvchi va oldindan to‘liq bashorat qilib bo‘lmaydigan sharoit va sabablar aniqlanib, o‘quv eksperimentining tasnif mezonlari asosida tizimlashtirildi. Ular asosida noaniq shartli eksperimental topshiriqlarni tuzish tamoyillari ishlab chiqildi. Bunday topshiriqlar bo‘lajak o‘qituvchini tezkor qaror qabul qilishga va muammoni ijodiy hal etishga o‘rgatadi. Demak, fizik eksperiment oddiy o‘quv ishi emas, balki bo‘lajak o‘qituvchining noaniqlik sharoitida ishlashga tayyorligini shakllantiruvchi didaktik muhitdir.

Raqamli vositalar va pedagogik model. Real eksperiment raqamli vositalar bilan to‘ldirildi. Talabalar tajribani PhET interaktiv simulyatsiyalari yordamida oldindan modellashtirdi [2; 4]. Muallif tomonidan «Buger–Lambert–Ber qonunidan foydalanib moddaga tushayotgan yorug‘likning to‘lqin uzunligini aniqlash» (DGU № 26683) va «Yorug‘lik to‘lqini uchun Doppler effekti va uning amaliyotda qo‘llanilishi» (DGU № 35856) dasturiy vositalari hamda «Oliy ta’limda fizika yo‘nalishi talabalarining kasbiy kompetensiyalarini takomillashtirish» elektron o‘quv-metodik platformasi (DGU № 57822) ishlab chiqildi. Ular asosida maqsadli, mazmunli, texnologik-jarayonli va diagnostik-natijaviy komponentlardan iborat pedagogik model takomillashtirildi.

Tajriba-sinov natijalari. Tajriba-sinov ishlari 2023–2024 va 2024–2025 o‘quv yillarida Andijon davlat pedagogika instituti, Namangan davlat universiteti va O‘zbekiston Milliy universitetida o‘tkazildi. Unda jami 280 nafar talaba ishtirok etdi: tajriba guruhlarida 144, nazorat guruhlarida 136 nafar. Tajriba boshlanishida guruhlar o‘rtasidagi farq sezilarli bo‘lmadi, yakunida esa tajriba guruhlari natijalari ancha yuqori bo‘ldi (1-jadval).

1-jadval. Tajriba-sinov natijalari

Guruh	Bosqich	A’lo	Yaxshi	Qoniqarli	Qoniqarsiz	O‘rtacha ball
Tajriba (n = 144)	Boshlanishida	16 (11,1%)	36 (25,0%)	65 (45,1%)	27 (18,8%)	3,28
Nazorat (n = 136)	Boshlanishida	11 (8,1%)	35 (25,7%)	64 (47,1%)	26 (19,1%)	3,23
Tajriba (n = 144)	Yakunida	43 (29,9%)	69 (47,9%)	22 (15,3%)	10 (6,9%)	4,01
Nazorat (n = 136)	Yakunida	19 (14,0%)	37 (27,2%)	50 (36,8%)	30 (22,1%)	3,33

Tajriba yakunida «a’lo» va «yaxshi» baho olgan talabalar ulushi tajriba guruhlarida 77,8% ni, nazorat guruhlarida esa 41,2% ni tashkil etdi. Styudent mezoni bo‘yicha hisoblangan qiymat t = 6,24 (erkinlik darajasi 278), Pirsonning muvofiqlik mezoni $\chi^2 = 39{,}64$ bo‘lib, ikkala qiymat ham kritik qiymatdan katta. O‘qitish samaradorligi koeffitsiyenti 4,01 / 3,33 ≈ 1,20 > 1 ga teng. Tajriba guruhlarida o‘zlashtirish nazorat guruhlariga nisbatan 13,6% ga yuqori bo‘ldi.

Xulosa. Optika fanini o‘qitishda real namoyish eksperimentlari, interaktiv ma’ruza-namoyish, loyihaviy ta’lim va raqamli vositalarni uyg‘unlashtirish fizika yo‘nalishi talabalarining kasbiy kompetensiyalarini rivojlantirishda yuqori samara beradi. Noaniq shartli eksperimental topshiriqlarni laboratoriya va mustaqil ta’lim mazmuniga kiritish, ma’ruzalarni muammoli savol va namoyish eksperimenti bilan boshlash hamda kompetensiyalar darajasini matematik-statistik usullar yordamida muntazam tashxis qilib borish tavsiya etiladi.

Adabiyotlar

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021-yil 19-martdagi «Fizika sohasidagi ta’lim sifatini oshirish va ilmiy tadqiqotlarni rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida»gi PQ-5032-son qarori.
2. PhET Interactive Simulations. – University of Colorado Boulder. – URL: https://phet.colorado.edu
3. Sokoloff D.R., Thornton R.K. Using interactive lecture demonstrations to create an active learning environment // The Physics Teacher. – 1997. – Vol. 35, No. 6. – P. 340–347.
4. Wieman C., Perkins K. Transforming physics education // Physics Today. – 2005. – Vol. 58, No. 11. – P. 36–41.
5. Freeman S., Eddy S.L., McDonough M. et al. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics // PNAS. – 2014. – Vol. 111, No. 23. – P. 8410–8415.
6. Хуторской А.В. Ключевые компетенции как компонент личностно-ориентированной парадигмы образования // Народное образование. – 2003. – № 2. – С. 58–64.

FIZIK JARAYONLARNI MODELLASHTIRISHDA MATEMATIK MANTIQIY AMALLARDAN FOYDALANISH METODIKASINI RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR ASOSIDA TAKOMILLASHTIRISH

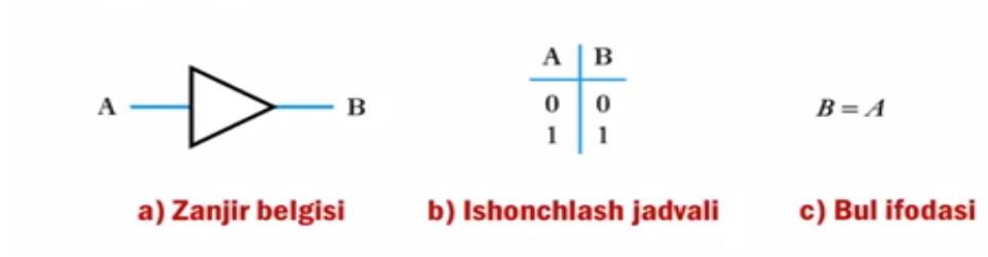
[1]*S.X. Zoirov.*,[2]Rizoyeva S.D
Samarqand davlat pedagogika instituti,
[2]*Tabiiy fanlar fakulteti, Fizika kafedrasi assistenti.,*
[2]*Tabiiy fanlar fakulteti, Fizika va astranomiya yo‘nalishi talabasi.*
s.zoirov88.fizik@gmail.com

Kalit so‘zlar: Fizik jarayonlar, matematik mantiq, raqamli texnologiyalar, modellashtirish metodikasi, algoritmik ta'minot, simulyatsiya, hisoblash aniqligi, tizimli tahlil, axborot texnologiyalari.

Annotatsiya: Ushbu maqolada fizik jarayonlarni modellashtirishda matematik mantiqiy amallardan foydalanish metodikasini raqamli texnologiyalar asosida takomillashtirish masalalari ko‘rib chiqilgan. Tadqiqot jarayonida fizik qonuniyatlarni mantiqiy-matematik modellarga o‘tkazish, murakkab tizimlar harakatini simulyatsiya qilish, shuningdek, raqamli muhitda hisoblash aniqligi va tezkorligini oshirishga qaratilgan uslubiy yondashuvlar taklif etilgan. Olingan natijalar fizik jarayonlarni tahlil qilish hamda ilmiy-tadqiqot va ta’lim jarayonlarini avtomatlashtirishda qo‘llanilishi mumkin.

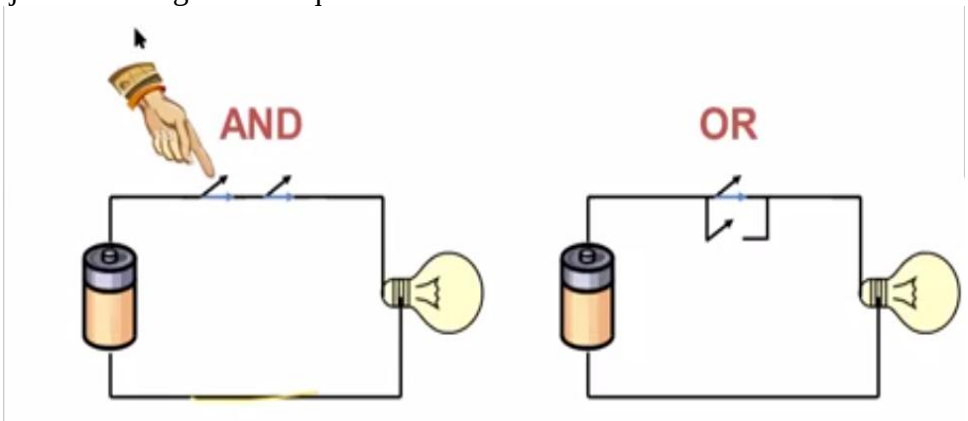
Bugungi kunda raqamli texnologiyalarning jadal rivojlanishi ilmiy-tadqiqot ishlari, xususan, fizika va texnika fanlari sohasida yangi, yanada samarali yondashuvlarni qo‘llashni taqozo etmoqda. Fizik jarayonlarni o‘rganish, ularning dinamikasini tahlil qilish hamda kelgusidagi holatini oldindan bashorat qilishda an’anaviy differensial tenglamalar bilan bir qatorda matematik mantiqiy amallardan foydalanish

muhim nazariy va amaliy ahamiyat kasb etadi. An’anaviy usullar ko‘pincha murakkab tizimlardagi noaniqliklar, shartli o‘zgarishlar va diskret holatlarni to‘liq qamrab olishda cheklovlarga duch keladi. Shu bois, fizik qonuniyatlarni mantiqiy-matematik modellar orqali rasmiylashtirish va ularni raqamli muhitda simulyatsiya qilish metodikasini yanada takomillashtirish bugungi kunning dolzarb ilmiy vazifalaridan biri hisoblanadi.



1-rasm. matematik mantiqiy buffer elementlari.

Tadqiqotning asosiy maqsadi fizik jarayonlarni modellashtirish samaradorligini oshirish maqsadida matematik mantiqiy amallarni qo‘llash metodikasini raqamli texnologiyalar bazasida takomillashtirishdan iboratdir. Ushbu maqsadga erishish uchun fizik qonuniyatlarni mantiqiy-matematik munosabatlarga o‘tkazish, zamonaviy dasturlash muhitlarida simulyatsiya modellarini yaratish hamda hisoblash jarayonidagi aniqlikni ta’minlash vazifalari belgilab olindi. Mazkur yondashuv fizika-texnika tizimlarini o‘rganishda yangi algoritmik imkoniyatlarni ochib berib, tadqiqot natijalarining adekvatligini sezilarli darajada oshirishga xizmat qiladi.



2-rasm. Matematik mantiqiy elementlarining qo’llanilish sohalari

Fizik jarayonlarni raqamli muhitda modellashtirishda an’anaviy differensial tenglamalar tizimini faqat sonli usullar (masalan, chekli farqlar usuli) orqali yechish yetarli bo‘lmagan holatlarda, ularga matematik mantiqiy amallarni (predikatlar, mantiqiy shartlar va mantiqiy algebra elementlarini) uyg'unlashtirish zarurati tug‘iladi. Chunki real fizik muhitdagi o‘zgarishlar (masalan, fazaviy o‘tishlar, impulsli ta'sirlar, chegaraviy shartlarning sakrashsimon o‘zgarishi) uzluksiz funksiyalar bilan bir qatorda mantiqiy munosabatlarni ham talab qiladi. Tadqiqot doirasida mexanik tebranishlar va issiqlik tarqalishi kabi jarayonlarning differensial modellarini mantiqiy shartlar bilan boyitish bosqichlari ishlab chiqildi.

Raqamli texnologiyalar asosida bu metodikani takomillashtirish uchun fizik qonuniyatlar quyidagi bosqichli algoritm asosida mantiqiy-matematik shaklga keltirildi:

- 1.Fizik obyektning holatini mantiqiy o‘zgaruvchilar orqali ifodalash: Tizimdagi har bir cheklovchi shart Boolean (mantiqiy) o‘zgaruvchilar (True yoki False) yordamida rasmiylashtirildi.
- Mantiqiy-funksional bog'liqliklarni tuzish: Predikatlar mantiqi yordamida jarayonning borish yo‘nalishini aniqlovchi mantiqiy shartlar tizimi tuzildi.

➢ Dasturiy muhitda simulyatsiya qilish: Python va MATLAB dasturiy muhitlarida mazkur mantiqiy shartlar if-elif-else va mantiqiy operatorlar asosida kodlashtirilib, hisoblash algoritmi optimallashtirildi.

Natijada, ishlab chiqilgan takomillashtirilgan metodika murakkab fizik tizimlarning holatini oldindan bashorat qilish aniqligini oshirdi. Hisoblash jarayonidagi ortiqcha iteratsiyalar qisqartirilib, raqamli simulyatsiyaning tezkorligi ta'minlandi. Ushbu yondashuv fizik jarayonlardagi noaniqliklarni kamaytirish va modellashtirish jarayonini to‘liq avtomatlashtirish imkonini berdi.

Tadqiqot doirasida fizik jarayonlarni modellashtirish samaradorligini oshirishga qaratilgan ilmiy-uslubiy yondashuvlar tahlil qilinib, matematik mantiqiy amallarni raqamli texnologiyalar asosida tatbiq etish metodikasi takomillashtirildi. An’anaviy differensial tenglamalarni mantiqiy shartlar va predikatlar mantiqi bilan boyitish orqali real fizika-texnika jarayonlaridagi diskret holatlar va noaniqliklarni to‘liq qamrab olish imkoniyati kengaytirildi. Python va MATLAB kabi zamonaviy dasturiy muhitlarda ishlab chiqilgan mantiqiy-algoritmik modellar hisoblash jarayonining aniqligi va tezkorligini oshirishga, ortiqcha iteratsiyalarni qisqartirishga xizmat qildi. Olingan ilmiy natijalar va amaliy tavsiyalar oliy ta‘lim muassasalarida fizika va kompyuter modellashtirish fanlarini o‘qitish sifatini yaxshilash, shuningdek, talabalarning algoritmik va mantiqiy fikrlash ko‘nikmalarini rivojlantirishda muhim amaliy ahamiyat kasb etadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Yusupbekov, N. R., & Muxitdinov, D. P. Texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslari. — Toshkent: “Fan va texnologiya”, 2015. — 15–19-betlar. (Tezisdagi umumiy modellashtirish va raqamli yondashuvlarga asos).
2. Qodirov, J. X., & Xusanov, B. M. Matematik modellashtirish va axborot texnologiyalari. — Toshkent: O‘zbekiston faylasuflari milliy jamiyati nashriyoti, 2015. — 24–28-betlar. (Matematik modellar va ularning dolzarbligiga doir).
3. Porshnev, S. V. Kompyuternoye modelirovaniye fizicheskix protsessov paketax MATLAB MathCad. — Sankt-Peterburg: Piter, 2011. — 45–48-betlar. (Fizik jarayonlarni MATLAB muhitida dasturiy simulyatsiya qilishga doir).
4. Tixonov, A. N., & Samarskiy, A. A. Uravneniya matematicheskoy fiziki. — Moskva: Izdatelstvo MGU, 2004. — 62–66-betlar. (Tebranishlar va issiqlik tarqalishi kabi fizik jarayonlarning differensial modellari bo‘yicha).
5. Kuznetsov, O. P. Diskretnaya matematika dlya injenerov informatikov. — Moskva: Yunivers, 2010. — 90–94-betlar. (Matematik mantiqiy amallar, predikatlar va mantiqiy shartlarni tizimlarga tatbiq etish bo‘yicha).

NANOELEKTRONIKA FANINI O‘QITISHNING PEDAGOGIK MODELI VA UNING SAMARADORLIGINI BAHOLASH MEZONLARI

Saodat Xoliqulova
Qarshi davlat pedagogika universiteti, doktoranti

Bugungi kunda nanoo‘lchamdagi elektron qurilmalarni yaratish, ularning fizik xususiyatlarini tadqiq qilish va nanoelektron texnologiyalarni amaliyotga joriy etish zamonaviy fizika hamda elektronikaning istiqbolli yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Qurilmalarning geometrik o‘lchamlari nanometr diapazoniga kamayishi bilan ularda klassik fizik qonuniyatlar bilan bir qatorda kvant o‘lcham effektlari, sirt hodisalari, tunnellanish, ballistik transport va boshqa nanoskopik jarayonlarning ta’siri ortadi. Shu sababli oliy ta’lim tizimida bo‘lajak fizik va muhandis mutaxassislarni nanoelektronika sohasiga tayyorlashda faqat nazariy

bilimlarni berish yetarli emas. Talabalar nanoo‘lchamli tizimlarning fizik mohiyatini tushunish, nanostrukturalarni modellashtirish, tajriba natijalarini tahlil qilish va zamonaviy elektron qurilmalar ishlash prinsiplarini tushuntira olish kompetensiyalariga ega bo‘lishlari zarur. Nanoelektronika fanining mazmuni fizika, elektronika, materialshunoslik, matematika, informatika va nanofizika kabi fanlar bilan bevosita bog‘liq. Shu jihatdan mazkur fanni o‘qitishda fanlararo yondashuvdan foydalanish ta’lim mazmunining yaxlitligini ta’minlaydi.

Mavzuning dolzarbligi nanoelektronika fanini o‘qitish jarayonini yagona pedagogik tizim sifatida tashkil etish, uning tarkibiy komponentlarini aniqlash va ta’lim natijalarini obyektiv baholash mezonlarini ishlab chiqish zarurati bilan belgilanadi. Oliy ta’lim muassasalarida “Nanoelektronika” fanini samarali o‘qitishga xizmat qiluvchi pedagogik modelni ishlab chiqish hamda talabalarda shakllanadigan nanoelektronika kompetensiyalarini baholash mezonlarini aniqlash muhim hisoblanadi. Ushbu maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar belgilandi:

Nanoelektronika fanini o‘qitishning didaktik imkoniyatlarini aniqlash.

Fanni o‘qitish jarayonining asosiy komponentlarini belgilash.

Nanoelektronika kompetensiyalarining tarkibini aniqlash.

Zamonaviy pedagogik va raqamli texnologiyalarni modelga integratsiyalash.

Talabalar bilim, ko‘nikma va kompetensiyalarini baholash mezonlarini ishlab chiqish.

Taklif etilgan modelning pedagogik samaradorligini tajriba-sinov asosida baholash imkoniyatlarini aniqlash.

Pedagogik modelning tarkibiy komponentlari quyidagicha: Modelning maqsadli komponenti talabalarda nanoelektronika bo‘yicha fundamental bilimlar, amaliy ko‘nikmalar va kasbiy kompetensiyalarni shakllantirishga yo‘naltiriladi. Mazmuniy komponentda nanoelektronikaning asosiy tushunchalari va texnologiyalari: nanostrukturalar, kvant o‘lcham effekti, tunnellanish, nanoelektron qurilmalar, MOSFET x, FinFET, CNT-FET (uglerod nanotrubalari), yupqa plyonkalar va nanomateriallarning fizik xususiyatlari kabi mavzular tizimlashtiriladi. Jarayonli komponentda an’anaviy ma’ruza va amaliy mashg‘ulotlar bilan bir qatorda muammoli ta’lim, loyiha asosida ta’lim, virtual laboratoriya, kompyuter modellashtirish, interaktiv topshiriqlar va mustaqil tadqiqot faoliyatidan foydalaniladi. Natijaviy komponent esa talabaning nanoelektronika bo‘yicha bilim, amaliy ko‘nikma va kompetensiyalarining shakllanganlik darajasini aniqlashga qaratiladi[1].

Talabada nanoelektronika kompetensiyasini shakllantirishni to‘rtta asosiy omil orqali tashkil etish mumkin.

a) Talabaning nanoelektronika, nanomateriallar va zamonaviy elektron qurilmalarga qiziqishi, mustaqil izlanishga tayyorligi va tadqiqot faoliyatiga motivatsiyasi bilan belgilanadi.

b) Kognitiv jihatdan, talabaning nanoelektronikaning fundamental tushunchalari, fizik qonuniyatlari, nanostrukturalarning xususiyatlari va nanoelektron qurilmalar ishlash prinsiplarini bilishi bilan tavsiflanadi.

c) Talabaning nazariy bilimlardan foydalanib, nanoelektron tizimlarni modellashtirish, virtual laboratoriya topshiriqlarini bajarish, tajriba natijalarini tahlil qilish va muammoli vazifalarni hal qila olish qobiliyatini ifodalaydi.

d) Talabaning o‘z bilim va ko‘nikmalarini baholashi, xatolarini aniqlashi, natijalarni tahlil qilishi va mustaqil ravishda bilimini takomillashtirish qobiliyatini aks ettiradi.

Pedagogik model doirasida quyidagi metodlardan foydalanish maqsadga muvofiq: muammoli ta’lim; loyihaviy ta’lim; fanlararo integratsiya; case-study; “aqliy hujum”; konseptual xarita; modellashtirish; virtual laboratoriya; mustaqil tadqiqot; guruhda va individual ishlash. Ta’lim vositalari sifatida virtual laboratoriya platformalari, kompyuter texnologiyalari, elektron ta’lim resurslari, multimedia materiallari, interaktiv testlar va grafik modellashtirish vositalaridan foydalanish mumkin. Masalan, **MOSFET**(Metall-oksid-yarimo’tkazgichli maydon tranzistori)**ning nanoo‘lchamga**

kamayishi mavzusini o‘rganishda talaba avval nazariy model bilan tanishadi, keyin qurilmaning parametrlarini kompyuter modeli yordamida o‘zgartiradi, olingan grafiklarni tahlil qiladi va fizik sabablarni izohlaydi.

Pedagogik modelning samaradorligini aniqlash uchun tajriba-sinov ishlarini uch bosqichda tashkil etish taklif etiladi:

1-bosqich — aniqlovchi bosqich. Talabalarning nanoelektronika bo‘yicha dastlabki bilimlari, amaliy ko‘nikmalari va fanga qiziqish darajasi aniqlanadi.

2-bosqich — shakllantiruvchi bosqich. Tajriba guruhida ishlab chiqilgan pedagogik model asosida darslar tashkil etiladi. Nazariy mashg‘ulotlar virtual laboratoriyalar, modellashtirish, muammoli topshiriqlar va loyiha faoliyati bilan boyitiladi.

3-bosqich — nazorat bosqichi. Tajriba va nazorat guruhlarining yakuniy natijalari aniqlanib, boshlang‘ich ko‘rsatkichlar bilan taqqoslanadi. Samaradorlikni faqat yakuniy ball bilan emas, balki **bilim, amaliy faoliyat, mustaqil fikrlash va tahlil qilish** kabi bir nechta ko‘rsatkichlar orqali baholash maqsadga muvofiq.

Taklif etilayotgan pedagogik modeldan foydalanish natijasida: talabalarning nanoelektronika bo‘yicha nazariy bilimlari tizimlashtiriladi; nanoo‘lchamli fizik jarayonlarni tushuntirish qobiliyati rivojlanadi; kompyuter modellashtirish ko‘nikmalari shakllanadi; virtual laboratoriya bilan ishlash kompetensiyasi rivojlanadi; muammoli vaziyatlarni mustaqil hal qilish qobiliyati oshadi; fanlararo bilimlarni integratsiyalash imkoniyati kengayadi; talabalarning mustaqil tadqiqotchilik faoliyati rivojlanadi.

Oliy ta’lim tizimida nanoelektronika fanini samarali o‘qitish mazkur fan mazmunini zamonaviy pedagogik yondashuvlar bilan uyg‘unlashtirishni talab etadi. Tadqiqotda taklif etilgan pedagogik model maqsadli, mazmuniy, metodik, texnologik, baholash va natijaviy komponentlarning o‘zaro bog‘liqligiga asoslanadi. Modelning muhim jihati nanoelektronika bo‘yicha nazariy bilimlarni amaliy faoliyat bilan integratsiyalashdan iborat. Xususan, virtual laboratoriyalar, kompyuter modellashtirish, muammoli ta’lim va loyiha faoliyatidan foydalanish talabalarning nafaqat bilimlarini, balki amaliy va tadqiqotchilik kompetensiyalarini rivojlantirish imkonini beradi. Shuningdek, motivatsion, kognitiv, amaliy-faoliyat va refleksiv mezonlar asosida baholash tizimini joriy etish talabalarning nanoelektronika kompetensiyalarini kompleks tarzda aniqlash imkonini beradi. Kelgusida ishlab chiqilgan pedagogik modelni tajriba-sinovdan o‘tkazish, uning samaradorligini statistik mezonlar asosida aniqlash va natijalarni nazorat guruhi bilan taqqoslash tadqiqotning keyingi bosqichini tashkil etadi [2].

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Muslimov N.A. Kasb ta’limi o‘qituvchilarining kasbiy kompetentligini shakllantirish nazariyasi va metodikasi. — Toshkent: Fan, 2007.
2. Tolipov O‘.Q., Usmonboyeva M. Pedagogik texnologiyalarning tatbiqiy asoslari. — Toshkent: Fan, 2006.

UMUMIY O‘RTA TA’LIM MAKTABLARIDA FIZIKA O‘QITISHDA MINI-LOYIHALARDAN FOYDALANISH

U.S.Babaxodjayev[1], O.T.Ismanova[2], B.F.Ergashev[1], S.M.Shamsiddinova[1]
[1]Namangan davlat pedagogika instituti; [2]Namangan davlat universiteti

Fizika umumiy o‘rta ta’lim tizimida tabiiy-ilmiy dunyoqarashni shakllantiruvchi hamda muhandislik va texnologiya sohalaridagi kasbiy ta’limning poydevorini tashkil etuvchi fan hisoblanadi. Zamonaviy ta’lim standartlari o‘quvchidan bilimlarni qayta ifodalashni emas, balki ularni notanish amaliy vaziyatda qo‘llay olishni — ya’ni tadqiqotchilik, axborot bilan ishlash va kommunikativ kompetensiyalarni egallashni talab

qilmoqda. Shu bois fizika o‘qitish metodikasi oldida turgan asosiy vazifa o‘quv materialining hajmini oshirish emas, balki o‘quvchining bilish faoliyatini tashkil etish usulini o‘zgartirishdan iborat.

Biroq amalda fizikani o‘zlashtirish ko‘rsatkichlari va unga bo‘lgan qiziqish darajasi pasayib borayotgani kuzatilmoqda. Buning asosiy sababi o‘quv jarayonida reproduktiv usullarning ustunligidir: o‘quvchi tayyor formulani yodlaydi, tayyor algoritm bo‘yicha masala yechadi va o‘zi o‘lchamagan, o‘zi kuzatmagan hodisa haqidagi xulosani qabul qiladi. Natijada fizika qonunlari o‘quvchi ongida real olamdagi jarayonlar bilan bog‘lanmagan mavhum belgilar tizimi sifatida saqlanib qolishi mumkin.

Mazkur muammoni bartaraf etishning samarali vositalaridan biri loyihaviy ta’lim texnologiyasi hisoblanadi, chunki u o‘quvchini bilish jarayonining passiv kuzatuvchisidan faol ishtirokchisiga aylantiradi. Shu bilan birga, uni ommaviy maktab amaliyotiga joriy etishga to‘laqonli loyiha uzoq vaqtni talab etadi, amaldagi dars jadvali esa bunga moslashtirilmagan. Haftasiga ikki soat fizika ajratilgan sinfda uzoq muddatli loyihani dars doirasida amalga oshirish imkoniyati kam. Shu tariqa loyihaviy ta’limning tan olingan didaktik samaradorligi bilan uni amaldagi o‘quv jarayoniga joriy etishning tashkiliy cheklovlari o‘rtasida ziddiyat yuzaga keladi. Ushbu ziddiyatni hal etish tadqiqotimizning asosiy maqsadini belgilab berdi.

Mini-loyiha — muammoning ijobiy hal qilishni metodik yechimidan biri hisoblanadi. Metodik nuqtai nazardan mini-loyiha darsni barcha qismlarini qamrab oladi, ya’ni yangi bilimni hosil qilish, o‘rganilgan mavzuni mustahkamlash o‘quvchilar bilim va ko‘nikmalari kompleks baholash imkoni beradi. Bundan tashqari, o‘quv yili davomida izchil o‘tkazilgan mini-loyihalar qatori o‘quvchini bosqichma-bosqich uzoq muddatli mustaqil loyiha faoliyatiga tayyorlaydi, ya’ni mini-loyiha loyihaviy ta’lim tizimidagi boshlang‘ich va tayyorlov bo‘g‘ini vazifasini bajaradi.

A.X.Xakimova va E.A.Rumbeshta mazkur ziddiyatning yechimi sifatida mini-loyihalardan foydalanishni asoslab berganlar [1]. E.S.Polat tasnifiga ko‘ra, bir dars yoki bir necha mashg‘ulot doirasida amalga oshiriladigan loyiha mini-loyiha deb nomlanadi [2]. Mualliflarning motivatsiyasi past va o‘rtacha bo‘lgan sinflarda o‘tkazgan tadqiqoti aynan loyiha texnologiyasi ushbu toifadagi o‘quvchilar uchun eng samarali texnologiya ekanini tasdiqladi. Namangan viloyatidagi fizika fani chuqurlashtirib o‘qitiladigan maktabda o‘tkazilgan tajriba-sinov ishlari doirasida so‘rovnomada qatnashgan o‘quvchilarning 90 foizidan ortig‘i loyiha faoliyatiga nisbatan qiziqish bildirgani aniqlandi.

Mini-loyihaning Respublikamiz maktablari uchun asosiy afzalligi shundan iboratki, u amaldagi dars jadvalini, o‘quv rejasini va soatlar taqsimotini o‘zgartirishni talab qilmaydi. Mini-loyiha alohida fan yoki to‘garak mashg‘uloti emas — u oddiy fizika darsining o‘zida, shu darsning dasturiy mavzusi doirasida amalga oshiriladi. Bundan tashqari, u qimmat laboratoriya jihozini talab etmaydi: mini-loyihalarning aksariyati maktabda mavjud oddiy jihozlar va kundalik buyumlar yordamida bajariladi, bu esa moddiy-texnik bazasi cheklangan maktablar uchun alohida ahamiyat kasb etadi.

Mini-loyihani oddiy amaliy topshiriqdan farqlovchi asosiy mezon — maqsadni o‘qituvchi emas, o‘quvchilarning o‘zlari ta’riflashidir. O‘qituvchi faqat muammoli vaziyatni yaratadi va maslahatchi vazifasini bajaradi. Shu bois mini-loyihani joriy etishning zaruriy sharti o‘qituvchi rolini axborot manbaidan tashkilotchi-maslahatchiga o‘zgartirishdan iborat.

Mexanika bo‘limidan mini-loyiha namunalari

Mexanika bo‘limi mini-loyihalar uchun eng qulay material beradi, chunki undagi hodisalarni o‘quvchi bevosita kuzatishi va o‘lchashi mumkin. Quyida 7-sinf fizika kursi uchun ishlab chiqilgan ikki mini-loyiha keltirilgan.

1-mini-loyiha: «O‘z qo‘limiz bilan dinamometr»

Mavzu: Elastiklik kuchi. Guk qonuni. **Davomiyligi:** 1 dars. **Jihozlar:** prujina yoki rezina halqa, shtativ, chizg‘ich, ma’lum massali yuklar (yoki suv solingan stakan), qog‘oz tasma, qalam.

Muammoli vaziyat: bozorda tarozi ishdan chiqdi. Sotuvchiga mahsulot og‘irligini aniqlashda qanday yordam berish mumkin? O‘quvchilar maqsadni o‘zlari ta’riflaydilar — kuch o‘lchaydigan asbob yasash va uni darajalash.

Bosqich	O‘quvchilar faoliyati	O‘qituvchi faoliyati
1. Muammoli vaziyat, maqsad qo‘yish	Bozorda tarozisiz og‘irlikni qanday aniqlash mumkinligini muhokama qiladilar; maqsadni o‘zlari ta’riflaydilar: kuch o‘lchaydigan asbob yasash	Hayotiy vaziyatni taqdim etadi, muhokamani yo‘naltiradi
2. Rejalashtirish	Prujina (rezina) cho‘zilishi bilan osilgan yuk og‘irligi orasidagi bog‘lanishni tekshirish rejasini tuzadilar	Rejaning bajarilish imkonini baholaydi, «shkalani nima bo‘yicha darajalaymiz?» degan savolni qo‘yadi
3. O‘lchash va ma’lumot to‘plash	Ma’lum massali yuklarni (100 g, 200 g, 300 g) ketma-ket osib, cho‘zilishni chizg‘ich bilan o‘lchaydilar va jadvalga qayd etadilar	Xavfsizlikni nazorat qiladi, o‘lchash aniqligi haqida eslatadi
4. Tahlil va asbobni darajalash	F(x) grafigini chizadilar, chiziqli bog‘lanishni aniqlaydilar, k qattiqlik koeffitsiyentini hisoblab, shkalani nyutonlarda belgilaydilar	Guk qonuni ifodasiga chiqishga ko‘maklashadi
5. Taqdimot va refleksiya	Yasalgan dinamometr bilan noma’lum yukni o‘lchab, zavodda tayyorlangan dinamometr ko‘rsatkichi bilan solishtiradilar; xatolik manbalarini izohlaydilar	Natijani baholaydi, «xatolik qayerdan kelib chiqdi?» savoli bilan refleksiyani tashkil etadi

Kutilayotgan natija: ishlaydigan va darajalangan dinamometr. Guk qonuni o‘quvchi tomonidan yodlanmasdan, tajriba ma’lumotlaridan keltirib chiqariladi. Shakllantiriladigan ko‘nikmalar: o‘lchash, jadval va grafik tuzish, chiziqli bog‘lanishni aniqlash, o‘lchash xatoligini baholash.

2-mini-loyiha: «Yukni ko‘tarishning eng qulay usuli»

Mavzu: Oddiy mexanizmlar. Qiya tekislik. Mexanizmning foydali ish koeffitsiyenti. **Davomiyligi:** 1–2 dars. **Jihozlar:** silliq taxta (qiyalik), aravacha yoki brusok, dinamometr, ruletka yoki chizg‘ich, turli balandlikdagi tirgaklar.

Muammoli vaziyat: dehqon paxta (yoki g‘alla) solingan og‘ir qopni yuk mashinasiga ortishi lozim, biroq uni tik ko‘tarish uchun kuch yetmaydi. Qanday yo‘l tutish mumkin? O‘quvchilar maqsadni ta’riflaydilar — kuchdan yutish eng ko‘p bo‘ladigan usulni tajribada aniqlash.

Bosqich	O‘quvchilar faoliyati	O‘qituvchi faoliyati
1. Muammoli vaziyat, maqsad qo‘yish	Og‘ir qopni mashinaga ortish usullarini muhokama qiladilar; maqsad: kuchdan yutish eng ko‘p bo‘ladigan usulni topish	Vaziyatni yaratadi (video yoki rasm), «ko‘tarish va surish — qaysi biri yengil?» savolini qo‘yadi
2. Gipoteza va rejalashtirish	Taxta uzunligi ortsa, kerakli kuch kamayadi degan taxminni ilgari suradilar; uch xil qiyalik burchagini sinash rejasini tuzadilar	Gipotezani aniq ta’riflashga undaydi, o‘lchanadigan kattaliklarni belgilashga yordam beradi
3. Tajriba o‘tkazish	Yukni dinamometr bilan tik ko‘tarib F_1 ni, so‘ng har bir qiyalikda tortib F_2 ni o‘lchaydilar; h balandlik va l uzunlikni qayd etadilar	Guruhlarga turli qiyalik burchagini taqsimlaydi

Bosqich	O‘quvchilar faoliyati	O‘qituvchi faoliyati
4. Hisoblash va tahlil	Foydali ish Af = mgh va sarflangan ish As = $F_2 \cdot l$ ni hisoblab, FIK = Af/As·100% ni topadilar; FIKning 100% dan kichikligini ishqalanish bilan izohlaydilar	Hisob-kitobni tekshiradi, «yo‘qolgan energiya qayerga sarflandi?» savolini beradi
5. Umumlashtirish va himoya	Guruhlar natijalarini yagona jadvalga birlashtirib, qiyalik burchagi va FIK orasidagi bog‘lanishni taqdim etadilar; amaliy qo‘llanilishini asoslaydilar	«Mexanizm kuchdan yutish beradi, ishdan emas» qoidasiga olib keladi, natijani baholaydi

Kutilayotgan natija: qiyalik burchagi va kerakli kuch orasidagi bog‘lanish tajribada aniqlanadi; o‘quvchi FIK tushunchasini hisoblab chiqaradi va «mexanizm kuchdan yutish beradi, ammo ishdan yutish bermaydi» qoidasini mustaqil xulosa qiladi. Shakllantiriladigan ko‘nikmalar: gipoteza ilgari surish, o‘zgaruvchilarni nazorat qilish, ishni hisoblash, energiya yo‘qolishini izohlash, guruhda ishlash.

Xulosa

Mini-loyiha Respublikamiz umumiy o‘rta ta’lim maktablarida sharoitida fizika o‘qitish sifatini oshirishning real vositalaridan biri deb hisoblash mumkin. U dars jadvalini o‘zgartirishni ham, qo‘shimcha moliyaviy xarajatni ham talab qilmaydi, ayni paytda o‘quvchida fanga qiziqish tadqiqotchilik ko‘nikmalarini shakllantiradi va rivojlantiradi. Mexanika bo‘limidan keltirilgan namunaviy mini-loyihalar shuni ko‘rsatadiki, u o‘quvchining kundalik hayotida uchrab turadigan voqea va hodisalarni asos qilib olgan shuning uchun u fizika qonuni yodlash obyektidan o‘quvchining shaxsiy kashfiyotiga aylanadi.

Tadqiqotning keyingi yo‘nalishi — alohida mini-loyihalardan 7–9-sinf fizika kursi bo‘yicha izchil dars-loyihalar tizimiga o‘tish va ularning samaradorligini pedagogik eksperiment asosida baholashdan iborat.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Khakimova A.Kh., Rumbeshta E.A. Mini-proekty po fizike v osnovnoy shkole kak sredstvo formirovaniya uchebnykh umeniy i interesa k predmetu // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. — 2012. — UDK 37.013.
2. Polat E.S. Novye pedagogicheskie i informatsionnye tekhnologii v sisteme obrazovaniya. — M.: Akademiya, 2000. — 272 s.
3. Khakimova A.Kh., Rumbeshta E.A., Gelfman E.G. Realizatsiya gosudarstvennogo obrazovatelnogo standarta: postroenie sistemy urokov-proektov po fizike v osnovnoy shkole. — 2014.
4. Rumbeshta E.A. Sovremennye tekhnologii v obuchenii fizike: Uchebno-metodicheskoe posobie. — Tomsk: TGPU, 2018.

KASB-HUNAR MAKTABLARIDA FIZIKA FANINI STE(R-ESEARCH TADQIQOT)AM INTEGRATSIYASI ASOSIDA O‘QITISHNING ZAMONAVIY MUAMMOLARI VA YECHIMLARI

p.f.d.DSc A.Xakimov (Andijon davlat universiteti)
Magistranti, Z. M. Orifjonova (Andijon davlat universiteti)
Email: soliyevamubina81@gmail.com

Bugungi kunda uzluksiz ta'lim tizimini zamonaviy talablar asosida modernizatsiya qilish, xususan, kasb-hunar maktablarida fundamental fanlar, jumladan, fizika o’qitish sifatini tubdan oshirish dolzarb vazifalardan biridir. Zamonaviy fizikaning jadal rivojlanishi va uning yutuqlarini amaliyotga tatbiq etish o’qitish jarayonida yangi yondashuvlarni talab qiladi. An'anaviy ta'lim usullari ko‘p hollarda o‘quvchilarning mustaqil izlanish va tanqidiy fikrlash qobiliyatlarini to‘liq ochib berolmayapti. Shu

boisdan, fizika fanini o‘qitishda zamonaviy texnologiyalardan foydalanish hamda uni STE(R-esearch tadqiqot)AM integratsiyasi asosida tashkil etish muhim ahamiyat kasb etadi.

Kasb-hunar maktablarida fizika fanini o‘qitish jarayonini tubdan modernizatsiya qilish, zamonaviy fizikaning dolzarb muammolarini o‘quvchilarga yetkazishda STE(R-esearch tadqiqot)AM (Science, Technology, Reading, Engineering, Art, Mathematics) integratsiyalashgan yondashuvidan foydalanish masalalari yoritilgan. Shuningdek, dars jarayoniga tadqiqot (Research) va o‘qish (Reading) komponentlarini joriy etish orqali o‘quvchilarning tanqidiy fikrlashi hamda kasbiy kompetensiyalarini rivojlantirish yo‘llari ilmiy-amaliy jihatdan tahlil qilingan.

XXI asr mehnat bozori mutaxassislardan faqatgina formulalarni yod olishni emas, balki amaliy va moslashuvchan ko‘nikmalarni talab qiladi. Kasb-hunar maktablarida o‘quvchilar asosan elektr montajchisi, avtomexanik va quruvchi kabi tor ixtisoslashgan kasblarga tayyorlanar ekan, fizika kursi amaliy va dinamik xarakterga ega bo‘lishi shart. Biroq an’anaviy «doska va bo‘r» usullari ko‘p hollarda o‘quvchilarning fanga bo‘lgan qiziqishini rag‘batlantira olmayapti, chunki ular kelgusidagi kasbiy faoliyati bilan ko‘rinadigan bog‘liqlikka ega emas. Ta'lim jarayoniga zamonaviy integratsiyalashgan modellarni joriy etish muhim paradigmali o‘zgarishni talab qiladi.

Amaliy kuzatishlar shuni ko‘rsatadiki, o‘quvchilar mavhum fizik tushunchalarni (masalan, elektromagnit to‘lqinlar yoki kvant hodisalari) o‘zlashtirishda ko‘pincha qiyinchiliklarga duch kelishadi. Agar bu tushunchalar telekommunikatsiya yoki elektronika sohasidagi kelajakdagi amaliy ishlar bilan bog‘lanmasa, ular fanga bo‘lgan qiziqishini yo‘qotadilar. Bu esa nazariy fizika bilan sanoat-amaliy qo‘llanilishi o‘rtasida ko‘prik vazifasini bajaruvchi STE(R-esearch)AM modelini qo‘llash zaruriyatini yuzaga keltiradi

STE(R-esearch tadqiqot)AM yondashuvining nazariy asoslari

Akademik tadqiqot uchun zarur bo‘lgan chuqurlikka erishish uchun ushbu modelning har bir tarkibiy qismini alohida o‘rganish talab etiladi: Fan (Science) va Matematika (M): Fizika o‘qitishning analitik o‘zagini tashkil etib, termodinamika va elektromagnetizm kabi mavzular empirik kuzatish hamda tajribalar orqali o‘rgatiladi. Matematika esa bu kuzatishlarni tahlil qilish uchun zaruriy til vazifasini bajaradi (masalan, Joul-Lens qonunini qo‘llash).

Texnologiya (T) va Muhandislik (E): Zamonaviy kasb-hunar maktablari virtual laboratoriyalar va raqamli platformalarga tayanadi. PhET Interactive Simulations va Proteus kabi vositalar o‘quvchilarga qimmatbaho jihozlarga zarar yetkazish xavfisiz elektr zanjirlarini xavfsiz sinovdan o‘tkazish imkonini beradi. Muhandislik faoliyati esa nazariy tushunchalarni funksional prototiplarga aylantirishni o‘z ichiga oladi

O‘qish va savodxonlik (Reading - R): Ilmiy jurnallar, patentlar va texnik qo‘llanmalarni tushunish qobiliyatini o‘z ichiga oladi. Bu kompetensiya tadqiqotga asoslangan ta'limda hal qiluvchi rol o‘ynaydi, chunki u o‘quvchilarga global texnologik o‘zgarishlardan xabardor bo‘lish imkonini beradi. San'at (Art - A): Fizika va muhandislik ta'limiga dizayn tafakkurini olib kiradi. Estetik va ergonomik yondashuvlarsiz muhandislik mahsulotlari samarasiz bo‘lishi mumkin, shuning uchun san'atni uyg‘unlashtirish texnik chizmalarning vizual aniqligini ta'minlaydi.

Taklif etilayotgan metodologiyaning o‘zagini Tadqiqotga asoslangan loyiha (Research-Based Project - RBP) tashkil etadi. Bu bosqichda o‘quvchilarga "Qora quti" (Black Box) kabi muammoli vaziyatlar beriladi. Masalan, o‘quvchilar kichik motor uchun yanada samarali sovutish tizimini loyihalash jarayonida nafaqat fizik masalani hal etishdi, balki muhandis sifatida harakat qilishdi. Tajribalar davomida o‘quvchilarning termal oqimni darslikdagi sxemalarga qaraganda yaxshiroq tasavvur qila boshlagani kuzatildi.

O‘tkazilgan ikki semestrlik tadqiqot natijalari functional savodxonlik va o‘zlashtirishda sezilarli o‘sish borligini ko‘rsatdi:

A guruhi (An'anaviy usul): O‘rtacha test balli — 62%; loyihani yakunlash ko‘rsatkichi —15%.

B guruhi (STE(R-esearch)AM yondashuvi): O‘rtacha test balli — 84%; loyihani yakunlash ko‘rsatkichi — 92%.

Olingan ma'lumotlar shuni ko‘rsatdiki, ingliz va o‘zbek tillaridagi texnik qo‘llanmalarni o‘qish o‘quvchilarning kasbiy lug‘at boyligini 25% ga oshirgan. Bu fizika izolyatsiya qilingan fan emas, balki kasbiy ta'limning o‘zagini tashkil etuvchi asosiy komponent ekanligini isbotlaydi. Kasb-hunar maktablarida fizika o‘quv dasturini STE(R-esearch)AM asosida modernizatsiya qilish iqtisodiy rivojlanish sari tashkil etilgan muhim qadamdir. Bu yondashuv o‘quvchilarni passiv tinglovchilardan faol tadqiqotchilarga aylantiradi. Ushbu fanlararo ko‘prik kelgusi avlod texniklarini To‘rtinchi sanoat inqilobi talab qiladigan ijodkorlik va texnik tajriba bilan ta'minlashga xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati:

1 O‘rinboyev M.I. Umumiy ta’lim maktablarida fizika fanini o‘qitishda o‘quvchilarning metakognitiv faoliyatlarini takomillashtirish: avtoreferat. – 2025. 125-bet

2 Djo‘rayev M. Fizika o‘qitish metodikasi. – Toshkent: Abu matbuot-konsalt, 2015. – 280 b.

3 Djo‘rayev M., Sattarova B. Fizika va astronomiya o‘qitish nazariyasi va metodikasi. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2015. – 352 b.

4 Begmatova D.A., Qurbonov M., Sodiqova Sh.M. va boshq. Fizika o‘qitish metodikasi. – Toshkent: 2021. – 300 b.

5 Turdiyev N.Sh. va boshq. Fizika: 10-sinf uchun darslik. – Toshkent, 2024 56-bet

DIDACTIC OPPORTUNITIES OF NON-STANDARD AND OLYMPIAD PROBLEMS FOR DEVELOPING CREATIVE THINKING IN PHYSICS EDUCATION AT ACADEMIC LYCEUMS.

Juraev Farkhod Isroilovich

Chirchik State Pedagogical University, Independent Researcher

Abstract: This thesis analyzes the didactic potential of using non-standard and Olympiad problems in teaching physics at academic lyceums for developing students' creative thinking. The importance of non-standard and Olympiad problems in creating problematic situations, constructing physical models, integrating qualitative and quantitative analysis, using heuristic methods, and developing reflective control is highlighted.

Keywords: academic lyceum, physics education, non-standard problems, creative thinking, creative thinking, logical thinking, physical modeling, heuristic methods, problem-based learning.

Introduction

The development of creative thinking competence in physics education is primarily directly related to the type of learning task with which the student works. If the learning process is limited only to selecting a formula, substituting the given quantities, and obtaining a numerical answer, reproductive skills are developed in students; however, their ability to independently analyze a physical phenomenon, develop a solution strategy, select a model, and critically evaluate the result does not develop sufficiently. At an academic lyceum, physics should have in-depth, systematic, and practice-oriented content. The model curriculum for physics for academic lyceums defines the tasks of developing students' logical thinking, observing and analyzing physical phenomena, expressing physical quantities through mathematical formulas, and developing a scientific worldview. A non-standard problem is understood as a learning task whose solution cannot be limited to a ready-made algorithm and which encourages students to deeply analyze the problem statement, identify hidden aspects of a physical process, and apply several laws and

principles in an integrated manner. An Olympiad problem takes non-standard to an even higher level. Such a problem is often designed at the boundaries of several branches of physics; although it may appear simple at first glance, its solution contains a deep physical idea and requires careful selection of the mathematical apparatus, examination of limiting cases, and control of units and physical meaning. In a complex problem, several laws are applied consecutively, and algebraic or geometric analysis is intensified, but the solution path may still be close to a model demonstrated by the teacher. In a non-standard problem, however, the external form of the problem does not fully correspond to a typical scheme familiar to the student.

Main Part

Various methods and techniques that contribute to the development of students' creative thinking in the process of teaching physics have been analyzed; likewise, individual, pair, and group forms of organizing learning activities, as well as game-based, problem-based learning, and practical teaching methods, have been recommended. The methodology for implementing these methods is presented on the basis of materials that include cognitive information, original creative tasks, and computational tasks (using the 9th-grade physics course as an example) [1]. One of the conditions for providing students with solid knowledge is to actively involve them in solving problems both during lessons and outside class hours [5].

The main didactic opportunities provided by non-standard and Olympiad problems for developing creative thinking are presented in the following table.

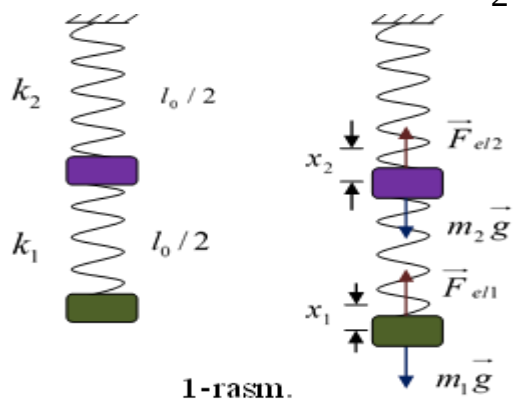
Didactic Opportunities	Manifestation in Learning Activity	Creative Component Developed
Problem situation	Indicates to the student that the known algorithm is insufficient; creates a need for inquiry.	Identifying the problem, asking questions, putting forward hypotheses
Model construction	Teaches students to identify important factors from a real phenomenon, simplify and idealize them.	Physical modeling, abstraction, justification
Exchange of representations	Establishes connections between text, diagram, graph, formula, and experimental scheme.	Flexibility, multi-path thinking
Integrative analysis	Combines the laws of different branches of physics into a unified solution.	Transfer of knowledge, generalization
Heuristic methods	Develops approaches based on limiting cases, dimensional analysis, symmetry, energy, and momentum.	Original idea, solution strategy
Reflection and evaluation	Encourages checking the answer through physical meaning, units, limiting cases, and alternative methods.	Critical reflection, self-monitoring

We recommend the following physics Olympiad problem and its solution methodology:

A spring is fixed at its upper end in a vertical position, and a load of mass m_1=50g is suspended from it. Then, an identical load of mass m_2=50g is attached to the midpoint of the stretched spring. Determine the total length of the spring in this case. The spring constant is k=50N/m, and its undeformed length is l_0=20cm. Neglect the mass of the spring.

Given: $m_1 = m_2 = 50g$, l_0=20cm, k=50N/m. **Find:** l=?

Solution: The initial stiffness of the spring is $k = E\frac{S}{l_0}$. After the loads are suspended, the spring is divided into two sections, whose individual stiffnesses are: $k_1 = k_2 = E\frac{S}{\frac{l_0}{2}} = 2E\frac{S}{l_0} = 2k$.



1-rasm.

When the first load is suspended from the spring, the equilibrium condition is: $F_{el1} = m_1 g$. The formula for the elastic force of the lower part of the spring is: $F_{el1} = k_1 x_1$. The extension of the lower part of the spring when the first load is suspended is: $x_1 = \frac{m_1 g}{k_1} = \frac{mg}{2k}$. When the second load is suspended from the spring, the equilibrium condition is: $F_{el2} = (m_1 + m_2)g$. The formula for the elastic force of the lower part of the spring is: $F_{el2} = k_2 x_2$. The extension of the lower part of the spring when the second load is suspended is: $x_2 = \frac{(m_1 + m_2)g}{k_2} = \frac{2mg}{2k} = \frac{mg}{k}$. The total extension of the two spring sections is: $x_{um} = x_1 + x_2 = \frac{mg}{2k} + \frac{mg}{k} = \frac{3mg}{2k}$. The length of the stretched spring is: $l = l_0 + x_{um} = l_0 + \frac{3mg}{2k}$.

Answer: $l = l_0 + \frac{3mg}{2k}$ =0,215m.

Conclusion

The systematic and purposeful use of non-standard problems is one of the important methodological opportunities for improving the effectiveness of physics education in academic lyceums. Furthermore, the consistent and systematic use of non-standard problem-solving activities in lessons enhances students' logical and creative thinking potential, strengthens their ability to apply theoretical knowledge in practice, and contributes to improving the overall quality of education to a new level. Non-standard and Olympiad problems are an important pedagogical factor that contributes to the effectiveness of physics education and directs students toward intellectual activity.

References

1. Andrievskikh, N. V., & Selezneva, E. A. (2022). Development of creative thinking among students in physics lessons: From the experience of teaching practice. *Scientific Review. Pedagogical Sciences*, (4), 26–30.

2. Van Heuvelen, A. (1991). Learning to think like a physicist: A review of research-based instructional strategies. *American Journal of Physics*, 59(10), 891–897.

3. Dhillon, A. S. (1998). Individual differences within problem-solving strategies used in physics. *Science Education*, 82(3), 379–405.

4. Reif, F., & Heller, J. I. (1982). Knowledge structure and problem solving in physics. *Educational Psychologist*, 17(2), 102–127.

5. Juraev, F. I. (2026). The role of the teacher in preparing students for physics Olympiads. *Interuniversity International Congress “Higher School: Scientific Research”*, Moscow, February 19, 2026, pp. 117–121.

6. Valisheva, A.G., Krutova, I.A., & Amantaeva, L.S. (2020). Solution of Olympiad problems in physics as a means of forming the cognitive independence of schools. Modern Problems of Science and Education, 6, 45. https://doi.org/10.17513/spno.30314.

7. Zulkarshyn, P., Nurizinova, M., Skakov, M., Zhenisbekova, N., & Çoruh, A. (2026). Development and investigation of a model for improving the professional competencies of future physics teachers through solving Olympiad problems. Frontiers in Education, 11, 1823189. https://doi.org/10.3389/feduc.2026.1823189.

8. Zhan, Z., He, L., & Zhong, X. (2024). How does problem-solving pedagogy affect creativity? A meta-analysis of empirical studies. Frontiers in Psychology, 15, 1287082. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1287082.

FIZIKA FANINI O‘QITISHDA YANGI LABORATORIYALARNI JORIY QILISH ZARURIYATI

K.I. Vaxabov[1], M.R. Kayumova[2], B.X. Islamov[3]
[1]Toshkent davlat texnika universiteti,
[2]Toshkent kimyo-texnologiya instituti,
[3]Toshkent to‘qimachilik va yengil sanoat instituti.

Anotatsiya: Mazkur maqolada fizika o‘qitish jarayonida yangi laboratoriyalarni joriy qilish orqali talabalarga quyosh energiyasi va undan foydalanish usullari, sayyoramizda kuzatilayotgan global ekologik muammolar tahlil qilingan. Shuningdek, quyosh energiyasidan foydalanish qanchalik muhim ekanligi ko‘rsatilib berilgan.

Tayanch so‘zlar: texnologik ta’lim, fizik tajriba, quyosh energiyasi, laboratoriya mashg‘uloti, amaliy ko‘nikma, talaba, metodika.

Quyosh energiyasi - bu quyoshdan chiqadigan nur va issiqlik shaklidagi tabiiy energiya bo‘lib, turli texnologiyalar orqali elektr yoki issiqlik energiyasiga aylantiriladi. Bu - barqaror, ekologik toza va qayta tiklanuvchi energiya manbaidir. Quyosh energiyasidan foydalanish bugungi kunda juda ham muhim sanaladi, ayniqsa global iqlim o‘zgarishlari, energiya tanqisligi va atrofmuhit muhofazasi masalalari dolzarb bo‘lib turgan bir paytda. Quyida quyosh energiyasidan foydalanish qanchalik muhim ekanligi haqida qisqaroq to‘xtalamiz. Uning atrof-muhitni muhofazasi qilishdagi o‘rni judayam yuqori. Quyosh energiyasi ekologik toza manba hisoblanadi. U hech qanday zararli gazlar - uglerod dioksidi (CO_2), oltingugurt dioksidi (SO_2) yoki metan chiqarmaydi. Bu esa havoning ifloslanishini kamaytiradi va global isishga qarshi kurashishda muhim ahamiyatga ega. U iqtisodiy jihatdan tejamkor hisoblanadi. Quyosh panellariga bir marta sarmoya kiritilgandan so‘ng, uzoq yillar bepul energiya ishlab chiqarish mumkin. Elektr to‘lovlari kamayadi, xususan, qishloq joylarda yoki uyda mustaqil elektr ta’minoti kerak bo‘lganda juda foydali hisoblanadi.

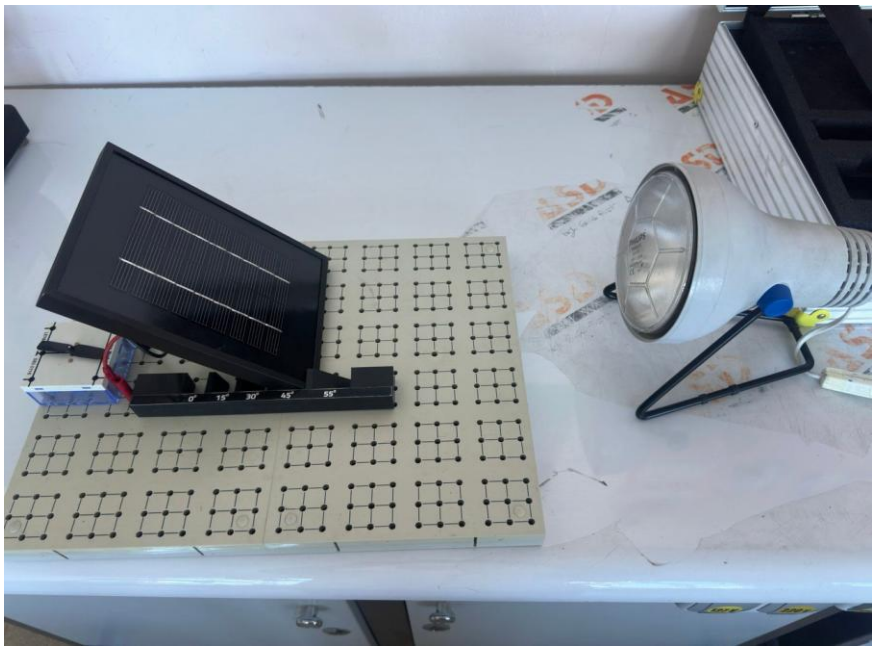
Shuni ta’kidlash joizki, O‘zbekiston haqiqatan ham quyosh energiyasidan foydalanish bo‘yicha ulkan salohiyatga ega, bugungi kunda, Respublikamizda ushbu sohani rivojlantirish borasida bir qator amaliy ishlar amalga oshirilmoqda. Jumladan, bir necha yildan buyon quyosh energiyasi bilan suv isitadigan qurilmalar negizida uy-joy va ijtimoiy ob’ektlarni issiq suv va issiqlik bilan ta’minlash tizimi ishlab chiqilmoqda va ulardan tajriba tariqasida foydalanilmoqda. Bu borada Toshkent shahrida, Samarqand viloyati va boshqa hududlarida suvni isitib beradigan gelioqurilmalar o‘rnatilib, bu qurilmalardan hozirgi kunda samarali foydalanib kelinmoqda. Bank tizimi tomonidan energiya tejash loyihalarini, shuningdek, quyosh panellari o‘rnatilishini faol moliyalashtirmoqda. “Yashil” energiyani rivojlantirish doirasida xalqaro hamkorlar va ekspertlar bilan o‘zaro hamkorlik qilish juda muhimdir. Shunday qilib, Jahon banki O‘zbekistonda energetika sohasida tarkibiy islohotlarni amalga oshirishda va qayta tiklanadigan energiya manbalariga investitsiyalarni jalb qilish uchun qulay shart-sharoitlarni yaratishda faol yordam beradi. Ushbu sohada tajriba va texnologiyalar almashish bo‘yicha loyihalarni amalga oshirish orqali bugungi kunda innovatsion mahsulotlar, jumladan, quyosh batareyalari yaratilmoqda va joriy etilmoqda.

Takidlash lozimki ayrim oliy o‘quv yurtlarida fizika fanini o‘qitish bo‘yicha xozirda mavjud bo‘lgan juda ko‘p laboratoriya qurilmalari nafaqat manaviy eskirgan bo‘lib, ular talabalarda ijodiy fikrlash, tafakkurni rivojlantirish xamda olgan bilimlarini tadbiq qilish imkoniyatlarini to‘liq ochib bera olmaydi [1].

O‘z o‘rinida texnik oliy o‘quv yurtlarida fizika fanini o‘qitishda yangi pedogogik texnologiyalarni qo‘llash, ayniqsa darslarda o‘tiladigan nazariy bilimlarni laboratoriya mashg‘ulotlarida mustahkamlash pedagog zimmasiga katta ma’suliyat yuklaydi. Ta’lim – tarbiya jarayoniga kiritilgan har qanday o‘zgarish talabalarning bilim faoliyatining o‘zgarishiga olib keladi.

Bu borada Toshkent davlat texnika universiteti “Umumiy fizika” kafedrasi, Toshkent kimyo texnologiya instituti “Fizika” kafedrasi va Toshkent to‘qimachilik va yengil sanoati instituti “Aniq va tabiiy fanlar” kafedrasida quyosh energiyasi asosida ishlaydigan zamonoviy laboratoriya qo‘rilmalari joriy qilindi.

Joriy qilingan yangi laboratoriya ishlari va qurilmalari mavjud qurilmalardan bir qator qator ustunligi bilan ajralib turadi. Ular juda ixcham kurinishga ega bulib, talabalar uchun xavfsiz xisoblanadi. Masalan: quyidagi rasmda yoruglik energiyasini elektr energiyasiga aylantirib beruvchi laboratoriya qurilmasi keltirilgan.



Energiyani bir turdan ikkinchi turga aylantirib beruvchi laboratoriya qurilmasi.

Talabalar, ushbu laboratoriya qurilmalari yordamida o‘lchashlar amalga oshirilganda, talaba quyidagi muammolar haqida fikr yurita boshlaydi: kuyosh nuri bu ekologik toza, lekin, xavfsiz va doimiy energiya manbasi ekanligi, undan qanday yo‘l bilan unumli foydalanish lozim, quyosh elementi - bu kuyosh energiyasini to‘g‘ridan - to‘g‘ri elektr energiyasiga aylantirib beradigan elektron qurilma ekanligi uchun, uning faolligini qanday oshirish lozimligi va u nimalarga bog‘likligi to‘g‘risida fikr uyg‘onadi. Shu bilan birga talabalarda muqobil energiya manbalaridan oqilona foydalanish mumkinligi to‘g‘risida bir qancha fikr va muoloxojalar vujudga keladi.

Masalan: uyni yoritish, suvni quyosh fotoelementlardan foydalangan xolda yuqoriga ko‘tarib berish, kompyuterni doim ishlashini taminlash, o‘zlari yashayottan qishloqni elektr energiya bilan ta’minlash uchun zarur malumotlar yig‘ish bilan birga o‘zlariga xos hisob kitoblar, loyixalar, texnik yechimlar bilan berilib shug‘ullana boshlaydi. Bu jarayon, to‘g‘ridan to‘g‘ri, talabalarda ijodiy fikrlash va tafakkur qilish hissiyotini oshirishi, xozirgi zamon elektron texnologiyasi bilan tanishishi, ishlab chiqarishni ekologik toza, arzon energiya bilan ta’minlash mumkingi, bu orqali jamiyatimiz rivojlanishiga o‘z hissasini qo‘sha olishi mumkinligini anglab yetadi.

Joriy qilingan yangi o‘quv laboratoriya uskunlalari xozirgi zamon quyosh elementlaridan foydalanish asosida yaratilganligi uchun, ular quyoshning bitmas-tuganmas energiya manbasi ekanligi, undan xozirgi paytda va kelajakda alternativ energiya manbasi sifatida foydalanish negizida shunga o‘xshash ekologik jixatdan toza energiya manbalari to‘g‘risida talabalar qiziqarli ma’lumotlar oladilar, ularni tushunish va mavjud muammolar yechimini hal qilish yo‘llarini izlashga amaliy yordam beradi.

Jumladan, talabalarga, ayrim sabablarga ko‘ra, elektr uzatish tarmoqlari va suv ta’minoti tizimi ishlamaydigan hududlarda suvni yuqoriga ko‘tarib berish borasida qiyinchiliklar mavjudligi, ularni yechimini boshqa usulda izlash kerakliligi, tushintiriladi. Shu maqsadda quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantiradigan fotoelektr qurilmalardan keng foydalanilayotganligi. Bu qurilmalar quyosh batareyalari, energiya to‘plash tizimi va doimiy tokni o‘zgaruvchan tokka aylantiradigan moslamani o‘z ichiga oladi. Fermer xo‘jaliklari resurs tejaydigan texnologiyalar – tomchilatib sug‘orishni yo‘lga qo‘yishi va ilgari sug‘orilmagan yerlarni o‘zlashtirishi mumkinligi. Fotoelektr qurilmasi uzoq muddat xizmat qila olishligi, maxsus texnik xizmatni talab etmasligi va bir necha yil davomida sarflangan harajatni to‘liq qoplashi bilan izohlanishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Halliday D., Resnick R., Walker J. Fundamentals of Physics. - Wiley, 2014.
2. Клычев Ш.И., Мухаммадиев М.М., Авезов Р.Р. и др. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Тошкент: Издателство «Фан ва технология» - 2010 г.
3. Беспалько В.П. Педагогика и прогрессивные технологии обучения. - М.: Просвещение, 2021.
4. Краевский В.В. Методология педагогического исследования. - М.: Академический проект, 2021.

FIZIKA FANINI O‘QITISHDA SUN’IY INTELLEKT VA RAQAMLI TA’LIM TEXNOLOGIYALARIDAN FOYDALANISHNING METODIK ASOSLARI

Egamberdiyeva Ozoda Shuxrat qizi
Qarshi davlat universiteti
“Umumiy fizika” kafedrasi o’qituvchisi

Annotatsiya

Raqamli texnologiyalarning jadal rivojlanishi ta’lim tizimini tubdan o‘zgartirmoqda. Fizika fanini o‘qitishda sun’iy intellekt (SI), virtual laboratoriyalar, raqamli simulyatsiyalar va adaptiv ta’lim platformalaridan foydalanish o‘quvchilarning nazariy bilimlarini mustahkamlash, amaliy ko‘nikmalarini

rivojlantirish hamda mustaqil ta’lim olish kompetensiyalarini shakllantirishga xizmat qiladi. Ushbu tezisda fizika ta’limida SI vositalaridan foydalanishning didaktik imkoniyatlari, metodik tamoyillari va amaliy afzalliklari tahlil qilinadi hamda ularni ta’lim jarayoniga samarali integratsiya qilish bo‘yicha tavsiyalar beriladi.

Kalit so‘zlar: fizika ta’limi, o‘qitish metodikasi, sun’iy intellekt, generativ SI, virtual laboratoriya, simulyatsiya, adaptiv ta’lim, STEAM, raqamli pedagogika.

Kirish

XXI asrda ta’lim tizimi raqamli iqtisodiyot va axborot jamiyatining ehtiyojlariga mos ravishda rivojlanmoqda. Oliy va umumiy o‘rta ta’lim muassasalarida fizika fanini o‘qitish nafaqat nazariy bilimlarni berish, balki ilmiy tafakkur, muammoni tahlil qilish, tajriba o‘tkazish va natijalarni izohlash kompetensiyalarini shakllantirishni ham talab etadi.

Fizika ko‘plab abstrakt tushunchalarni o‘z ichiga oladi. Masalan, elektromagnit maydon, kvant hodisalari, atom tuzilishi yoki nisbiylik nazariyasi kabi mavzularni faqat og‘zaki tushuntirish yoki formulalar yordamida o‘rgatish ko‘pincha yetarli bo‘lmaydi. Shu sababli zamonaviy axborot texnologiyalaridan foydalanish o‘quv materialini tushunarli va qiziqarli shaklda taqdim etish imkonini beradi.

Sun’iy intellektning rivojlanishi ta’lim jarayonida yangi imkoniyatlarni yuzaga chiqardi. Bugungi kunda SI asosidagi platformalar o‘quv materiallarini yaratish, test topshiriqlarini ishlab chiqish, individual tavsiyalar berish, o‘quvchilarning bilimini tahlil qilish va o‘quv jarayonini shaxsga yo‘naltirilgan tarzda tashkil etishda qo‘llanilmoqda.

Fizika ta’limida sun’iy intellektning didaktik imkoniyatlari sun’iy intellekt ta’lim jarayonini avtomatlashtirish vositasi bo‘lish bilan birga, o‘qituvchi faoliyatini qo‘llab-quvvatlovchi pedagogik yordamchi sifatida ham xizmat qiladi. SI vositalari quyidagi imkoniyatlarni taqdim etadi:

- dars ishlanmalari va taqdimotlarni tayyorlash;
- turli murakkablikdagi test va masalalarni yaratish;
- laboratoriya mashg‘ulotlari uchun topshiriqlar ishlab chiqish;
- o‘quvchilarning xatolarini tahlil qilish;
- individual tavsiyalar va qo‘shimcha mashqlar taklif etish;
- o‘quv natijalarini tezkor baholash.

Masalan, o‘qituvchi "Energiya saqlanish qonuni" mavzusiga oid turli darajadagi masalalarni SI yordamida qisqa vaqt ichida tayyorlashi, so‘ng ularni o‘quvchilarning tayyorgarlik darajasiga qarab taqsimlashi mumkin.

Virtual laboratoriyalar va simulyatsiyalarning metodik ahamiyati ko‘plab ta’lim muassasalarida laboratoriya jihozlarining yetarli emasligi yoki ayrim tajribalarning murakkabligi sababli barcha amaliy ishlarni an’anaviy usulda tashkil etish qiyin. Virtual laboratoriyalar bu muammoni qisman bartaraf etadi.

Masalan, elektr zanjirlarini yig‘ish, yorug‘lik interferensiyasi, elektromagnit induksiya, gaz qonunlari yoki atom modeli kabi mavzularni kompyuter simulyatsiyalari orqali o‘rganish o‘quvchilarga tajriba parametrlarini o‘zgartirish va natijalarni darhol kuzatish imkonini beradi. Bu esa sabab–oqibat bog‘lanishlarini chuqurroq tushunishga yordam beradi.

Shu bilan birga, virtual tajribalar real laboratoriya ishlarini to‘liq almashtirmaydi. Eng samarali natija virtual va real tajribalarni o‘zaro uyg‘unlashtirish orqali erishiladi.

Adaptiv ta’lim va shaxsga yo‘naltirilgan yondashuv har bir o‘quvchining bilim darajasi, o‘zlashtirish sur’ati va qiziqishi turlicha. Adaptiv ta’lim tizimlari aynan shu farqlarni hisobga olgan holda o‘quv materialini moslashtiradi.

Misol uchun, agar o‘quvchi Nyuton qonunlari bo‘yicha testlarda ko‘p xato qilsa, tizim unga aynan shu mavzu bo‘yicha qo‘shimcha izohlar, animatsiyalar va mashqlarni tavsiya etishi mumkin. Bu yondashuv

individual ta’limni qo‘llab-quvvatlaydi va bilimdagi bo‘shliqlarni o‘z vaqtida bartaraf etishga yordam beradi.

Fizika darslarini tashkil etishda sun’iy intellekt vositalaridan samarali foydalanish uchun quyidagi metodik yondashuvlar tavsiya etiladi:

1. Dars maqsadiga mos SI vositasini tanlash.
2. SI yaratgan materiallarni ilmiy nuqtai nazardan tekshirish.
3. Virtual laboratoriyalarni real tajribalar bilan uyg‘unlashtirish.
4. O‘quvchilarni SI natijalarini tanqidiy tahlil qilishga o‘rgatish.
5. Akademik halollik qoidalariga rioya etish.
6. Muammoli vaziyatlar va loyiha asosidagi ta’lim metodlarini qo‘llash.
7. STEAM yondashuvi orqali fanlararo integratsiyani rivojlantirish.

Bunday yondashuvlar o‘quvchilarning ijodkorligi, mantiqiy fikrlashi va ilmiy dunyoqarashini rivojlantirishga xizmat qiladi.

Sun’iy intellektning imkoniyatlari keng bo‘lsa-da, undan foydalanishda ayrim muammolar mavjud:

- ayrim javoblarda ilmiy noaniqliklarning uchrashi;
- internet va texnik infratuzilmaga bog‘liqlik;
- barcha o‘quvchilarning raqamli ko‘nikmalari bir xil emasligi;
- shaxsiy ma’lumotlarni himoya qilish masalalari;
- akademik halollik tamoyillariga rioya etish zarurati.

Shu sababli SI vositalari o‘qituvchining o‘rnini bosuvchi emas, balki uning pedagogik faoliyatini qo‘llab-quvvatlovchi vosita sifatida qaralishi lozim.

Xulosa o’rnida shuni ta’kidlash joizki, fizika fanini o‘qitishda sun’iy intellekt va raqamli ta’lim texnologiyalaridan foydalanish o‘quv jarayonining samaradorligini oshirish, nazariy bilimlarni amaliyot bilan bog‘lash hamda o‘quvchilarda XXI asr kompetensiyalarini shakllantirishga xizmat qiladi. Virtual laboratoriyalar, adaptiv ta’lim tizimlari va simulyatsiyalar murakkab fizik hodisalarni tushunishni yengillashtiradi, o‘quvchilarning motivatsiyasini oshiradi va mustaqil ta’lim ko‘nikmalarini rivojlantiradi.

Kelgusida fizika o‘qituvchilarining raqamli kompetensiyalarini rivojlantirish, SI vositalaridan foydalanish bo‘yicha metodik qo‘llanmalar yaratish hamda milliy o‘quv dasturlariga zamonaviy raqamli pedagogik texnologiyalarni tizimli ravishda integratsiya qilish muhim vazifa bo‘lib qoladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Halliday D., Resnick R., Walker J. *Fundamentals of physics*. 12th ed. Wiley, 2022.
2. Serway R. A., Jewett J. W. *Physics for scientists and engineers*. 10th ed. Cengage learning, 2019.
3. UNESCO. *Guidance for generative AI in education and research*. Paris, 2023.
4. OECD. *Digital education outlook 2023*. OECD Publishing, 2023.
5. O‘zbekiston respublikasining "Ta’lim to‘g‘risida"gi qonuni.
6. Fizika ta’limi metodikasiga oid mahalliy va xorijiy ilmiy maqolalar.

ENERGIYA TEJAMKORLIGINI TA'LIMDA O'QITISH

Panayev Dilshod Uroq o'g'li
Qarshi davlat universiteti "Sanoat muhandisligi" kafedrasi o'qituvchisi
E-mail: Dilshodpanayev@gmail.com

Energiyani tejash eng arzon va eng toza energiya manbai hisoblanadi: tejalgan har bir kilovatt-soatni ishlab chiqarish, uzatish va taqsimlash shart emas. Aholi soni va iqtisodiyot o'sishi bilan energiyaga talab ortib bormoqda, an'anaviy yoqilg'i zaxiralari esa cheklangan. Shu sababli energiyadan oqilona foydalanish iqtisodiy, ekologik va ijtimoiy vazifaga aylandi.

O'zbekistonda bu sohaning huquqiy asosi yangilandi. 2024-yil 7-avgustda "Energiyani tejash, undan oqilona foydalanish va energiya samaradorligini oshirish to'g'risida"gi O'RQ-940-son Qonun qabul qilindi va 2024-yil 9-noyabrdan kuchga kirdi [1]. U 1997-yilgi "Energiyadan oqilona foydalanish to'g'risida"gi Qonun [2] o'rnini egalladi. Qonun energiyani tejashni mahsulot ishlab chiqarish va xizmat ko'rsatish hajmini qisqartirmagan holda energiya sarfini kamaytirish deb ta'riflaydi. Demak, tejamkorlik qulaylikdan voz kechish emas, balki o'sha natijaga kamroq energiya bilan erishishdir.

Qonun ta'lim tizimiga bevosita vazifa yuklaydi. Uning 15-moddasiga ko'ra energiya auditorlari va energetika menejerlari akkreditatsiyadan o'tgan o'quv markazlarida, shu jumladan oliy ta'lim tashkilotlarida malaka oshiradi. 8-moddada esa energiyani tejaydigan texnologiyalar va qayta tiklanuvchi manbalarning afzalliklari haqida jamoatchilikni xabardor qilish belgilangan [1].

Biroq texnologiya va qonunning o'zi yetarli emas. Eng samarali qurilma ham noto'g'ri ishlatilsa, kutilgan tejamni bermaydi. Energiya iste'moli oxir-oqibat insonning kundalik qarori va odatiga bog'liq, odat esa ta'lim va tarbiya orqali shakllanadi. Nyu-York shtati o'quvchilari o'rtasida o'tkazilgan DeWaters va Powers tadqiqoti energiyaga oid xulq-atvor bilimdan ko'ra munosabat va qadriyatlar bilan kuchliroq bog'liqligini ko'rsatdi [4]. Bu xulosa o'qitishni faqat nazariy bilim berish bilan cheklab bo'lmasligini anglatadi.

Maqolaning maqsai: energiya tejamkorligini uzluksiz ta'lim bosqichlarida o'qitishning mazmuni, usullari va tashkiliy shartlarini asoslash hamda amaliy takliflar ishlab chiqish.

Energiya tejamkorligi bir bosqichda emas, uzluksiz va spiral tarzda o'qitiladi: har bosqichda avvalgi tushunchalar takrorlanadi va chuqurlashadi. Odat erta yoshda, hisob-kitob maktabda, kasbiy qaror esa professional va oliy ta'limda shakllanadi.

2-jadval. Ta'lim bosqichlari bo'yicha o'qitish maqsadi va faoliyat turlari

Bosqich	Asosiy maqsad	Mazmun	Faoliyat turlari
Maktabgacha ta'lim	Tejamkor odat	Chiroq, suv va issiqlikni asrash qoidalari	O'yin, ertak, rasm, kattalar namunasi
Boshlang'ich sinflar (1–4)	Tasavvur va mas'uliyat	Energiya qayerdan keladi, uyda nima energiya sarflaydi	Kuzatuv, "energiya navbatchisi", oddiy tajriba
Umumiy o'rta ta'lim (5–11)	Tushunish va hisoblash	Quvvat, kVt·soat, FIK, energiya manbalari, iqlim	Laboratoriya, hisob-kitob, loyiha, o'quv energoauditi
Professional ta'lim	Kasbiy ko'nikma	Tejamkor uskuna va materiallar, montaj va xizmat ko'rsatish	Amaliyot, ustaxona ishi, ishlab chiqarishdagi topshiriq
Oliy ta'lim	Loyihalash va boshqarish	Energoaudit, energetika menejmenti, qayta tiklanuvchi manbalar, texnik-iqtisodiy asoslash	Kurs loyihasi, real obyekt auditi, ilmiy tadqiqot
Malaka oshirish	Bilimni yangilash	Yangi me'yorlar, standartlar va texnologiyalar	Qisqa kurs, sertifikatlash, tajriba almashish

Maktabgacha va boshlang'ich bosqichda asosiy vosita kattalarning namunasidir. Bola tushuntirishdan ko'ra ko'rganini takrorlaydi, shuning uchun tarbiyachi va ota-onaning xulqi dars mazmunidan muhimroq.

Umumiy o'rta ta'limda o'quvchi o'z uyi va maktabining energiya iste'molini o'lchay va hisoblay oladi. Bu bosqichda abstrakt formulalar shaxsiy tajribaga bog'lanadi: hisoblagich ko'rsatkichi, to'lov kvitansiyasi, lampa quvvati dars materialiga aylanadi.

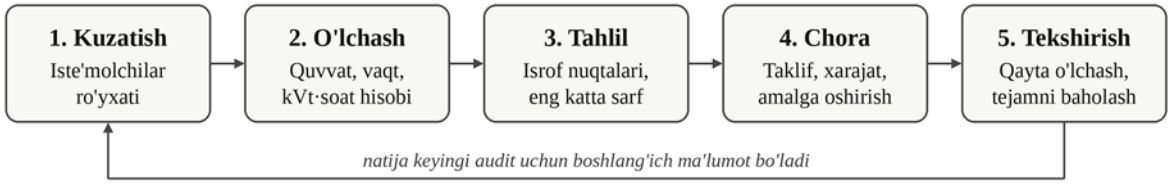
Oliy ta'limda vazifa ikki yo'nalishga bo'linadi. Energetika yo'nalishi talabalari energoaudit va energetika menejmentini kasb sifatida egallaydi. Boshqa yo'nalish talabalari (quruvchi, iqtisodchi, pedagog, agronom) o'z sohasidagi energiya samaradorligi yechimlarini o'rganadi. Bo'lajak o'qituvchilarni tayyorlash alohida ahamiyatga ega, chunki ular bilimni keyingi avlodga yetkazadi.

O'QITISH USULLARI VA VOSITALARI

Energiya tejamkorligi amaliy faoliyatda eng yaxshi o'zlashtiriladi: ta'lim oluvchi o'zi o'lchaydi, hisoblaydi va qarorining natijasini ko'radi. Ma'ruza va tushuntirish zarur, lekin ular faqat bilim beradi; odat va ko'nikma esa harakat orqali shakllanadi.

O'quv energoauditi

O'quv energoauditi eng samarali usullardan biri: o'quvchi yoki talaba o'z sinfi, uyi yoki o'quv binosining energiya iste'molini tekshiradi. Qonunda energiya auditi ishonchli ma'lumot to'plash, tahlil qilish va xulosa tayyorlash faoliyati sifatida ta'riflangan [1], uni o'tkazish tartibi esa Vazirlar Mahkamasi qarori bilan belgilangan [3]. O'quv auditi shu mantiqni soddalashtirilgan shaklda takrorlaydi (1-rasm).



1-rasm. O'quv energoauditining besh bosqichli yopiq sikli

Sikl kuzatishdan boshlanadi va tekshirish bilan yopiladi: tejam qayta o'lchab tasdiqlanmaguncha audit tugallangan hisoblanmaydi.

Hisob-kitob masalalari

Hisob-kitob tejamni raqamga aylantiradi va qarorni asoslaydi. Oddiy misol: 60 Vt cho'g'lanma lampa 9 Vt LED lampaga almashtirildi, lampa kuniga 5 soat yonadi. Yillik tejam:

$$\Delta W = \frac{(P_1 - P_2)\cdot t \cdot n}{1000} = \frac{(60-9)\cdot 5 \cdot 365}{1000} \approx 93{,}1 \text{ kVt·soat} \quad (1)$$

Bu yerda P_1 va P_2 lampalar quvvati (Vt), t kunlik ish vaqti (soat), n yildagi kunlar soni. O'zini qoplash muddati lampa narxi K va amaldagi tarif c orqali topiladi:

$$T = \frac{K}{\Delta W \cdot c} \quad (2)$$

Narx va tarifni ta'lim oluvchi o'zi aniqlaydi: do'kondagi narxni va oxirgi to'lov kvitansiyasidagi tarifni oladi. Shunda masala darslikdagi mashqdan shaxsiy iqtisodiy qarorga aylanadi.

Boshqa usullar

3-jadval. Energiya tejamkorligini o'qitishning amaliy usullari

Usul	Qanday o'tkaziladi	Shakllanadigan natija
Loyihaviy ta'lim	Kichik guruh real muammoni tanlaydi (sinf yoritilishi, deraza izolyatsiyasi), yechim ishlab chiqadi va himoya qiladi	Muammoni hal etish, jamoada ishlash
Laboratoriya o'lchovlari	Vattmetr, lyuksmetr va termometr bilan qurilma sarfi, yoritilganlik va harorat o'lchanadi	O'lchash ko'nikmasi, ma'lumotga tayanish

Usul	Qanday o'tkaziladi	Shakllanadigan natija
Raqamli simulyatsiya	Interaktiv kalkulyator yoki virtual laboratoriyada parametr o'zgartiriladi va natija kuzatiladi	Sabab va oqibatni tushunish
O'yin va musobaqa	Sinflar yoki guruhlar tejam bo'yicha bellashadi, viktorina o'tkaziladi	Motivatsiya, barqaror odat
Bino o'quv vositasi sifatida	Ta'lim muassasasi hisoblagichlari va quyosh panellari ma'lumoti darsda tahlil qilinadi	Nazariyani real obyektga bog'lash
Oila bilan ishlash	Uy vazifasi sifatida oilaviy energiya kundaligi yuritiladi	Bilimning oilaga tarqalishi

Natijani baholash

Baholash energetik savodxonlikning uch tarkibiy qismini qamrashi kerak. Bilim test va masala bilan, ko'nikma audit hisoboti va loyiha himoyasi bilan tekshiriladi. Munosabat va xulq-atvor so'rovnoma hamda o'z-o'zini kuzatish kundaligi orqali baholanadi. Faqat test bilan baholash o'qitishni yana nazariy bilimga qaytaradi.

MUAMMOLAR VA ULARNI HAL ETISH YO'LLARI

Asosiy to'siq bilim bilan xulq-atvor orasidagi tafovutdir: ta'lim oluvchi tejash kerakligini biladi, lekin kundalik odatini o'zgartirmaydi. Quyidagi muammolar pedagogik amaliyot tahliliga asoslangan umumiy kuzatuvlardir. Ularni muayyan ta'lim muassasasi misolida so'rovnoma va kuzatuv bilan tasdiqlash tavsiya etiladi.

4-jadval. O'qitishdagi muammolar va ularning yechimlari

Muammo	Oqibati	Yechim
Mavzu fanlar bo'ylab tarqoq, bosqichlar o'zaro bog'lanmagan	Takrorlanish va bo'shliqlar	Bosqichlar bo'yicha yagona kompetensiya xaritasi
O'qituvchining metodik tayyorgarligi yetarli emas	Dars nazariy bo'lib qoladi	Malaka oshirish kurslari, tayyor dars ishlanmalari
O'lchov asboblari va laboratoriya bazasi cheklangan	Amaliy mashg'ulot o'tkazilmaydi	Arzon o'lchov to'plamlari, virtual laboratoriya, bino hisoblagichlaridan foydalanish
O'zbek tilida zamonaviy interaktiv material kam	O'qituvchi eskirgan manbaga tayanadi	Interaktiv elektron darslar, kalkulyatorlar va test to'plamlarini yaratish
Bilim xulq-atvorga aylanmaydi	Tejamkorlik odatga aylanmaydi	Amaliy faoliyat, oila va muassasa muhitini jalb etish
Natijani o'lchash mezoni yo'q	O'qitish samarasini baholab bo'lmaydi	Energetik savodxonlik so'rovnomasi, muassasa iste'moli monitoringi

Ta'lim muassasasining o'zi namuna bo'lishi shart. Koridorda kunduzi chiroq yonib tursa yoki qishda deraza ochiq holda xona isitilsa, darsdagi so'z ta'sirini yo'qotadi. Muassasa energiya iste'molini ochiq ko'rsatib borishi va tejam natijalarini jamoaga e'lon qilishi eng kuchli tarbiyaviy vositadir.

XULOSA VA TAKLIFLAR

Energiya tejamkorligini o'qitish samarali bo'lishi uchun u bilim, munosabat va xulq-atvorni birga shakllantirishi kerak. Tahlil quyidagi xulosalarga olib keladi:

1. Energiya tejamkorligi alohida mavzu emas, balki uzluksiz ta'limning barcha bosqichlaridan o'tuvchi kompetensiyadir.
2. Har bir bosqichning o'z vazifasi bor: maktabgacha ta'limda odat, maktabda tushunish va hisoblash, professional va oliy ta'limda kasbiy qaror.
3. Amaliy usullar (o'quv energoauditi, loyiha, o'lchov, hisob-kitob) nazariy tushuntirishdan ko'ra barqarorroq natija beradi.
4. Ta'lim muassasasining o'z energiya madaniyati o'qitish mazmunining ajralmas qismidir.

Shu asosda quyidagilar taklif etiladi:

1. Uzluksiz ta'lim bosqichlari uchun energetik savodxonlikning yagona kompetensiya xaritasini ishlab chiqish.
2. Fizika, kimyo, geografiya, texnologiya va tarbiya fanlari dasturlariga energiya tejamkorligi mavzularini o'zaro muvofiqlashtirib kiritish.
3. Har bir o'quv yilida kamida bitta o'quv energoauditini loyiha ishi sifatida o'tkazish.
4. Pedagoglar uchun energiya tejamkorligini o'qitish metodikasi bo'yicha malaka oshirish modulini joriy etish.
5. O'zbek tilida interaktiv elektron resurslar yaratish: simulyatsiyalar, kalkulyatorlar, variantli amaliy topshiriqlar va avtomatik tekshiriladigan testlar.
6. Oliy ta'lim tashkilotlarida energiya auditorlari va energetika menejerlari malakasini oshirish kurslarini tashkil etish.
7. Ta'lim muassasalarida energiya iste'moli monitoringini yo'lga qo'yish va natijalarni o'quv jarayonida ishlatish.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O'zbekiston Respublikasining "Energiyani tejash, undan oqilona foydalanish va energiya samaradorligini oshirish to'g'risida"gi Qonuni, O'RQ-940-son, 2024-yil 7-avgust. URL: https://www.lex.uz/docs/-7052085
2. O'zbekiston Respublikasining "Energiyadan oqilona foydalanish to'g'risida"gi Qonuni, 412-I-son, 1997-yil 25-aprel (2024-yil 9-noyabrdan o'z kuchini yo'qotgan). URL: https://www.lex.uz/docs/-10231
3. O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining "Yoqilg'i-energetika resurslari iste'molchilarini hamda bino va inshootlarni energiya iste'molini energiya auditidan o'tkazish tartiblarini belgilash to'g'risida"gi qarori, 690-son, 2024-yil 19-oktabr. URL: https://www.lex.uz/uz/docs/-7165199
4. DeWaters J. E., Powers S. E. Energy literacy of secondary students in New York State (USA): A measure of knowledge, affect, and behavior // Energy Policy. 2011. Vol. 39, No. 3. P. 1699–1710. DOI: 10.1016/j.enpol.2010.12.049
5. DeWaters J., Powers S. Establishing measurement criteria for an energy literacy questionnaire // The Journal of Environmental Education. 2013. Vol. 44, No. 1. P. 38–55.

GENERATIV SUN’IY INTELLEKT YORDAMIDA MATEMATIKA VA FIZIKA FANLARINI INTERAKTIV O‘QITISH USULLARINI TAKOMILLASHTIRISH

Zaynolobidinova Xumoraxon Raxmiddin qizi
Farg‘ona davlat texnika universiteti
2-kurs magistranti

Annotatsiya. Ushbu tezisda generativ sun’iy intellekt vositalaridan matematika va fizika fanlarini interaktiv o‘qitishda foydalanish imkoniyatlari tahlil qilinadi. Sun’iy intellekt asosida masalalarni bosqichma-bosqich tushuntirish, grafik va modellar yaratish, virtual tajribalarni tashkil etish hamda o‘quv materiallarini individual ehtiyojlarga moslashtirish yondashuvlari yoritiladi.

Kalit so‘zlar: generativ sun’iy intellekt, matematika, fizika, interaktiv ta’lim, vizualizatsiya, simulyatsiya, individual ta’lim.

Bugungi kunda raqamli texnologiyalar ta’lim jarayonining mazmuni va tashkil etilishiga sezilarli ta’sir ko‘rsatmoqda. Ayniqsa, generativ sun’iy intellekt (GenAI) tizimlarining rivojlanishi o‘quv materiallarini yaratish, murakkab tushunchalarni sodda shaklda izohlash va ta’lim oluvchiga individual yordam ko‘rsatish imkoniyatlarini kengaytirmoqda. UNESCO generativ sun’iy intellektdan ta’limda foydalanishda inson markazidagi yondashuv, pedagogik maqsadga muvofiqlik, xavfsizlik va axborotning ishonchliligini ta’minlash zarurligini alohida ta’kidlaydi [1]. Shu sababli GenAI vositalarini matematika va fizika kabi aniq fanlarga integratsiya qilish nafaqat texnologik, balki pedagogik jihatdan ham dolzarb masala hisoblanadi.

Matematika va fizika fanlarini o‘zlashtirishda o‘quvchi ko‘pincha abstrakt tushunchalar, formulalar, grafik bog‘lanishlar va dinamik jarayonlarni tasavvur qilishda qiyinchilikka duch keladi. An’anaviy darsda formula yoki statik chizma ma’lum bir holatni ko‘rsatsa, interaktiv muhit parametrlarni o‘zgartirish va natijani darhol kuzatish imkonini beradi. Generativ sun’iy intellekt esa bunday muhitni tabiiy tildagi muloqot, avtomatik izoh, topshiriq yaratish va o‘quvchining javobiga mos tavsiya berish imkoniyatlari bilan boyitishi mumkin.

Taklif etilayotgan yondashuvda generativ sun’iy intellekt interaktiv o‘qitish tizimining yordamchi intellektual moduli sifatida qaraladi. Foydalanuvchi matematik formula, masala sharti yoki fizik jarayon tavsifini tizimga kiritadi. Tizim so‘rovni tahlil qilib, mavzuga oid izoh, yechimning asosiy bosqichlari, kerakli formulalar va vizual tasvir uchun parametrlarni shakllantiradi. Keyingi bosqichda grafik, diagramma, animatsiya yoki simulyatsiya ko‘rinishidagi natija taqdim etiladi. O‘quvchi parametrlarni o‘zgartirishi, “nima uchun?” va “agar ... bo‘lsa nima o‘zgaradi?” kabi savollar berishi hamda natijani real vaqtga yaqin rejimda kuzatishi mumkin.

Masalan, fizika fanida mexanik harakat, erkin tushish, tebranish, to‘lqin, elektr zanjiri kabi jarayonlarni simulyatsiya qilish mumkin. Masalan, jismning boshlang‘ich tezligi yoki tezlanishi o‘zgartirilganda uning bosib o‘tgan masofasi va tezligi vaqt bo‘yicha grafiklarda aks ettiriladi. Generativ AI o‘quvchining kiritgan qiymatlarini tahlil qilib, kuzatilgan hodisani fizik qonunlar bilan bog‘lab tushuntiradi. Natijada formula, grafik va fizik jarayon bir vaqtning o‘zida o‘rganiladi. Bu yondashuv virtual laboratoriya elementlarini tabiiy tildagi intellektual yordamchi bilan birlashtirish imkonini beradi.

Interaktiv tizimning muhim xususiyatlaridan biri individual ta’limni qo‘llab-quvvatlashdir. Bir xil mavzu turli o‘quvchilar uchun turlicha murakkablikda tushuntirilishi mumkin. O‘quvchi noto‘g‘ri javob berganda tizim xatoni darhol “to‘g‘rilab qo‘yish” o‘rniga, qo‘shimcha savol, ko‘rsatma yoki vizual misol orqali mustaqil xulosaga kelishga yo‘naltirishi lozim. UNESCO materiallarida ham generativ AI ta’limda insonning mustaqil fikrlashi va faol ishtirokini qo‘llab-quvvatlaydigan tarzda qo‘llanishi kerakligi qayd etilgan [1, 2].

Biroq generativ sun'iy intellektdan foydalanishda bir qator cheklovlar mavjud. AI tomonidan yaratilgan javoblar har doim ham ilmiy jihatdan to'g'ri bo'lmasligi mumkin. Ayniqsa, matematik hisob-kitoblar, birliklar, fizik qonunlarning qo'llanish sohasi va masala shartlarini talqin qilishda natijani tekshirish talab etiladi. Shuningdek, shaxsiy ma'lumotlarni himoya qilish, akademik halollik va o'quvchining AIga haddan tashqari bog'lanib qolishining oldini olish muhim. Shu sababli ishlab chiqiladigan tizimda formulalarni hisoblash uchun tekshiriladigan matematik modul, tasdiqlangan o'quv manbalari hamda o'qituvchi nazorati bilan ishlash mexanizmlaridan foydalanish maqsadga muvofiq.

Mazkur yondashuvni amaliy tizim sifatida ishlab chiqishda uchta asosiy modulni ajratish mumkin: generativ AI bilan muloqot moduli, matematik-fizik hisoblash moduli va interaktiv vizualizatsiya moduli. Birinchi modul foydalanuvchi savolini tushunish va tushuntirish yaratishga, ikkinchi modul hisob-kitoblarning aniqligini ta'minlashga, uchinchi modul esa grafik, animatsiya va simulyatsiyalarni namoyish etishga xizmat qiladi. Ushbu modullarni birlashtirish natijasida o'quvchi faqat tayyor matnli javob emas, balki o'rganilayotgan qonuniyatni ko'rish, parametrlarni o'zgartirish va natijani tahlil qilish imkoniga ega bo'ladi [3, 4].

Xulosa qilib aytganda, generativ sun'iy intellekt matematika va fizika fanlarini interaktiv o'qitish imkoniyatlarini kengaytirishi mumkin. Uning asosiy afzalligi o'quv materialini tushuntirish, individual yordam ko'rsatish va vizual modellar bilan ishlash jarayonlarini yagona interaktiv muhitda birlashtirish imkoniyatidir. Shu bilan birga, AI natijalarini tekshirish, o'qituvchi rolini saqlab qolish va texnologiyadan pedagogik maqsadga muvofiq foydalanish zarur. Kelgusida bunday tizimning prototipini ishlab chiqish va uning o'quvchilarning mavzuni tushunishi, faolligi hamda masala yechish ko'nikmalariga ta'sirini tajriba asosida baholash maqsadga muvofiq.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Miao F., Holmes W. Guidance for Generative AI in Education and Research. Paris: UNESCO, 2023.

2. UNESCO. Artificial Intelligence and the Futures of Learning. UNESCO Digital Education, 2024–2026.

3. UNESCO. Education in the Age of Artificial Intelligence. The UNESCO Courier, 2023.

4. UNESCO. Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence. Paris: UNESCO, 2021.

GRAFIK DIZAYN UCHUN SUN'IY INTELLEKT ASOSIDA OBYEKT RANGINI AVTOMATIK TANLASH DASTURINI ISHLAB CHIQISH VA TADQIQ QILISH

Mavlanov Ozodbek
Farg'ona davlat texnika universiteti
2- kurs magistranti

Annotatsiya. Ushbu tezisda grafik dizaynda obyekt rangini sun'iy intellekt yordamida avtomatik tanlash yondashuvi ko'rib chiqiladi. Taklif etilayotgan dastur foydalanuvchining rang tanlovi, rang xususiyatlari va emotsional assotsiatsiyalarni tahlil qilib, dizayn obyektiga mos rang variantlarini tavsiya etishga yo'naltirilgan. Yondashuv rang tanlash jarayonini tezlashtirish, subyektivlikni kamaytirish hamda foydalanuvchiga moslashtirilgan rang yechimlarini shakllantirish imkonini beradi.

Kalit so'zlar: sun'iy intellekt, grafik dizayn, rang, rang psixologiyasi, avtomatlashtirish, emotsional holat, tavsiya tizimi.

Zamonaviy grafik dizaynda rang vizual axborotni yetkazish, obyektlar o'rtasidagi iyerarxiyani shakllantirish va foydalanuvchida muayyan taassurot uyg'otishda muhim vositalardan biri hisoblanadi. Amaliyotda rang tanlash ko'pincha dizaynerning tajribasi, kompozitsiya talablari, brend uslubi va maqsadli

auditoriya xususiyatlariga bog‘liq bo‘ladi. Shu sababli bir xil obyekt uchun turli mutaxassislar turlicha rang yechimlarini taklif qilishi mumkin. Sun’iy intellekt va mashinali o‘qitish usullarining rivojlanishi rang palitralarini shakllantirish, tasvirlardan asosiy ranglarni ajratish hamda dizayn vazifasiga mos ranglarni tavsiya etish jarayonlarini avtomatlashtirish uchun yangi imkoniyatlar yaratmoqda [1, 2].

Tadqiqotning maqsadi grafik dizayn obyektlari uchun rangni avtomatik tanlashga mo‘ljallangan dasturiy yondashuvni ishlab chiqish va uning ishlash tamoyillarini tadqiq qilishdan iborat. Bunda foydalanuvchining rang tanlovi qo‘shimcha axborot manbai sifatida qaraladi. Tanlangan ranglarning tusi, to‘yinganligi va yorqinligi kabi xususiyatlari tahlil qilinib, ular bilan bog‘liq emotsional assotsiatsiyalar aniqlanadi. Natijada tizim foydalanuvchining joriy tanloviga mos ranglar guruhini shakllantiradi va grafik obyekt uchun tavsiya qiladi. Bunday baholash klinik psixologik tashxis sifatida emas, balki dizaynni shaxsiylashtirishga xizmat qiluvchi emotsional yo‘nalish sifatida qo‘llaniladi.

Taklif etilayotgan dasturiy tizimning ishlash jarayonini bir necha bosqichga ajratish mumkin. Dastlab foydalanuvchiga ranglar yoki rang kombinatsiyalari taqdim etiladi va uning tanlovi qayd etiladi. Keyingi bosqichda tanlangan ranglarning raqamli parametrlari ajratib olinadi. So‘ng ushbu parametrlar oldindan shakllantirilgan rang–emotsiya belgilari yoki o‘rgatilgan model yordamida tahlil qilinadi. Tizim aniqlangan yo‘nalishga mos nomzod ranglar to‘plamini hosil qiladi. Yakuniy bosqichda rang uyg‘unligi, kontrast, obyektning fon bilan farqlanishi va dizayn konteksti hisobga olinib, mos variant foydalanuvchiga tavsiya etiladi.

Dasturiy yechimni amalga oshirishda foydalanuvchi interfeysi bilan hisoblash modulini alohida tashkil etish maqsadga muvofiq. Interfeys foydalanuvchidan rang tanlovlarini qabul qiladi, natijani ko‘rsatadi va tavsiya qilingan rangni grafik obyektga qo‘llash imkonini beradi. Hisoblash moduli esa rang kodlarini qayta ishlash, rang fazolari o‘rtasida o‘zgartirish, xususiyatlarni normallashtirish va tavsiya algoritmini bajaradi. Modelni takomillashtirish uchun foydalanuvchilarning tanlovlari anonim tarzda ma’lumotlar to‘plamiga aylantirilib, keyinchalik klassifikatsiya yoki tavsiya modeli o‘qitilishi mumkin.

Rangning emotsional mazmuni barcha foydalanuvchilar uchun mutlaq bir xil emas. Madaniy muhit, yosh, shaxsiy tajriba va dizayn konteksti rangga bo‘lgan munosabatni o‘zgartirishi mumkin. AI asosidagi rang tanlash bo‘yicha tadqiqotlarda ham algoritmik palitralar umumiy dizayn qonuniyatlarini takrorlay olishi, biroq inson dizaynerlari hisobga oladigan madaniy va vaziyatga bog‘liq nozikliklarni har doim ham to‘liq aks ettirmasligi qayd etilgan [2]. Shu sababli ishlab chiqilayotgan tizim bitta rangga qat’iy psixologik ma’no biriktirish o‘rniga ehtimollik yoki tavsiya tamoyiliga asoslanishi lozim.

So‘nggi tadqiqotlarda foydalanuvchi emotsiyasi bilan rang palitrasini bog‘laydigan intellektual tizimlar rivojlanmoqda. EmoPalette tizimida rang, shakl, naqsh, emoji va gradient kabi vizual tanlovlardan emotsional belgilar olinib, moslashtirilgan palitralar shakllantirilgan [3]. Boshqa tadqiqotlarda esa emotsional koordinatalar va rang xususiyatlarini birgalikda modellashtirish orqali rang palitrasining maqsadli emotsiyaga mosligini oshirish taklif qilingan [4]. Bu natijalar grafik dizayn dasturlarida foydalanuvchi holati yoki istalgan emotsional taassurotni qo‘shimcha parametr sifatida ishlatish istiqbolli ekanini ko‘rsatadi.

Taklif etilayotgan tizimni tadqiq qilishda bir nechta mezonlardan foydalanish mumkin: avtomatik tavsiya qilingan rang bilan foydalanuvchi tanlagan rangning yaqinligi, rang uyg‘unligi, kontrast ko‘rsatkichi, foydalanuvchining tavsiyadan qoniqish darajasi va rang tanlashga sarflangan vaqt. Sinov jarayonida dastur tavsiyasi va an’anaviy qo‘lda rang tanlash usuli taqqoslanadi. Yetarli hajmdagi foydalanuvchi ma’lumotlari yig‘ilgach, aniqlik, precision, recall yoki F1 kabi ko‘rsatkichlardan foydalanish model turiga qarab maqsadga muvofiq bo‘lishi mumkin. Shuningdek, A/B sinovi yordamida avtomatik tavsiya dizaynerning ish tezligiga qanday ta’sir ko‘rsatishini baholash mumkin.

Xulosa qilib aytganda, grafik dizaynda obyekt rangini sun’iy intellekt asosida avtomatik tanlash dizayn jarayonini tezlashtirish va foydalanuvchiga moslashtirish imkonini beruvchi istiqbolli yo‘nalishdir.

Ranglarning raqamli xususiyatlari, rang uyg‘unligi va emotsional assotsiatsiyalarni birgalikda tahlil qilish orqali oddiy rang tanlash vositasidan ko‘ra moslashuvchan tavsiya tizimini yaratish mumkin. Kelgusida tizimni real foydalanuvchilar ishtirokida sinovdan o‘tkazish, ma’lumotlar to‘plamini kengaytirish va madaniy hamda individual farqlarni hisobga oluvchi mashinali o‘qitish modelini ishlab chiqish tadqiqotning asosiy rivojlanish yo‘nalishlari hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Gao Y., Liang J., Yang J. Color Palette Generation From Digital Images: A Review. Color Research & Application. 2025. Vol. 50, No. 3. P. 250–265. DOI: 10.1002/col.22975.
2. Rong X. et al. Analyzing the color availability of AI-generated posters based on K-means clustering. Color Research & Application. 2024. Vol. 49, No. 2. P. 234–257. DOI: 10.1002/col.22912.
3. Mahjabin W. et al. EmoPalette: Visual Emotion Recognition and Adaptive Color Palette Generation. Human-Computer Interaction (HCII 2026), Lecture Notes in Computer Science, Vol. 16701. Springer, 2026. P. 359–372. DOI: 10.1007/978-3-032-29583-5_22.
4. Kong Y. Graphic Coloring Based on Emotion-Driven and Digital Visualization Color Mapping. International Journal on Artificial Intelligence Tools. 2026. DOI: 10.1142/S0218213026400099.

STRUCTURAL MODEL OF PROFESSIONAL-PRACTICAL COMPETENCE OF CHEMICAL ENGINEERING STUDENTS: A CDIO-ALIGNED APPROACH

Begzod O. Shukurov
PhD student, Department of Descriptive Geometry and Engineering Computer Graphics,
Namangan State Technical University, Namangan, Uzbekistan
e-mail: begzodshukurov44@gmail.com
Research supervisor: Prof. Dr. Po‘lat M. Maxsudov, Doctor of Pedagogical Sciences

Modern chemical plants are, to a large extent, electrically driven and electronically controlled systems. Pumps, compressors, agitators, dryers and evaporators are operated through variable-frequency drives; process parameters are captured by sensors and processed by programmable logic controllers. A process engineer who cannot read a control circuit, interpret a measurement loop or judge whether a drive regime suits a given process is, in practice, dependent on others for decisions that belong to their own area of responsibility.

Curricula, however, rarely reflect this. In most technical universities the course “Fundamentals of Electrical Engineering and Electronics” is delivered to chemical engineering students in essentially the same form as to electrical majors: abstract circuit calculations, standard problems, laboratory sessions performed from a ready-made protocol. The professional context in which the knowledge will later be used is absent, and so is any instrument for measuring whether transfer to that context has occurred.

Two questions follow. First, what exactly should be measured — that is, what is the structure of the competence that such a course ought to develop in a chemical engineering student? Second, how can that structure be positioned relative to internationally recognised frameworks so that the result is comparable beyond a single national system?

This paper addresses both. It proposes a structural-functional model of professional-practical competence, develops a criteria-indicator apparatus with level descriptors, establishes component weights by expert assessment, and maps the model onto the CDIO Syllabus v2.0 [1] and the Washington Accord graduate attributes [3].

2. Theoretical framework

The study follows the distinction, established in competence-based education research, between competence as a normative requirement and competence as an acquired personal quality [4]. Mulder’s synthesis defines competence not as a sum of knowledge, skills and attitudes but as the capacity to act effectively in a specific professional context [4] — it is this context-dependence that the present model takes as its starting point.

Accordingly, professional-practical competence of a chemical engineering student is defined here as an integral personal quality expressing the ability to apply knowledge acquired in general engineering courses independently in real or closely simulated chemical-process situations, to justify technical decisions, and to evaluate the results of one’s own activity critically.

Four components are distinguished (Fig. 1). Their identification draws on Verbitsky’s theory of contextual learning [7], on Tatur’s model of specialist preparation quality [8], and on the hierarchical structure of the CDIO Syllabus [1].

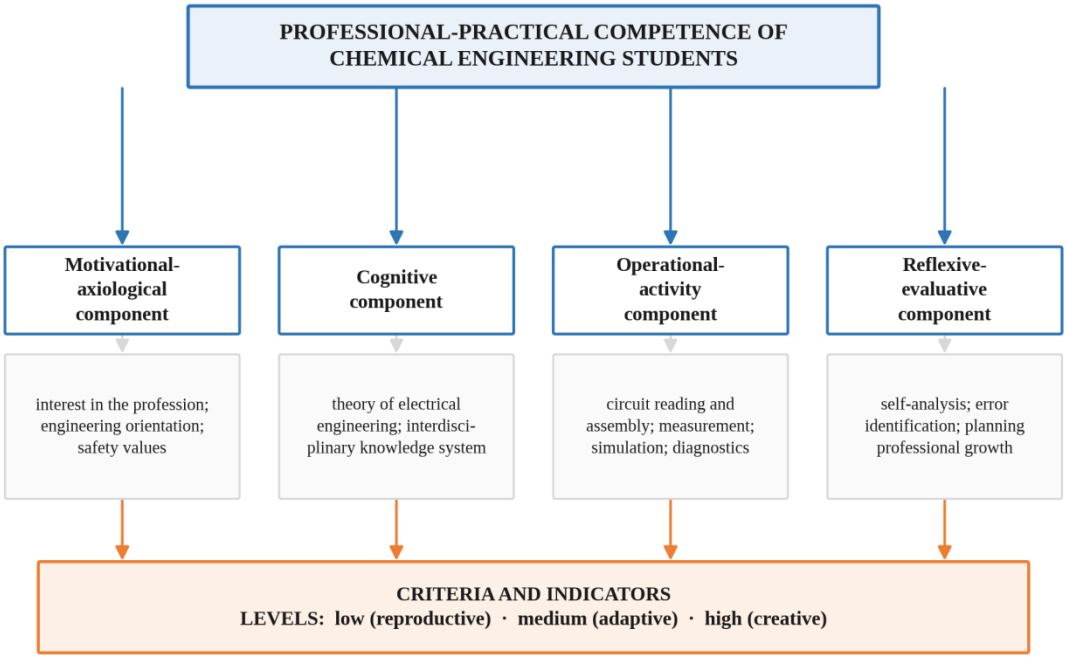


Fig. 1. Structural-functional model of professional-practical competence

The motivational-axiological component expresses the student’s internal orientation towards the profession and their acceptance of the safety and responsibility values of engineering work. The cognitive component covers the theoretical system of electrical engineering knowledge together with its interdisciplinary links. The operational-activity component — the core of the construct — integrates circuit reading and assembly, measurement, simulation, equipment selection and fault diagnosis. The reflexive-evaluative component expresses the ability to analyse one’s own actions, identify the cause of an error and plan further development.

The criteria-indicator apparatus derived from this structure is summarised in Table 1.

Table 1

Components, criteria and indicators of professional-practical competence

Component	Criterion	Indicators	Diagnostic instrument

Component	Criterion	Indicators	Diagnostic instrument
Motivational-axiological	Professional orientation	sustained interest; conscious career choice; acceptance of safety values; achievement motivation	Ehlers questionnaire; author’s survey
Cognitive	Systematicity and completeness of knowledge	command of core concepts and laws; identification of interdisciplinary links; correct use of terminology	40-item test; concept mapping
Operational-activity	Independence and correctness of practical action	circuit reading and assembly; measurement and data processing; simulation modelling; fault diagnosis; justified equipment selection	practical tasks; laboratory cases; observation sheet
Reflexive-evaluative	Ability to analyse one’s own activity	identification of error causes; comparison of alternatives; criterion-based self-assessment; planning the next step	reflective essay; self-assessment sheet; portfolio

3. Method

Component weights were established by expert assessment. The panel comprised 27 experts: 11 university teachers from electrical engineering and chemical technology departments, 9 chief power engineers and process engineers from chemical plants, and 7 specialists in pedagogy. Each expert rated the four components on a ten-point scale. Agreement was verified with Kendall’s coefficient of concordance, yielding W = 0.78, which indicates a high level of consensus.

The ascertaining study involved 251 second-year students of the “Chemical Technology” and “Oil and Gas Refining Technology” programmes at Namangan State Technical University (control group n = 124; experimental group n = 127). All four components were diagnosed with the instruments listed in Table 1. The generalised indicator was computed as the weighted sum of component scores, $K = \Sigma w_i K_i$, with $\Sigma w_i = 1$.

Three levels were distinguished: low (reproductive, 0–54 points), medium (adaptive, 55–79) and high (creative, 80–100). Distribution homogeneity between the groups was tested with Pearson’s χ^2 test at $\alpha = 0.05$. Calculations were performed in IBM SPSS Statistics.

4. Results

Expert assessment produced the following weights: operational-activity w = 0.34, cognitive w = 0.27, motivational-axiological w = 0.21, reflexive-evaluative w = 0.18. The dominance of the operational-activity component reflects the position of industry representatives on the panel, who consistently prioritised readiness for practical action over declarative knowledge.

The ascertaining study showed that 46.2 % of students were at the low level, 41.8 % at the medium level and 12.0 % at the high level; the mean generalised score was 52.0 points. The χ^2 value for the initial distributions of the two groups was 0.05 (df = 2, $p > 0.05$), confirming their homogeneity.

The component profile proved more informative than the aggregate figure. The mean cognitive score reached 61.4 points, whereas the operational-activity score was 48.7 and the reflexive-evaluative

score 44.2. The 12.7-point gap between declarative knowledge and practical action is the central empirical finding: students know, but do not act.

Survey data supported this interpretation. Some 68.5 % of respondents rated the electrical engineering course as "secondary for my specialism", and 71.3 % could not articulate a connection between its content and their future professional tasks. At the same time, 82.9 % expressed interest in tasks based on real production situations — a pedagogically significant resource.

The cognitive component maps strongly onto Section 1 (disciplinary knowledge); the operational-activity component onto Section 4 (conceiving, designing, implementing and operating) and Section 2; the motivational-axiological and reflexive-evaluative components onto Section 2 (personal and professional skills and attributes). Section 3 (interpersonal skills) is only partially covered, which is consistent with the scope of a single general engineering course rather than a whole programme.

A comparison with the Washington Accord graduate attributes is given in Table 2.

Table 2

Correspondence with Washington Accord graduate attributes

Graduate attribute (Washington Accord)	Corresponding component	Coverage within the course
WA1 Engineering knowledge	Cognitive	Full — theoretical core of the course
WA2 Problem analysis	Cognitive, Operational-activity	Full — contextualised problem tasks
WA3 Design / development of solutions	Operational-activity	Partial — mini-projects only
WA4 Investigation	Operational-activity	Full — laboratory and simulation work
WA5 Modern tool usage	Operational-activity	Full — circuit simulation environments
WA6 The engineer and society	Motivational-axiological	Partial — electrical safety context
WA11 Life-long learning	Reflexive-evaluative	Partial — portfolio and self-assessment

5. Discussion

Three features distinguish the proposed model from existing descriptions of engineering competence. First, it is specified for a non-electrical audience: the content of the operational-activity component is derived from the job functions of a process engineer rather than from the internal logic of electrical engineering as a discipline. Second, it is measurable — each component carries indicators and an explicit diagnostic instrument, so the construct can be tracked in process rather than only at the exit. Third, it is weighted: the components do not contribute equally, and the weights are empirically grounded rather than assumed.

The mapping onto CDIO and the Washington Accord serves a practical purpose beyond comparability. It shows precisely where a single general engineering course can and cannot contribute: design competence (WA3) and interpersonal skills (CDIO Section 3) require programme-level provision

and cannot be delivered within one course, whereas modern tool usage (WA5) and investigation (WA4) can be addressed fully.

The main limitation of the study is that it was conducted at a single institution, and the expert panel, while balanced, was drawn from one region. Replication across institutions is needed before the weights can be treated as generally valid. A second limitation is that the study reported here is ascertaining; the effectiveness of instruction designed around the model is the subject of a separate formative experiment.

6. Conclusion

The paper substantiates professional-practical competence of chemical engineering students as a distinct pedagogical category and proposes a four-component structural-functional model with an associated criteria-indicator apparatus and three-level descriptors. Expert assessment (n = 27, W = 0.78) established the operational-activity component as dominant (w = 0.34).

An ascertaining study with 251 students showed that 46.2 % were at the low level and that a 12.7-point gap separates cognitive from operational-activity attainment. The model maps consistently onto the CDIO Syllabus v2.0 and the Washington Accord attributes, which makes the results interpretable in an international context while identifying the gaps a single general engineering course can realistically close.

Further work will apply the model to the design of a contextualised, simulation-supported instructional technology and verify its effectiveness experimentally.

References

1. Crawley E.F., Malmqvist J., Östlund S., Brodeur D.R., Edström K. Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach. 2nd ed. Cham: Springer, 2014. 311 p.
2. CDIO Standards 3.0. Worldwide CDIO Initiative. Available at: https://cdio.org/content/cdio-standards-30 (accessed 12 September 2026).
3. Washington Accord. International Engineering Alliance. Available at: https://www.internationalengineeringalliance.org/accords/washington-accord (accessed 12 September 2026).
4. Mulder M. (ed.) Competence-based Vocational and Professional Education: Bridging the Worlds of Work and Education. Cham: Springer, 2017. 1145 p.
5. Spady W.G. Outcome-Based Education: Critical Issues and Answers. Arlington, VA: American Association of School Administrators, 1994. 212 p.
6. Biggs J., Tang C. Teaching for Quality Learning at University. 4th ed. Maidenhead: Open University Press, 2011. 418 p.
7. Verbitsky A.A. Active Learning in Higher Education: A Contextual Approach. Moscow: Vysshaya Shkola, 1991. 207 p. (In Russian)
8. Tatur Yu.G. Competence in the Structure of the Model of Specialist Training Quality. Vysshee Obrazovanie Segodnya, 2004, no. 3, pp. 20–26. (In Russian)
9. Ballesteros M.Á., Sánchez J.S., Ratkovich N., Cruz J.C., Reyes L.H. Modernizing the chemical engineering curriculum via a student-centered framework that promotes technical, professional, and technology expertise skills: The case of unit operations. Education for Chemical Engineers, 2021, vol. 35, pp. 8–21.
10. A Tuning-AHELO Conceptual Framework of Expected and Desired Learning Outcomes in Engineering. OECD Education Working Papers No. 60. Paris: OECD Publishing, 2011. 78 p.
11. Lattuca L.R., Knight D.B., Bergom I.M. Developing a Measure of Interdisciplinary Competence. International Journal of Engineering Education, 2013, vol. 29, no. 3, pp. 726–739.
12. Anderson L.W., Krathwohl D.R. (eds.) A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives. New York: Longman, 2001. 352 p.

13. Prince M. Does Active Learning Work? A Review of the Research. Journal of Engineering Education, 2004, vol. 93, no. 3, pp. 223–231.
14. de Jong T., Linn M.C., Zacharia Z.C. Physical and Virtual Laboratories in Science and Engineering Education. Science, 2013, vol. 340, no. 6130, pp. 305–308.

KIMYO KORXONALARI TEXNOLOGIK JARAYONLARIDA ELEKTROTEXNIKA BILIMLARINING TATBIQINI KASBGA YO‘NALTIRILGAN MASALALAR TIZIMI

Shukurov Begzod O‘ktam o‘g‘li
Namangan davlat texnika universiteti, “Chizma geometriya va muhandislik kompyuter grafikasi” kafedrasi tayanch doktoranti (PhD)
e-mail: begzodshukurov44@gmail.com
Ilmiy rahbar: p.f.d., professor Maxsudov Po‘lat Maxsudovich

Annotatsiya. Maqolada kimyo muhandisligi yo‘nalishi talabalari uchun “Elektrotexnika va elektronika asoslari” fanining kasbga yo‘naltirilgan masalalar tizimi taklif etiladi. Masalalar kimyo korxonasining real texnologik uzellari asosida to‘rt guruhga — energiya ta’minoti, elektr yuritma, nazorat va o‘lchash hamda xavfsizlik guruhlariga ajratilgan; har bir guruh ichida murakkablik bo‘yicha to‘rt daraja farqlanadi. Tizimning amaliy qo‘llanilishi namunaviy masalalar bilan ko‘rsatilgan.

Kalit so‘zlar: kasbga yo‘naltirilgan masala, elektrotexnika, kimyo muhandisligi, texnologik jarayon, masalalar tizimi, murakkablik darajasi, amaliy kompetentlik.

Kirish

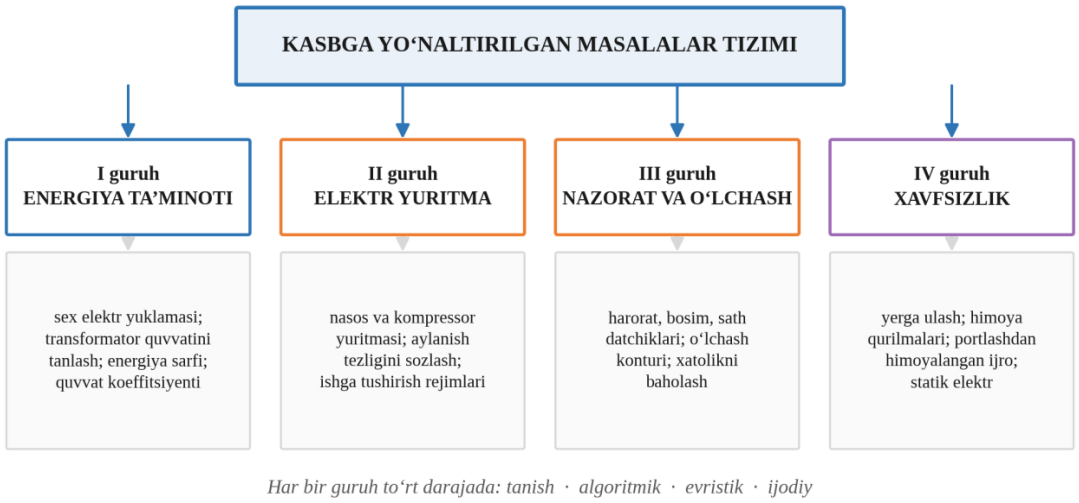
Kimyo muhandisligi yo‘nalishi talabalariga “Elektrotexnika va elektronika asoslari” fanini o‘qitishda eng ko‘p uchraydigan kamchilik — masalalar mazmunining kasbiy faoliyatdan uzilganligidir. An’anaviy masalada “R_1 = 10 Om, R_2 = 20 Om qarshiliklar ketma-ket ulangan” degan shart beriladi; bunday shart talabada hech qanday kasbiy assotsiatsiya uyg‘otmaydi va bilimning ishlab chiqarish vaziyatiga ko‘chishini ta’minlamaydi.

Bizning tadqiqotimiz doirasida o‘tkazilgan so‘rov (n = 251) talabalarning 71,3 foizi fan mazmuni bilan bo‘lajak kasbiy vazifalari o‘rtasidagi bog‘liqlikni aniq tasavvur qila olmasligini ko‘rsatdi. Ayni paytda ularning 82,9 foizi ishlab chiqarish vaziyatlariga asoslangan topshiriqlarga qiziqish bildirgan. Bu ziddiyat masalalar mazmunini qayta ko‘rib chiqish zaruratini keltirib chiqaradi.

Mazkur maqolaning maqsadi — kimyo korxonalarining real texnologik jarayonlari asosida qurilgan kasbga yo‘naltirilgan masalalar tizimini taqdim etishdan iborat.

Asosiy qism

Masalalar tizimini loyihalashda kimyo korxonasining texnologik uzellari va ularni boshqaruvchi elektrotexnik qurilmalar tahlil qilindi. Tahlil natijasida masalalarning to‘rtta mazmuniy guruhi ajratildi (1-rasm).



1-rasm. Kasbga yo‘naltirilgan masalalar tizimining tuzilmasi

Har bir guruh ichida masalalar murakkablik bo‘yicha to‘rt darajaga ajratiladi: tanish (kontekstli illyustratsiya), algoritmik (tipik hisob), evristik (keys-masala) va ijodiy (mini-loyiha). Darajalar bo‘ylab harakatlanish jarayonida masaladagi noaniqlik va talabaning mustaqilligi ortib boradi.

Tizimning amal qilish mantiqini namunaviy masalalar misolida ko‘rsatamiz (1-jadval).

1-jadval

Kasbga yo‘naltirilgan masalalar namunalari

Guruh	Daraja	Masala mazmuni	Tekshiriladigan ko‘nikma
I. Energiya ta’minoti	Algoritmik	Sex yuklamasi 180 kVt, cos φ = 0,72. Kompensatsiya qurilmasi quvvatini aniqlang, cos φ ni 0,92 ga yetkazing	Quvvat koeffitsiyentini hisoblash va kompensatsiyani asoslash
II. Elektr yuritma	Evristik	Aralashtirgich yuritmasi nominal rejimda ishlamoqda, biroq jarayon talabiga ko‘ra aylanish tezligini 30 % ga kamaytirish zarur. Mumkin bo‘lgan yechimlarni qiyoslang va tanlovingizni asoslang	Muqobil texnik yechimlarni qiyoslash, chastota o‘zgartkichni tanlash
III. Nazorat va o‘lchash	Evristik	Reaktor harorati nazorat konturi ko‘rsatkichi haqiqiy qiymatdan doimiy ravishda 4 °C yuqori. Sababni aniqlang va bartaraf etish yo‘lini taklif qiling	Tizimli xatolikni aniqlash, o‘lchash konturini tahlil qilish
IV. Xavfsizlik	Tanish	Sexda yerga ulash konturi qarshiligi 6 Om o‘lchandi. Bu qiymat me’yorga mos keladimi? Javobingizni asoslang	Me’yoriy talablarni bilish va qo‘llash

Guruh	Daraja	Masala mazmuni	Tekshiriladigan ko‘nikma
II. Elektr yuritma	Ijodiy	Nasos stansiyasi uchun energiya tejovchi boshqaruv sxemasini loyihalang, uni Multisim muhitida modellashtiring va iqtisodiy samarani baholang	Loyihalash, modellashtirish, texnik-iqtisodiy asoslash

Jadvaldan ko‘rinadiki, masalaning kasbiy konteksti uning matematik murakkabligini oshirmaydi — o‘zgaradigan narsa shartning qo‘yilishi va talabadan talab qilinadigan fikrlash turidir. Algoritmik darajada talaba tayyor formuladan foydalanadi, evristik darajada esa yetishmayotgan ma’lumotni o‘zi aniqlashi va tanlovini asoslashi kerak.

Tizim Namangan davlat texnika universitetida 46 nafar talaba ishtirokida sinovdan o‘tkazildi. Natijalarga ko‘ra, I daraja masalalarini talabalarning 91,3 foizi, II daraja masalalarini 76,1 foizi, III daraja masalalarini 43,5 foizi va IV daraja masalalarini 19,6 foizi mustaqil bajara oldi. Bajarish vaqti mos ravishda o‘rtacha 8, 17, 34 va 71 daqiqani tashkil etdi.

Talabalarning 84,8 foizi kasbiy kontekstli masalalarni an’anaviy masalalarga nisbatan qiziqarliroq deb baholagan, 78,3 foizi esa fanning o‘z mutaxassisligi uchun ahamiyatini aniqroq tushuna boshlaganini qayd etgan.

Xulosa

Taklif etilayotgan masalalar tizimi kimyo korxonalarining real texnologik jarayonlariga asoslangan bo‘lib, to‘rtta mazmuniy guruh va to‘rtta murakkablik darajasini qamrab oladi. Tizimning asosiy afzalligi — u fan mazmunini o‘zgartirmasdan, masalalarning qo‘yilishini qayta loyihalash orqali bilimning kasbiy vaziyatga ko‘chishini ta’minlashidir.

Sinov natijalari darajalarning amalda farqlanishini hamda tizimning talabalar motivatsiyasiga ijobiy ta’sirini tasdiqladi. Tizim boshqa umumkasbiy fanlar uchun ham namuna sifatida qo‘llanilishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining “O‘zbekiston Respublikasi oliy ta’lim tizimini 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi PF-5847-son Farmoni, 2019-yil 8-oktabr.
2. Вербицкий А.А. Активное обучение в высшей школе: контекстный подход. – М.: Высшая школа, 1991. – 207 с.
3. Crawley E.F., Malmqvist J., Östlund S., Brodeur D.R., Edström K. Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach. – 2nd ed. – Cham: Springer, 2014. – 311 p.
4. Barrows H.S. A Taxonomy of Problem-Based Learning Methods // Medical Education. – 1986. – Vol. 20, No. 6. – P. 481–486.
5. Merrill M.D. First Principles of Instruction // Educational Technology Research and Development. – 2002. – Vol. 50, No. 3. – P. 43–59.
6. Prince M. Does Active Learning Work? A Review of the Research // Journal of Engineering Education. – 2004. – Vol. 93, No. 3. – P. 223–231.
7. [MAHALLIY MANBA — muallif tomonidan to‘ldiriladi: ilmiy rahbar P.M. Maxsudovning mavzuga oid nashri]

REMAINDER TERMS AND A SECOND THRESHOLD IN THE SURVIVAL LAW OF THE CRITICAL BELLMAN–HARRIS PROCESS

Malika Islomova and Azam A. Imomov
Karshi State University, Karshi, Uzbekistan
e-mails: islomovam150@gmail.com , imomov_azam@mail.ru,

KEYWORDS: Bellman–Harris process; critical branching; survival probability; second-order asymptotics; renewal density.
MSC (2020): Primary 60J80; Secondary 60K05.

The Bellman–Harris process describes a population in which every particle lives a random time and at the end of its life is replaced by a random number of offspring, all lifetimes and offspring numbers being independent. The process is called critical when the mean number of offspring equals one. In that case the population dies out with probability one, and the whole interest lies in the rate at which the probability $Q(t)$ of survival up to time t tends to zero as $t \to 0$. The question goes back to Chover and Ney [1], who obtained the answer for a reproduction law of finite variance and a lifetime of finite second moment.

Two characteristics of the model govern the answer. The first describes how heavy the tail of the reproduction law is and is measured, following Slack [5], by an index $\nu \in (0,1]$, the finite-variance case being $\nu = 1$. The second describes how heavy the tail of the lifetime distribution is and is measured by an index β, the probability that a particle lives longer than t decaying like $t^{-\beta}$ up to a slowly varying factor. From these two indices one forms the threshold

$$\rho = \frac{1+\nu}{\nu}.$$

When the lifetime tail is heavier than this threshold allows, that is for $\beta < \rho$, the survival probability is controlled by the lifetime itself, as shown by Vatutin [6] and Yakymiv [7]. When the lifetime tail is lighter, $\beta > \rho$, the classical law of Goldstein and Hoppe [2] holds, and the survival probability decays like a fixed power of t that is set by the reproduction law alone. For $\nu = 1$ the threshold equals two, in agreement with the condition found earlier by Kesten.

The law of Goldstein and Hoppe gives the leading term only. Beyond it the second-order behaviour has been known only in the finite-variance case and for a light lifetime tail, where Chover and Ney [1] found a logarithmic correction. For a general reproduction index, and at $\nu = 1$ for heavier lifetime tails, the correction to the classical law has remained open. The present work computes it over the whole range $\beta > \rho$.

The main finding is that the correction has a threshold of its own, which lies exactly one unit above the first one, at $\rho + 1$. Two mechanisms compete in the second-order term. One of them comes from the renewal structure of the lifetimes and is carried by the equilibrium tail of the lifetime distribution; it is the stronger, the heavier the lifetime tail. The other is local and is carried by the Stone constant of the renewal density, which depends only on the first two moments of the lifetime. Which of the two prevails is decided by the position of β relative to the second threshold, and three regimes arise.

Between the two thresholds, for $\rho < \beta < \rho + 1$ the renewal mechanism prevails and the correction is a power of t. It is positive: a heavy lifetime tail keeps particles in play longer, and the process survives better than the classical law predicts. Its coefficient is found explicitly, and depends on the reproduction law, on the mean lifetime and on the difference $\rho + 1 - \beta$. Above the second threshold, for $\beta > \rho + 1$, that power term becomes summable, the local mechanism takes over, and the correction is a logarithm of t whose coefficient is again explicit and is given by the Stone constant. In this regime the constant term of the expansion is also identified, as a convergent functional of the trajectory of the process. On the second

threshold itself, $\beta = \rho + 1$, the two mechanisms act on one and the same logarithmic scale and their contributions add. The renewal contribution is always negative, whereas the local one is positive or negative according as the lifetime is less or more variable than the exponential distribution. Consequently, the two may reinforce each other or partially cancel, and models exist in which they cancel completely, so that the logarithmic term disappears altogether.

The structural conclusion is that a heavier reproduction tail demands a lighter lifetime tail, not only for the classical law to hold, but separately for each regime of its correction. Both thresholds grow without bound as ν tends to zero, and the finite-variance value three is the smallest that the second threshold can take. In the finite-variance case our expansion reproduces exactly the logarithmic coefficient of Chover and Ney [1], and in the power regime it agrees with the renewal results of [3].

The proof rests on a single exact identity, obtained directly from the integral equation of the process. It expresses the survival probability through the reproduction defect evaluated along the trajectory and one convolution of that defect with the deviation of the renewal density from its limit. The whole second-order analysis is thereby reduced to the two-term asymptotics of that one convolution, its two terms being precisely the two mechanisms described above. The renewal input is a pointwise estimate of the renewal density with a power rate, due to Isozaki [4], and it requires only a smoothness condition on the lifetime density. No monotonicity condition is imposed on the renewal density, which cannot be verified from the model, and no asymptotic form of the derivative of the survival probability is used.

The results are confirmed numerically. One and the same lifetime distribution, with tail index four, is combined with three reproduction laws whose indices place it in each of the three regimes in turn. In every case the second-order coefficient measured from the numerical solution of the equation approaches its predicted value, the discrepancy falling below four per cent within the computed range. Since only the reproduction law changes from one case to another, this shows directly that the type of the correction is decided jointly by both indices, which the finite-variance theory cannot detect.

REFERENCES

[1] CHOVER J. & NEY P. *The non-linear renewal equation*. J. Anal. Math. 21, 1968, pp. 381–413.
[2] GOLDSTEIN M. I. & HOPPE F. M. *Limit theorems for the critical age-dependent branching process with infinite variance*. Stochastic Process. Appl. 5(3), 1977, pp. 297–305.
[3] IMOMOV A. A. & RIZAQULOV SH. E. *Second-order renewal asymptotics in the finite-variance regularly varying regime*. Preprint, 2026; SSRN:7434437.
[4] ISOZAKI Y. *Fractional order error estimates for the renewal density*. J. Math. Soc. Japan 68(1), 2016, pp. 31–49.
[5] SLACK R. S. *A branching process with mean one and possibly infinite variance*. Z. Wahrsch. Verw. Gebiete 9, 1968, pp. 139–145.
[6] VATUTIN V. A. *Discrete limit distributions of the number of particles in critical Bellman–Harris branching processes*. Theory Probab. Appl. 22(1), 1977, pp. 146–151.
[7] YAKYMIV A. L. *Asymptotics of the survival probability of critical Bellman–Harris branching processes*. Trudy Mat. Inst. Steklov. 177, 1986, pp. 177–205.

BO‘LAJAK FIZIKA O‘QITUVCHILARINI ILMIY-TADQIQOT FAOLIYATIGA TAYYORLASHNING METODOLOGIK ASOSLARI

Nurmatova Dildora Jumaboyevna
Qarshi davlat universiteti o‘qituvchisi

“Metodologiya” atamasi yunoncha “metod” – yo‘l, usul va “logos” - ta’limot so‘zlaridan tashkil topgan bo‘lib, faoliyat usullari va vositlari haqidagi ta’limotni anglatadi. Har qandai fundamental izlanishning metodologik asosi deganda ilmiy bilish jarayonini maqsadli, tizimli va mantiqiy izchil tashkil etishni ta’minlovchi konseptual yondashuvlar, tamoyillar, usullar hamda ilmiy jamoatchilik tomonidan e'tirof etilgan paradigmalar majmuasi tushuniladi.

Aynan shu asos tadqiqotning maqsadini, uni amalga oshirish mexanizmlarini, qo‘llaniladigan empirik va tahliliy vositalar doirasini, shuningdek olingan natijalarning ishonchliligini teksirish va ilmiy jihatdan asoslash mezonlarini belgilab beradi. U izlanishning strategik vektorini to‘g‘ri yo‘naltiradi, ilgari surilgan nazariy gipotezalar va kutilayotgan amaliy natijalar o‘rtasidagi uzviy gnoseologik ko‘prikni shakllantiradi hamda yakuniy xulosalarning ilmiylik darajasini mustahkamlaydi.

Zamonaviy bilish nazariyasiga oid adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, metodologiya avvalo ilmiy bilish faoliyatining tuzilishini, uning tashkil etilish qonuniyatlari, shakl va usullarini belgilovchi ta’limot sifatida namoyon bo‘ladi. Shu nuqtai nazardan, bizning izlanishimiz metodologiyasining mazmun-mohiyati ilmiylik, mantiqiy izchillik, uzviy tizimlilik, praksiologik (amaliy) yo‘naltirilganlik, muammolilik hamda integrativlik tamoyillarining sinergik uyg‘unligi bilan tavsiflanadi. Xususan, izlanishda qo‘llanilgan tayanch yondashuvlar o‘ziga xos ilmiy funksiyalarni bajaradi:

- Tizimli yondashuv — o‘rganilayotgan pedagogik hodisani uning tarkibiy strukturasi, didaktik mazmuni va funksiyalari yaxlitligida tahlil qilishga imkon beradi;
- Kompetensiyaviy yondashuv — amaliy jarayon yakunida shaxsning murakkab kasbiy-ilmiy faoliyatga tayyorgarlik darajasini ta’minlashni bosh maqsad qilib qo‘yadi;
- Faoliyatli paradigma — tadqiqotchilik amaliyotini abstrakt g‘oyalar bilan emas, balki real muammolarning pragmatik yechimlari bilan bevosita bog‘laydi;
- Shaxsga yo‘naltirilgan va integrativ yondashuvlar — kognitiv jarayonda talabaning individual intellektual salohiyati, ichki qiziqishlari, mavjud bilimlar bazasi va hayotiy tajribalarini adekvat inobatga olishni imperativ (qat‘iy) shart qilib belgilaydi.

Ushbu konseptual-metodologik konstruksiya tarkibida maxsus ilmiy-tadqiqot metodlari instrumentariysi alohida ustuvorlik kasb etadi. Tadqiqotning amaliy qismi bir qator metodlarga tayanadi: bevosita kuzatish, chuqurlashtirilgan diagnostika, induktiv va deduktiv tahlil, sintez, obyektlarni modellashtirish, pedagogik eksperiment hamda olingan empirik ma’lumotlarní matematik-statistik qayta ishlash. Pedagogik eksperimentlarning sun’iy emas, balki real o‘quv-auditoriya muhitida amalga oshirilishi ilgari surilgan sof nazariy g‘oyalarning amaliy-faktologik tasdig‘ini topishiga xizmat qiladi. Bu mexanizm olingan ilmiy xulosalarning obyektivlik ko‘rsatkichini maksimal darajaga ko‘tarib, ishlab chiqilgan metodik tavsiyalarni keng ko‘lamli amaliyotga ishonch bilan joriy etish imkonini kafolatlaydi.

“Fan metodologiyasi uning obyektini, tahlil predmetini, tadqiqot vazifasini (yoki muammosini) ilmiy tadqiqot komponentlarini, ushbu turdagi muammoni hal qilish uchun zarur bo‘lgan tadqiqot vositalarining yig‘indisini tavsiflaydi, shuningdek, tadqiqotning ketma-ketligi haqida tasavvurni shakllantiradi. Metodologiyani qo‘llashning eng muhim nuqtalari - muammoni shakllantirish, o‘rganish mavzusini qurish va ilmiy nazariyani qurish, shuningdek, natijaning to‘g‘riligini tekshirish”.

“Falsafiy ensiklopedik lug‘at metodologiyaga ta’rif berishda faoliyat nazariy va amaliy bo‘lishi mumkinligini qo‘shimcha ravishda ta’kidlaydi:Metodologiya nazariy va amaliy faoliyatni tashkil etish va qurish tamoyillari va metodlari tizimi, shuningdek. bu tizimning ta’limoti sifatida”.

“Ensiklopedik nashrlarda metodologiya tushunchasi ta’riflari quyidagicha:Metodologiya 1) har

qanday fanda qo‘llaniladigan tadqiqot metodlari majmui; 2) dunyoni ilmiy bilish va o‘zgartirish metodi haqidagi ta’limot.Fan metodologiyasining predmeti, uning metodologik tahlili ilmiy tadqiqotning xilma-xil metodlari, texnikasi va operatsiyalarini, uning normalari va ideallarini, shuningdek, ilmiy bilimlarni tashkil etish shakllarini qamrab oladi”.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Мирзаҳмедов Б.М. Физика ўқитиш методикаси. – Тошкент: Ўқитувчи, 2007. – 312 б.
2. Насриддинов К. Физика фанини ўқитиш жараёнида интерфаол методлардан фойдаланиш. – Тошкент: Фан ва таълим, 2017. – 220 б.
3. Nurmatova D. J. Competence-based approach as a basis for the formation of research competence among future physics teachers// Международном научно- практическом журнале Экономика и социум – 2025 № 3(130)- 296-300 bet ISSN 2225-1545
4. Nurmatova D. J. Preparation of Future Physics Teachers for Research Activities // American Journal of Language, Literacy and Learning in STEM Education –2025 Volume. 3, Issue 2, ISSN (E): 2993-2769.
5. Шоймардонов, Т.А. Бўлажак мутахассисларни касбий фаолиятга тайёрлашда лойиҳавий ёндашув. – Тошкент: Фан ва технология, 2017. – 175 б.

O‘QUVCHINI AMALIY FAOLIYATINI FAOLLASHTIRISHDA KOMPYUTER DASTURLARIDAN FOYDALANISH

Jumyev Nusrat Amonovich
Qarshi Davlat Texnika Universiteti o‘qituvchisi.

Faoliyat motiv, maqsad, vosita, natijaga ko‘ra doimiy harakatlanadigan ijtimoiy hodisa, u o‘zining boshlanishi va yakuniga ega. Amaliy faoliyatning boshlanishi o‘quv maqsadlarini belgilash, anglash, ularni amalga oshirish bilan yakunlanishi ta’limdan ko‘zlangan natijaga erishishi bilan tavsiflanadi. Tuzilgan loyihalarda amaliy faoliyat modellashtiriladi. Demak, o‘quvchining o‘qish-o‘rganishi boshlanishida ta’lim loyihasi, yakunlanishida esa ta’lim natijasi yotadi.

Amaliy faoliyatni davriy boshqarishning bosh vazifasi mazkur variantlar orasidan eng samaralisini tanlash va uni ilmiy asoslash. Bunday ish o‘qish-o‘rganishning umumiy va alohida xususiyatlarini ajratishni taqozo qiladi. Matematikadan bajariladigan amaliy ishlar mazmuni, o‘quvchining o‘quv maqsadlari, o‘rganish vositalari, ta’lim uslublari o‘qish-o‘rganish umumiyligini ta’minlaydi. Demak, matematikadan amaliy ishlarni bajarishni har bir o‘quvchi o‘z imkoniyati va salohiyati darajasida o‘zlashtiradi. Natija induvidualligi amaliy faoliyatning xususiyati hisoblanadi.

Faoliyat – bu ijtimoiy qimmatli motivlarga ko‘ra aniq bir maqsadga yo‘naltirilgan, o‘ziga oid vositalar asosida ma’lum natija bilan yakunlanadigan harakatlar tizimi. O‘quvchi amaliy faoliyatining harakatlar tizimi. O‘quvchi amaliy faoliyatining o‘zaro daxldor ikki jihati ajratiladi. Bu o‘qish va bilish.

Ma’lumki, funksiyaning hosilasi tushunchasi matematika va fizikaning eng sodda misol va masalalaridan boshlab tabiatning eng muammoli masalalarini yechishda keng qo‘llaniladi. Ushbu ishda hosiladan kelib chiqadigan mazmunga ko‘ra, aniqroq aytganda, hosilaning geometrik mazmunidan kelib chiqib funksiya grafigiga urinma masalasiga hosilaning qo‘llanilishini MATLAB va Dev-C++ dasturiy tizimlardan foydalanib ko‘rsatib o‘tiladi va eng sodda misollar vositasida hosilaning qo‘llanilishini algoritmi keltiriladi.

Funksiya hosilasining ma’nosidan kelib chiqib burchak koeffitsiyenti $f^{'}(x_0)$ bo‘lgan tug‘ri chiziq tenglamasini quyidagi ko‘rinishda yozish mumkin

$$y = f^{'}(x_0)x + b \quad (1)$$

Bundan b ni hisoblash uchun urinmani biror $A(x_0, f(x_0))$ nuqtadan o‘tishidan foydalanamiz:

$$f(x_0) = f'(x_0)x_0 + b \quad (2)$$

$$b = f(x_0) - f'(x_0)x_0 \quad (3)$$

(3) tenglamaga ko‘ra (1) dan:

$$y = f'(x_0)x + f(x_0) - f'(x_0)x_0$$

$$y = f'(x_0)(x - x_0) + f(x_0) \quad (4)$$

Ushbu (4) tenglama $f(x)$ funksiya grafigiga $A(x_0, f(x_0))$ nuqtada o‘tkazilgan urinma tenglamasi deyiladi.

Endi (4) tenglama asosida aniq va eng sodda misolda algoritmini quyidagicha keltiramiz:

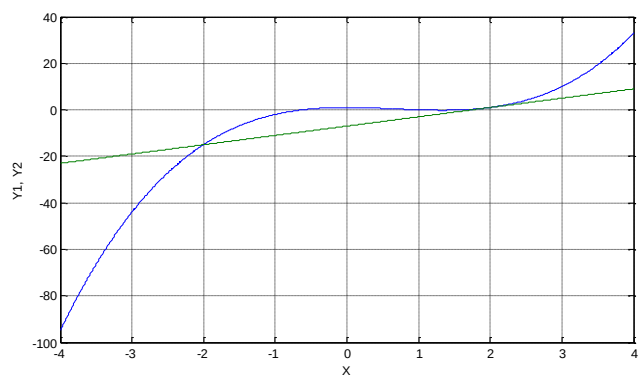
1-misol. $f(x) = x^3 - 2x^2 + 1$ funksiya grafigiga $x_0 = 2$ ga teng bo‘lgan no‘qtada o‘tkazilgan urinma tenglamasini yozing va grafigini chizing. (1-*a* va *b* rasmlar).

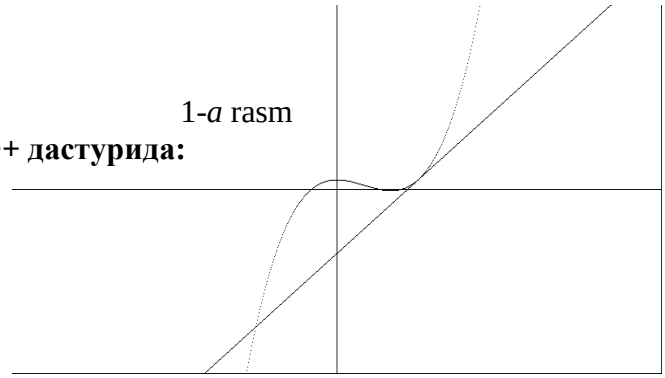
Ushbu misolda $x_0 = 2$ bo‘lib uning yechimini algoritmi quyidagicha bo‘ladi:

Misol yechimining ketma-ketligi	Ketma-ketlikning bajarilishi
(4) tenglamaga ko‘ra dastlab □ topiladi	$f(x_0) = f(2) = 2^3 - 2*2^2 + 1$
$f'(x)$ aniqlanadi	$f'(x) = \frac{df(x)}{dt} = (x^3 - 2x^2 + 1)' = 3x^2 - 4x$
$f'(x)$ dan foydalanib $f'(x_0)$ topiladi	$f'(x_0) = 3*2^2 - 4*2 = 4$
Nihoyat (4) tenglamadan foydalanib urinma tenglamasini yoziladi	$y = 1 + 4(x-2) = 4x - 7$ $y = 4x - 7$

MATLAB dasturiy tizimida:

```
f=sym('x^3-2*(x^2)+1')
f =x^3 - 2*x^2 + 1
f1=diff(f,'x')
f1 =3*x^2 - 4*x
f1=subs(f1,'2')
f1 =4
f2=subs(f,'2')
f2 =1
%y=f(x0)+f'(x0)(x-2),x0=2;
y=sym('1+4*(x-2)')
y =4*x - 7
x=-4:0.01:4;
y1=x.^3-2*x.^2+1;
y2=4*x-7;
plot(x,y1,x,y2)
```





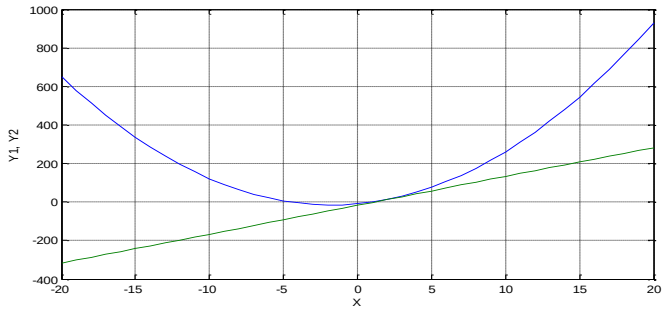
1-*a* rasm

Dev-C++ дастурида:

```
#include <conio.h>
#include <iostream>
#include <graphics.h>
#include <math.h>
```

```
using namespace std;
int main()
{
initwindow(800,400);
setbkcolor(WHITE);
clearviewport();
setcolor(BLACK);
line(0,200,getmaxx(),200);
line(400,0,400,getmaxy());
double x,y,t;
float k=0.02;
for(int t=-400;t<400;t=t+1)
{
x=400+t;
y=200-10*(k*t*k*t*k*t-2*k*t*k*t+1);
putpixel(x,y,BLACK);
y=200-10*(4*k*t-7);
putpixel(x,y,BLACK);
delay(10);
}
getch();
closegraph();
return 0;
}
```

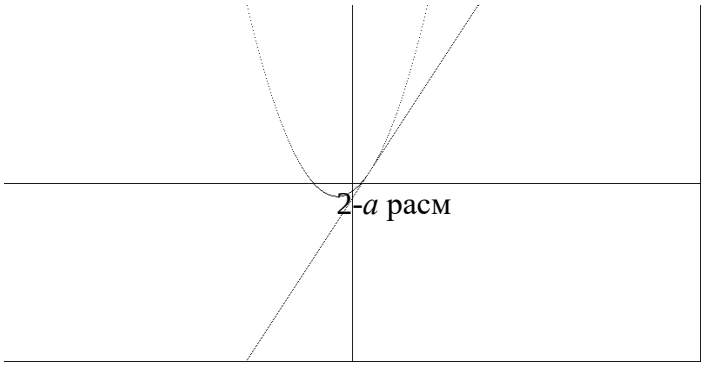
1-*b* rasm. Dev-C++ Console oynasida chizilgan grafik



Shunga o‘xshash boshqa misolda urinma tenglamasini yozish va grafigini chizishni kompyuter dasturlaridan foydalanib o‘rganamiz.

2-misol. $y = 2x^2 + 7x - 9$ ko‘rinishdagi kvadrat funksiya berilgan. Bu funksiyaga $x_0 = 2$ no‘qtada o‘tkazilgan urinma tenglamasini yozing va grafigini chizing.(2- *a* va *b* rasmlar).

```
y=sym('2*x^2+7*x-9');
dy=diff(y,'x')
dy =4*x + 7
subs(y,'2')
ans =13
subs(dy,'2')
ans =15
f=sym('13+15*(x-2)')
f =15*x - 17
x=-20:1:20;
y1=2*x.^2+7*x-9;
y2=15*x-17;
plot(x,y1,x,y2)
```



2-*a* расм

2-*b* rasm. Dev-C++ Console oynasida chizilgan grafik

Xulosa qilib aytadigan texnika oliy ta'lim yunalishlarida bo‘lsak, dasturchimuhandislarni tayyorlashda fizikaviy hodisa va jarayonlarni loyihalash va konstruksiyalash uchun fizika o‘quv kursining bilimlaridan foydalanish, ta'lim jarayonini tashkil etishda yuqorida ko‘rsatib o‘tilgan bosqichlardan foydalanib amalga oshirish muhim ahamiyatga ega.

ADABIYOTLAR:

1. Одилов Ё.Ж. //Чизиқли ва визуал дастурлаш асосида физика ўқитиш методикасини такомиллаштириш.// диссертация. Чирчиқ-2022
2. Одилов Ё.Ж. //Физика фанини ўқитишда замонавий педагогик технологиялардан фойдаланиш.// Наманган давлат университети илмий ахбороти. – Наманган, 2021. – № 11. – Б. 22-24 (13.00.02. № 30).
3. Одилов Ё.Ж. // Физика фанини ўқитиш асосида талабаларнинг лойиҳавий-конструкторлик фаолиятини ривожлантириш.// Муғаллим ҳәм үзликсиз билимлендириў. Илмий-методикалық журнал. – Нөкис, 2021. – № 2. – Б. 103-106 (13.00.00. № 20).
4. Одилов Ё.Ж. // Физикадан таълим бериш асосида талабаларни касбий фаолиятга тайёрлаш методикаси.// Таълим ва инновацион тадқиқотлар. – Тошкент, 2021. – № 5. ISSN 2181-1709. – Б. 238-244.
5. Тураев С.Ж., Одилов Ё.Ж. //Маълумотлар базасини шакллантириш орқали графиклар ҳосил қилишда Borland Delphi7 дастурлаш тилидан фойдаланиш. // “Олий таълим муассасаларида фанларни ўқитишда замонавий педагогик ва ахборот технологияларидан фойдаланишнинг долзарб муаммолари” Республика илмий-амалий анжумани. – ҚДУ: Қарши, 2017.Б 239-241.
6. Odilov Yo.J. //Informatsionno-kommunikatsionniye texnologii (ikt) v obrazovanii. Ikt kompetentnost v professionalnom razvitii kadrov.// Scienceweb academic papers collection, 2181-1784 b.
7. Odilov Yo.J. //Methods of preparing students for professional activity on the basis of teaching physics.// O‘zbekiston Milliy Universiteti Xabarlari 1 (11) . 2022
8. Одилов Ё.Ж. //Физика ўқитиш асосида талабаларни лойиҳавий-конструкторлик фаолиятига тайёрлаш.// Ўзбекистон миллий университети хабарлари 1 (11). 2022 й.

FIZIKA AMALIY MASHG‘ULOTLARIDA MATLAB DASTURIDAN FOYDALANISH.

Odilov Yorqin Jo‘rayevich
Qarshi davlat texnika universitet dotsenti

Annotatsiya: Ushbu maqolada fizika fanini o‘qitish jarayonida amaliy mashg‘ulotlarni tashkil etishda MATLAB dasturiy tizimidan foydalanishning metodik imkoniyatlari yoritilgan. MATLAB muhitida fizik jarayonlarni matematik modellashtirish, murakkab hisoblashlarni bajarish, tajriba natijalarini qayta ishlash, grafiklar qurish va fizik kattaliklar orasidagi bog‘lanishlarni vizual tasvirlash imkoniyatlari tahlil qilingan. Shuningdek, MATLAB dasturidan foydalanish orqali o‘quvchilarning amaliy, matematik, axborot-kommunikativ va tadqiqotchilik kompetensiyalarini rivojlantirish masalalari ko‘rib chiqilgan. Fizika amaliy mashg‘ulotlarida MATLABdan foydalanishning bosqichlari va ayrim amaliy misollar keltirilgan.

Kalit so‘zlar: fizika ta’limi, amaliy mashg‘ulot, MATLAB, matematik modellashtirish, kompyuter texnologiyalari, grafik, fizik jarayon, hisoblash, simulyatsiya, raqamli ta’lim.

Аннотация: В данной статье рассматриваются методические возможности использования программной системы MATLAB при организации практических занятий в процессе обучения физике. Анализируются возможности математического моделирования физических процессов, выполнения сложных вычислений, обработки экспериментальных результатов, построения

графиков и визуального отображения взаимосвязей между физическими величинами в среде MATLAB. Также рассматриваются вопросы развития практических, математических, информационно-коммуникативных и исследовательских компетенций студентов посредством использования программы MATLAB. Представлены этапы использования MATLAB в практических занятиях по физике и некоторые практические примеры.

Ключевые слова: физическое образование, практическое занятие, MATLAB, математическое моделирование, компьютерные технологии, графика, физический процесс, вычисления, моделирование, цифровое образование.

Abstract: This article examines the methodological potential of using the MATLAB software system in organizing practical sessions for physics instruction. It analyzes the capabilities of the MATLAB environment for the mathematical modeling of physical processes, performing complex calculations, processing experimental data, generating graphs, and visualizing relationships between physical quantities. The article also addresses the development of students' practical, mathematical, information-communication, and research competencies through the use of MATLAB. Stages of integrating MATLAB into physics practical sessions are outlined, and specific practical examples are presented.

Keywords: physics education, practical session, MATLAB, mathematical modeling, computer technologies, graphics, physical process, calculations, modeling, digital education.

Kirish. Zamonaviy ta’lim jarayonida raqamli texnologiyalardan foydalanish o‘quvchilarning bilim olish faoliyatini yangi bosqichga olib chiqmoqda. Ayniqsa, fizika fanini o‘qitishda kompyuter texnologiyalari yordamida fizik jarayonlarni modellashtirish, hisoblash va vizual namoyish etish o‘quvchilarning mavzuni chuqurroq o‘zlashtirishiga imkon beradi.

Fizika fanida ko‘plab masalalar matematik ifodalar, tenglamalar, grafiklar va sonli hisoblashlar bilan bog‘liq. An’anaviy usulda bunday hisoblashlarni bajarish ko‘p vaqt talab qilishi mumkin. MATLAB dasturiy tizimi esa matematik hisoblashlarni avtomatlashtirish, natijalarni grafik ko‘rinishda tasvirlash va turli fizik jarayonlarni modellashtirish imkonini beradi.

Shu jihatdan MATLABdan foydalanish fizika amaliy mashg‘ulotlarini nafaqat hisoblashga, balki o‘quvchilarning izlanish va tadqiqotchilik faoliyatiga yo‘naltirish imkonini beradi.

MATLAB dasturiy tizimining fizika ta’limidagi imkoniyatlari

MATLAB — matematik va texnik hisoblashlar, modellashtirish, ma’lumotlarni tahlil qilish va vizualizatsiya qilish uchun mo‘ljallangan dasturiy muhitdir.

Fizika ta’limida MATLABdan quyidagi yo‘nalishlarda foydalanish mumkin:

- fizik formulalar asosida hisoblashlarni bajarish;
- fizik jarayonlarni matematik modellashtirish;
- tajriba natijalarini qayta ishlash;
- grafik va diagrammalar qurish;
- funksiyalarni tahlil qilish;
- mexanik harakatlarni modellashtirish;
- elektr zanjirlarini hisoblash;
- tebranish va to‘lqin jarayonlarini o‘rganish;
- optik hodisalarni modellashtirish;
- statistik ma’lumotlarni qayta ishlash;
- differensial tenglamalarni sonli usulda yechish.

Shuningdek, MATLABning Simulink muhiti yordamida murakkab dinamik tizimlar va fizik jarayonlarni blokli modellashtirish mumkin.

Fizikadan amaliy mashg‘ulotlar jarayonida noan’anaviy usullar sifatida kompyuter va axborot-kommunikatsiya texnologiyalaridan foydalanish ekologik mazmun kasb etish bilan bir qatorda ham o‘qituvchiga, ham o‘rganuvchi-talabaga bir qator afzalliklarini yaratadi.

O‘qituvchiga:

- amaliy mashg‘ulot uchun tanlangan mavzuni to‘laqonli qamrab olish uchun yetarlicha imkoniyat yaratadi, ya’ni yechimi topilgan masalalar sifati, soni va xilma-xilligi an’anaviy uslubda o‘tilgan mashg‘ulotdagiga qaraganda bir necha bor ortadi;
- mashg‘ulot davomida mumkin qadar ko‘proq talaba bilan yakka tartibda(individual) shug‘ullanish imkonini beradi;
- mashg‘ulot davomida bilim berish bilan bir qatorda talabalarning mavzuni o‘zlashtirishlarini nazorat qilib borish imkoniyatini yaratadi;

Talabaga:

- fizikadan masalalar yechishga bo‘lgan qiziqishini oshiradi;
- turli dasturiy tizimlar bilan tanishish va ularni o‘rganishni, fizikadan masalalar yechishni o‘rganish bilan birgalikda amalga oshirish imkoniyatini yaratadi;
- talabaning mavzuni o‘zlashtirish sifat ko‘rsatkichlarini oshiradi;
- o‘zining nazariy bilim, amaliy ko‘nikma va malakalarini sinash imkoniyatini beradi;

Ushbu afzalliklaridan foydalanish uchun:

- talabaning mavzuga oid nazariy bilim va ko‘nikmalarining yetarlicha bo‘lishi;
- kompyuter va axborot-kommunikatsiya texnologiyalaridan foydalanish madaniyatining yetarlicha shakllangan bo‘lishi, va albatta, lokal tarmoqli, yetarlicha jihozlangan kompyuter xonasi bo‘lishi zarur;

Shularni hisobga olgan holda quyida Bio-Savar-Laplas qonunini turli shakllardagi tokli konturlarga qo‘llanilishiga oid masalalarni yechishda dasturiy tizimdan masala shartiga mos yondashgan holda foydalanish usullari keltiriladi.

Ma’lumki, Bio-Savar-Laplas qonuniniga ko‘ra tokli kontur dl elementining fazoni undan biror $\vec{r}$ masofadagi A nuqtasida hosil qilgan magnit maydon kuchlanganligi umumiy holda quyidagi tenglama orqali ifodalanadi: $dH = \frac{I\sin\alpha}{4\pi r^2}dl$, bunda $\alpha -$kontur elementi dl bilan radius vektor $\vec{r}$ orasidagi burchak.

Ushbu tenglamani aylana shakldagi tokli kontur uchun qo‘llaymiz.

Aylana shakldagi tokli konturning aylana markazida hosil qilgan magnit maydon kuchlanganligini hisoblash talab qilingan bo‘lsin. Kontur elementi dl bilan $\vec{r}$ radius vektor orasidagi burchak 90^0 bo‘lganligi uchun $\sin\alpha = 1$ bo‘ladi va Bio-Savar-Laplas qonuninidan $dH = \frac{I}{4\pi r^2}dl$ kelib chiqadi. Butun kontur bo‘ylab integrallaymiz:

$H = \int_0^l dH = \frac{I}{2\pi r^2}\int_0^l dl = \frac{Il}{4\pi r^2} = \frac{2\pi RI}{4\pi r^2} = \frac{I}{2r}$, $r = R$ bo‘lgani uchun $H = \frac{I}{2R}$, bu yerda $R -$aylana radiusi.

Quyida Bio-Savar-Laplas qonunidan foydalanib masalalarni MATLAB dasturiy tizimi orqali yechimini topish va magnit maydon kuchlanganligining masofaga bog‘lanish grafigini chizish ko‘rsatib o‘tilgan.

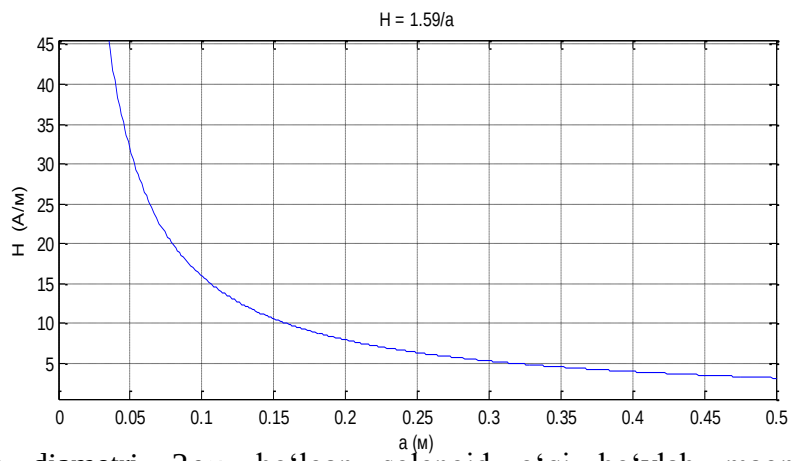
Masalaning qo‘yilishi:

1. Tokli to‘g‘ri o‘tkazgichning AB kesmasi o‘rtasida unga o‘tkazilgan perpendikulyarda AB kesmadan $5см$ uzoqlikda turgan C nuqtada tokli o‘tkazgich hosil qilgan magnit maydon kuchlanganligini toping. AB kesma C nuqtadan 60^0 burchak ostida ko‘rinadi.

Yechilishi: Bio-Savar-Laplas qonuniga ko‘ra $I-$tok o‘tayotgan to‘g‘ri o‘tkazgich $dl-$uzunlik elementining undan r masofadagi A nuqtada hosil qilgan magnit maydon kuchlanganligi $dH=\frac{I\sin\alpha}{4\pi r^2}dl$ formulaga muvofiq aniqlanadi. $l=actg\alpha$, $dl=-\frac{ad\alpha}{\sin^2\alpha}$ ва $r=\frac{a}{\sin\alpha}$ dan $dH=\frac{1}{4\pi a}\sin\alpha d\alpha$ kelib chiqadi.

MATLAB dasturiy tizimi yordamida $dH=\frac{1}{4\pi a}\sin\alpha d\alpha$ tenglikni hisoblaymiz va magnit maydon kuchlanganligi (H) ning masofa (a) ga bog‘lanish ($H=\frac{1.59}{a}$) grafigini chiziladi.

```
syms H pi I a f dH f1 f2
dH=sym('(-I)/(4*pi*a)*sin(f)')
H = int(dH,f)
H =(cos(f)*i)/(4*pi*a)
H=subs(H,pi/3)-subs(H,2*pi/3)
H =i/(4*pi*a)
i=20;a=0.05;pi=3.14;
H =i/(4*pi*a)= 31.8471
H=sym('1.59/a')
ezplot(H,[0, 0.5])
```



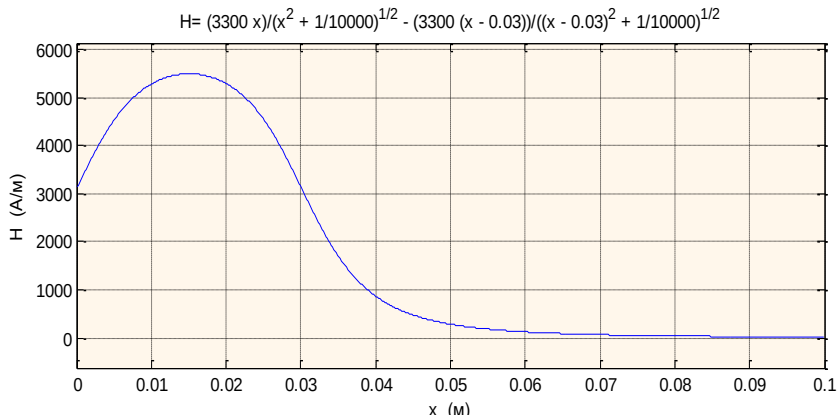
2. Uzunligi $3см$ va diametri $2см$ bo‘lgan solenoid o‘qi bo‘ylab magnit maydon kuchlanganligini taqsimlang. Solenoiddan o‘tayotgan tok kuchi $2A$, g‘altak 1000 o‘ramga ega. Masofaning magnit maydon kuchlanganligiga bog‘lanish grafigini chizing.

Yechilishi: Solenoidning o‘qidagi magnit maydon kuchlanganligi $H=\frac{In}{2}(\cos\beta-\cos\alpha)$ formula yordamida aniqlanadi. $\cos\alpha=-\frac{x}{\sqrt{D/2+x^2}}$, $\cos\beta=\frac{l-x}{\sqrt{D/2+(l-x)^2}}$ ва $n=\frac{N}{l}$ dan $H=\frac{IN}{2l}\left(\frac{l-x}{\sqrt{(D/2)^2+(l-x)^2}}+\frac{x}{\sqrt{(D/2)^2+x^2}}\right)$ tenglama kelib chiqadi. Bu yerda $I=2A-$tok kuchi, $N=1000-$solenoid o‘ramlari soni, $l=3см-$solenoid uzunligi, $D=2см-$diametri.

MATLAB dasturiy tizimi yordamida $0\le x\le 0.1$ oraliqda x ga qiymatlar beramiz va magnit maydon kuchlanganligi (H) ning masofa (x) ga bog‘lanish grafigi 0.0001 aniqlik bilan chiziladi.

```
H=sym('3300*((0.03-x)/(sqrt(1/10000+(0.03-x)^2)))+3300*(x/(sqrt(1/10000+x^2)))')
H =(3300*x)/(x^2 + 1/10000)^(1/2) - (3300*(x - 0.03))/((x - 0.03)^2 + 1/10000)^(1/2)
ezplot(H,[0,0.1])
x=0;      H = 3.1307e+003
x=0.005; H = 4.5398e+003
x=0.01;   H = 5.2851e+003
x=0.015; H = 5.4915e+003
```

x=0.02; H = 5.2851e+003
x=0.03; H = 3.1307e+003
x=0.04; H = 868.0179
x=0.05; H = 284.3065
x=0.06; H = 124.4451
x=0.07; H = 65.3631
x=0.08; H = 38.6008
x=0.09; H = 24.7164
x=0.1; H = 16.7894

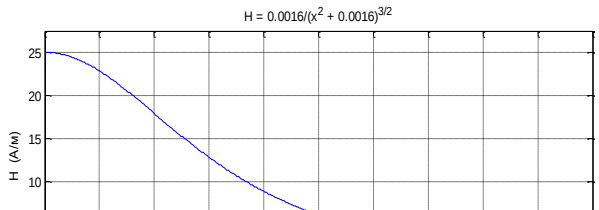


3. Aylana shakldagi kontur o‘qida kontur tekisligidan $3см$ naridagi magnit maydon kuchlanganligini toping. Kontur radiusi $4см$ va konturdagi tok $2A$.

Yechilishi: Doiraviy kontur elementining kontur o‘qidagi magnit maydon kuchlanganligi $dH_x = dH\cos\varphi$. Bio-Savar-Laplas qonuniga ko‘ra $dH = \frac{I\sin\alpha}{4\pi r^2}dl$. $dH_x = \frac{I\sin\alpha}{4\pi r^2}\cos\varphi dl$, $\sin\alpha = 1$, $\cos\varphi = \frac{R}{r}$, $r = \sqrt{x^2 + R^2}$ ekanligidan $H = \int_0^l \frac{IR}{4\pi r^3}dl$ kelib chiqadi.

MATLAB dasturiy tizimidan foydalanib magnit maydon kuchlanganligini hisoblab magnit maydon kuchlanganligi (H) ning masofa (x) ga bog‘lanish grafigini $0 \le x \le 0.1$ oraliqda chizamiz.

```
syms H pi I x l r l1 l2
dH=sym('(I*R)/(4*pi*(r^3))')
dH =(R*i)/(4*pi*r^3)
i=2;x=0.03;pi=3.14;r=0.05;R=0.04;
H = int(dH,l)
H =(R*l*i)/(4*pi*r^3)
H =(R*l*i)/(4*pi*r^3);
H=subs(H,0.08*pi)-subs(H,0)
H =12.8000
H =sym('0.0016/(sqrt(0.0016+x^2)^3)')
H =0.0016/(x^2 + 0.0016)^(3/2)
ezplot(H,  [0,0.1])
```



Xulosa qilib takidlasak fizikadan amaliy mashg‘ulot jarayonida zamonaviy axborot texnologiyalaridan foydalanish, xususan MATLAB, MAPLE, MathCAD dasturiy tizimlari hamda C++, Java(SE-8)-eclipse kompyuter dasturlaridan samarali grafik rejimida qo‘llash o‘quvchi amaliy faoliyatini faollashtirish bilan bir qatorda fanlararo uzviylikni ta’minlaydi. Fizika amaliy mashg‘ulotlarida MATLAB dasturidan foydalanish ta’lim jarayonining samaradorligini oshirish, fizik jarayonlarni matematik modellashtirish, hisoblash va grafik tasvirlash imkoniyatlarini kengaytiradi. MATLAB yordamida o‘quvchilar fizik qonunlarni nafaqat nazariy jihatdan o‘rganadilar, balki ularning matematik modelini tuzish, hisoblash, grafik orqali ifodalash va natijalarni tahlil qilish imkoniyatiga ega bo‘ladilar.

Ayniqsa, mexanika, elektr va magnetizm, tebranishlar va to‘lqinlar, optika, termodinamika kabi bo‘limlarda MATLABdan foydalanish fizik jarayonlarning dinamikasini vizual va matematik jihatdan tadqiq qilish uchun qulay sharoit yaratadi.

MATLAB asosidagi amaliy mashg‘ulotlar o‘quvchilarda **fizik, matematik, axborot-kommunikativ, amaliy va tadqiqotchilik kompetensiyalarini** kompleks rivojlantirishga xizmat qiladi. Shu sababli MATLABni fizika ta’limiga integratsiya qilish raqamli ta’lim muhitida amaliy mashg‘ulotlarni takomillashtirishning istiqbolli yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi.

ADABIYOTLAR:

1. Одилов Ё.Ж. //Чизиқли ва визуал дастурлаш асосида физика ўқитиш методикасини такомиллаштириш.// диссертация. Чирчиқ-2022
2. Одилов Ё.Ж. //Физика фанини ўқитишда замонавий педагогик технологиялардан фойдаланиш.// Наманган давлат университети илмий ахбороти. – Наманган, 2021. – № 11. – Б. 22-24 (13.00.02. № 30).
3. Одилов Ё.Ж. // Физика фанини ўқитиш асосида талабаларнинг лойиҳавий-конструкторлик фаолиятини ривожлантириш.// Муғаллим ҳәм үзликсиз билимлендириў. Илмий-методикалық журнал. – Нөкис, 2021. – № 2. – Б. 103-106 (13.00.00. № 20).
4. Одилов Ё.Ж. // Физикадан таълим бериш асосида талабаларни касбий фаолиятга тайёрлаш методикаси.// Таълим ва инновацион тадқиқотлар. – Тошкент, 2021. – № 5. ISSN 2181-1709. – Б. 238-244.
5. Тураев С.Ж., Одилов Ё.Ж. //Маълумотлар базасини шакллантириш орқали графиклар ҳосил қилишда Borland Delphi7 дастурлаш тилидан фойдаланиш. // “Олий таълим муассасаларида фанларни ўқитишда замонавий педагогик ва ахборот технологияларидан фойдаланишнинг долзарб муаммолари” Республика илмий-амалий анжумани. – ҚДУ: Қарши, 2017.Б 239-241.
6. Odilov Yo.J. //Informatsionno-kommunikatsionniye texnologii (ikt) v obrazovanii. Ikt kompetentnost v professionalnom razvitii kadrov.// Scienceweb academic papers collection, 2181-1784 b.
7. Odilov Yo.J. //Methods of preparing students for professional activity on the basis of teaching physics.// O‘zbekiston Milliy Universiteti Xabarlari 1 (11) . 2022

MUNDARIJA

I SHO‘BA. MIKRO VA NANOELEKTRONIKADA YANGI TEXNOLOGIYALAR VA MATERIALLAR

Mamishova R.M., Ramazanov S. REVIEW OF SEMICONDUCTOR-BASED IONIZING RADIATION SENSORS IN HARSH ENVIRONMENTS AND THEIR APPLICATIONS **10**

Igor Konovalov TEMPERATURE OF ELECTRON GAS IN SOLIDS AND HOT CARRIER SOLAR CELLS **11**

Mamatkarimov O.O., Abdulxayev., A.A., Nosirdinov I.Q. HF KIMYOVIY ISHLOVINING N^+-SI:SB(100) SIRTIDAGI VOLT-AMPER XARAKTERISTIKALAR VA QUTBIY O‘TKAZUVCHANLIK ASIMMETRIYASIGA TA’SIRI **12**

Saidov A.S., Usmonov Sh.N., Saparov D.V., Abdullayev H.Sh. GaP TAGLIKLARIDA SiGaPZnSeZnTe TARKIBLI QATLAMLARINING SUYUQ FAZALI EPITAKSIYASI **14**

Qurbanova U.X., Isakov B.O., Xusanboyeva F.R. YEVROPIY KIRISHMA ATOMLARI NANOKLASTERLARINING KREMNIY KRISTALL PANJARASIDA ELEKTROFIZIK PARAMETRLARGA TA'SIRI **17**

Karimov I.N., Xakimov A., Foziljonov M.B. NANOO‘LCHAMLI SOI FinFET TRANZISTORLARINING ELEKTRO FIZIK PARAMETRLARIGA OKSID–YARIMO‘TKAZGICH CHEGARASIDAGI TUZOQ HOLATLARI SIG‘IMINING TA’SIRI **20**

Axmadjonov M.F. GRAFEN ASOSIDAGI POLIMER NANOKOMPOZITLARDA ELEKTR O‘TKAZUVCHANLIKNING PERKOLYATSION MEXANIZMI VA MIKRO-NANOELEKTRONIKADAGI ISTIQBOLLARI **24**

Умирзаков Б.Е., Турапов И.Х., Жумаев Ж.М. ПОЛУЧЕНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ СИЛИЦИДНЫХ ПЛЕНОК $MeSi_2$ ДЛЯ КОНТАКТНОЙ СИСТЕМЫ **27**

Hasanov A., Abdullayeva B., Ismoilov D., Aminbayev J., Atamuratov A. Al_2O_3 ASOSIDAGI MEMRISTORNING YUQORI VA PAST QARSHILIKLI HOLATLARINI O‘RGANISH **30**

Бекпулатов И.Р., Турапов И.Х., Рузиева З.А. ФОРМИРОВАНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК $CrSi_2$ ТВЕРДОФАЗНЫМ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ И ИХ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА **32**

Ishmurodov E.A, Temirov F.I., Rajabov S.N., Normurodov D.A EPOS-PVD-DESK-PRO MAGNETRON QURILMASIDA DC VA RF REJIMLARIDA OLINGAN Pb YUPQA PLYONKALARINING ELEKTROFIZIK XUSUSIYATLARI **33**

Babayeva F.Sh., Jafarov Y.D., Imanova G.T. CALCULATION OF THE INELASTIC MEAN FREE PATH OF ELECTRONS WITH ENERGIES OF T = 0.05-10 keV İN SiO_2 **36**

Imanova G., Bekpulatov I., Aliyev A. CRYSTAL STRUCTURE AND PHASE-DEPENDENT PROPERTIES OF TiO_2 NANOPARTICLES **37**

Абдурахмонов А.А., Мадаминов Х.М., Абдулхамидов А.Д. ВЛИЯНИЯ ВАРИЗОННОСТИ НА НАНОРАЗМЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ В ТВЕРДЫХ РАСТВОРАХ $Si_{1-x}Ge_x$ $(0 \le x \le 1.00)$ **39**

Abduraxmonov A.A., Abdulhamidov A.D., Madaminov X.M. KREMNIY-QALAY QATTIQ QORISHMALARI - TERMOELEKTRIK MATERIAL **43**

Abduraximov J.T., Bekpulatov I.R. ZrO_2/Si(111) YUPQA PLYONKALARINING STRUKTURAVIY, FAZAVIY VA ELEKTRON XOSSALARINING TERMIK ISHLOV BERISHGA BOG‘LIQLIGI **46**

Исаев М.Ш., Музафарова С.А., Исмаилов Ш.А., Ахмедова Н.А. ПОЛУЧЕНИЕ И ФАЗОВАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ПЛЕНОК СИЛИЦИДОВ МАРГАНЦА НА **48**

МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ КРЕМНИИ
Normuradov M., Dovranov Q., Parmonov J., Ibrohimova S., Haqberdiyev E., Jurayeva Sh. $CoSi_2$ YUPQA PLYONKALARINING OPTIK XUSUSIYATLARI VA RAMAN SPEKTROSKOPIYASINI O‘RGANISH **51**
Kuryozov F.O., Sharopov U.B. THICKNESS-DEPENDENT STRUCTURAL, SURFACE, AND ELECTRONIC PROPERTIES OF MoO_3 THIN FILMS FABRICATED BY MAGNETRON SPUTTERING **53**
Shirinov G.M., Donayev B., Mirzayeva R.S. CoSi2/Si(111) YUPQA PLYONKALARINI Ar+ IONLARI BILAN BOMBARDIMON QILISHDA NANOO‘LCHAMLI TUZILMALARNING SHAKLLANISH JARAYONLARINI O‘RGANISH **55**
Ядгаров И.Дж., Кутлиев У.О., Отабаев М.У. МАЛОУГЛОВОЕ РАССЕЯНИЯ ИОНОВ С ДЕФЕКТНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ InGaP(001) **57**
Ядгаров И.Дж., Кутлиев У.О., Отабаев М.У. РАССЕЯНИЯ ИОНОВ С ДЕФЕКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ InP(001) **60**
Gulyamov G., Majidova G.N., Madumarova S.Q. YORUG‘LIK VA MAGNIT MAYDON TA’SIRIDA P-$AL_{0.3}GA_{0.7}$AS/P-GAAS/N-GAAS GETEROSTRUKTURALI DIODNING VOLT-AMPER XARAKTERISTIKASINI NAZARIY TADQIQ ETISH. **64**
Majidova G.N., Davlataliyeva N. M. MIKROTO’LQIN TA’SIRIDA BIPOLYAR TRANZISTORDA ZARYAD TASHUVCHILAR O’TKAZUVCHANLIGI VA EMITTER TOKINING O’ZGARISHI. **66**
Burxonov R.R. KREMNIYDA KISLOROD CHO‘KMALARINING ELEKTR XUSUSIYATLARIGA TA’SIRI **68**
Muxamedov A.A., Isayev F.F., Ernazarov Sh.N., Askarov M.A. MIKRO VA NANOTEXNOLOGIYALAR ASOSIDAGI DATCHIKLARNI O‘RGANISH **71**
Muxamedov A.A., Isayev F.F., Ernazarov Sh.N., Askarov M.A., Qurbonova O‘.H. INTEGRAL RAQAMLI DS18B20 DATCHIKNI NANOTEXNOLOGIYADA QO‘LLASHNING XUSUSIYATLARI **74**
Alovaddinov D.I. Abdullayev L.A. GRAFENNING TERMIK BARQARORLIGI: SEKIN QIZDIRISHNING AIREBO MOLEKULYAR-DINAMIK TAHLILI **77**
Dadamirzayev M.G., Kosimova M.O., Ganiyeva A.K. VERTIKAL MoS_2/WSe_2 VAN DER VAALS GETEROSTRUKTURASIDA REZONANS TUNNELLANISH VA MANFIY DIFFERENSIAL QARSHILIKNING ANALITIK MODELI **79**
Sattarova O.A., Kutliyev U.O. QORA FOSFORIN SIRTIDA Ar^+ IONLARINING KICHIK BURCHAKLI SOCHILISHI: MIKRO VA NANOELEKTRONIKA UCHUN SIRTNI BOSHQARISH IMKONIYATLARI **82**
Odilov U.A. MAHALLIY GOMOPOLIPROPILEN ASOSIDA NANOMODIFIKATSIYALANGAN ISSIQLIKBARDOSH POLIMER KOMPOZIT MATERIALLAR YARATISH **85**
Payzillayev A., Allayev B., Mirzayev S. KREMNIY DIOKSIDI NANOZARRALARI ASOSIDAGI NANOSUYUQLIKLARNING SEDIMENTATSIYASI **88**
Dovranov K.T., Konovalov I. COOLING KINETICS OF HOT CARRIERS IN TRANSITION METAL SILICIDE THIN FILMS: A RESEARCH DIRECTION BASED ON JOHNSON NOISE THERMOMETRY **90**
Sultanov A.M., Bozorov Kh.N., Abdullayeva G.U., Turayeva M.O. SUBNANO-SECOND OPTOELECTRONICS BASED ON THYRISTOR FORMERS OF POWERFUL PULSES **91**
Bekpulatov I.R., Normamatov A.M., Riminucci A., Normamatov A.M. $TiSi_2$ BIRIKMASINING FAZAVIY TARKIBI, KRISTALL TUZILISHI VA TEBRANISH **92**

XUSUSIYATLARINI TADQIQ ETISH
Dadamirzaev M., Qosimova M., Xojiakbarova N. 2D GETEROSTRUKTURALARDA O'TA TEZKOR JARAYONLARNING KINETIK TENGLAMALARI VA GRAFIK YECHIMLARI IFODASI **95**
Muzafarova S.A., Axmedova N.A. GAZ TASHISH USULI BILAN O'STIRILGAN $Zn_xCd_{1-x}S$ YUPQA QATLAMINING EDX TAHLILI **98**
Tashatov A.K., Shohimardonov J.M., Pardayeva E.Sh. Normurodov D.A. Mg/Si YUPQA PLYONKASIGA LAZER NURINING TA'SIRI **99**
Шохимардонов Ж.М., Ташатов А.К.., Normurodov D.A. АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОНКИХ ПЛЁНОК Mg/Si **101**
Kucharov S., Tashatov A.Q., Normurodov D.A., Rajabov S.N. MAGNETRON CHANGLATISH USULIDA SHISHA TAGLIKDA HOSIL QILINGAN NI–V YUPQA PLYONKASINING SIRT TOPOGRAFIYASI VA MORFOLOGIK XUSUSIYATLARINI ATOM-KUCH MIKROSKOPIYASI YORDAMIDA O'RGANISH **104**
Ko'charov S.Sh., Tashatov A.Q. MAGNITRON CHANGLATISH USULIDA SHISHA TAGLIKDA SHAKLLANTIRILGAN NI–V YUPQA PLYONKALARINING SIRT MORFOLOGIYASI VA ELEMENT TARKIBINI KOMPLEKS SEM–EDS TADQIQOTI **107**
Saitnazarov B.J. NANOELEKTRONIKA MATERIAL TARKIBINI TAHLIL QILISHDA YADRO-FIZIKAVIY USULLARDAN FOYDALANISH **109**
Sayitqulova Sh.X., Abdulxafizova N.O. , Ochilov O.O. YIG MAGNIT NANOPLYONKALARINI FIZIK VA KIMYOVIY OLISH USULLARI **112**
Ergashev B.A., Yuldoshev R., Isaqov D., Xurramov R., Bobomuradov S.M., Eshqorayev A.I. Sb_2Se_3 YUPQA QATLAMLARINING STRUKTURAVIY XOSSALARIGA QIZDIRISHNING TA'SIRI **115**
Ergashev B.A., Isakov D.Z., Yuldoshev R., Khurramov R., Bobomuradov S.M., Gulumbaev B.A., Eshkoraev A.I. THE EFFECT OF ANNEALING ON THE MORPHOLOGICAL PROPERTIES OF Sb_2Se_3 THIN FILMS **119**
Yuldashev A.A., Islomova Sh.A. MATHEMATICAL MODELING OF THE HYDROGEN ATOM USING THE SCHRÖDINGER EQUATION AND BOUNDARY CONDITIONS **121**
Yuldashev Sh.A., Islomova Sh.A. PROBABILITY DENSITY AND THREE-DIMENSIONAL ELECTRON-CLOUD MODELING IN THE HYDROGEN ATOM **123**
Onarqulov K.E., Yuldashev A.A., Yuldashev Sh.A., Islomova Sh.A. STATIONARY SCHRÖDINGER SOLUTIONS: EIGENVALUES, SPHERICAL COORDINATES AND EXTENSIONS TO ADVANCED ATOMIC MODELS **125**
Ergashev B.A., Isaqov D.Z., Yuldoshev R., Xurramov R., Bobomuradov S.M., Gulumbayev B.A., Eshqorayev A.I. SPIN-COATING USULIDA OLINGAN $Cu_2ZnSn(S,Se)_4$ YUPQA QATLAMLARINING SELENIZATSIYA HARORATIGA BOG'LIQ INFRAQIZIL OPTIK XOSSALARI **127**
Onorkulov K., Zokirov A. CdSe KUKUNINING VAKUUMDA BUG'LATISH USULI BILAN ANOMAL FOTO KUCHLANISHLI YUPQA PARDALARINI OLISH **130**
Qodirov A.R., Davlatov M.A., Xoliqulov D.Q., Sobirov H.S. KREMNIY SIRTIDA YUPQA NANOSTRUKTURALAR HOSIL QILISH VA ULARNING ELEKTROFIZIK XOSSALARI **133**
Bekmurodov Z., Sidigaliyev D.T., Yoqubjonov J., Maxmanov U.K., Chuliev T. EVALUATION OF THE REFRACTIVE INDICES OF SOLUTIONS IN THE C_{70}/DMF SYSTEM. **136**
Umirzakov B.E., Isaxanov Z.A., Xalmatov A.S., Maxmudov M.M. TiO_2/Si(111) YUPQA **138**

QATLAMLARIDA INTERPLANAR MASOFA d_{hkl} NING STRUKTURAVIY O'ZGARISHLARINI XRD USULIDA TADQIQ QILISH
Xurramov A.I. Bekchanova M.R. YANGI TEXNOLOGIYALAR ASOSIDA ISHLAB CHIQILGAN XALKOGENIDLI SHISHASIMON PLYONKALI MATERIALLARNING HARBIY TEXNIKALARDAGI AHAMIYATI. **141**
Гиясова Ф.А., Abduvaxobov A.A., Йулдошев М.А., Гиясов Ф.А., Matveyenko A.D. МНОГОБАРЬЕРНАЯ ФОТОДИОДНАЯ СТРУКТУРА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ СЛАБЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ **143**
Bekpulatov I.R., Normamatov A.M., Igamov B.D., Normamatov A.M. SPARK PLASMA SINTERING USULIDA OLINGAN $TISI_2$ QOTISHMASINING MIKROSTRUKTURAVIY XUSUSIYATLARINI SEM VA EDS USULLARI YORDAMIDA TADQIQ ETISH **146**
Raximov O. Toshtemirova G. KREMNIY SIRTINING MORFOLOGIK TUZILISHI BILAN ELEKTR XOSSALARINING O'ZARO BOG'LIQLIGI **149**
Tuychiyev N.B. ZnTe NANO-YUPQA PLYONKALARINI OLISH VA ULARNING FIZIK XOSSALARINI TADQIQ QILISH **152**
Хужаниёзов Ж.Б., Бекпулатов И.Р., Ташатов А.К., Нормуродов Д.А., Турсунметова З.А. ВЛИЯНИЕ УГЛА ПАДЕНИЯ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИОНОВ Ar^+ НА СОСТАВ, СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ И ШИРИНУ ЗАПРЕЩЁННОЙ ЗОНЫ ПОВЕРХНОСТИ GaAs **154**
Исмайлов К.А., Исмаилов Т. Б., Эшимова У.А. МАГНИТНЫЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРЕМНИЯ С ПРИМЕСЯМИ МАРГАНЦА **158**
Умирзаков Б.Е., Ташмухамедова Д.А., Лобода В.В., Абдувайитов А.А., Хужаниёзов Ж.Б., Темиров Ф.И. ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА И ЭЛЕКТРОННЫХ СВОЙСТВ ZnTe ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ Ar^+ И Cd^+ **161**
Умирзаков Б.Е., Эгамбердиев К.Б., Абдувайитов А.А., Болтаев Х.Х., Хужаниёзов Ж.Б., Ширинов Г.М. СОСТАВ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОРОШКОВ WO_3 **165**
Qodirov A.R., Davlatov M.A., Xoliqulov D.Q., Sobirov H.S. MAGNETRON QURILMASI YORDAMIDA NANOPLYONKALAR OLISH TEXNOLOGIYASI VA ULARNING ELEKTRONIKA SOHASIDA QO'LLANILISHI **168**
Зикриллаев Н.Ф., Исмайлов Б.К., Абдреймова Г.Р., Уракова Ф.Э. ЗАРЯДОВЫЕ И СПИНОВЫЕ СОСТОЯНИЯ АТОМОВ МАРГАНЦА И ХРОМА В КРЕМНИИ **170**
Анисович А.Г., Маркевич М.И., Журавлева В.И., Умирзаков Б.Е., Абдувайитов А.А., Эгамбердиев К.Б., Болтаев Х.Х. ОБРАЗОВАНИЕ НАНОЧАСТИЦ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ МЕДНОЙ МИШЕНИ В ВОДЕ **173**
Madaminov X.M., Omonboyev F.L., Abdulhamidov A.D. TERMOELEKTRIK MATERIALLARDA QUVVAT OMILINI KUCHAYTIRISHNING ELEKTRON-STRUKTURAVIY MEXANIZMLARI **176**
Парчинский П.Б. Насиров А.А. Уралова Н. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПАССИВИРУЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НАОСНОВЕ СВИНЦОВО-БОРОСИЛИКАТНЫХ СТЁКОЛ НА ВЕЛИЧИНУ ЭФФЕКТИВНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО ЗАРЯДА ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА КРЕМНИЙ – СТЕКЛО **180**
Мустафакулов А.А., Раббимов Э.А., Мамажанова М.Н. СВОЙСТВА СИНТЕТИЧЕСКИХ ПЪЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ **182**
Umirzakov B.E., Donayev S.B., Shirinov G.M., Mirzayeva R.S. CdSe YUPQA PLYONKALARINING TARKIBI VA SIRT XOSSALARINI TERMIK HAMDA IONLI ISHLOV BERISH ORQALI MODIFIKATSIYALASH **185**

Umirzakov B.E., Donayev S.B., Shirinov G.M., Mirzayeva R.S. ELEKTRON BOMBARDIMONI TA’SIRIDA GaP(111) SIRT XOSSALARINI MODIFIKATSIYALASH **187**
Исмайлов Б.К., Кенжаев З.Т., Сапаров А.К., Абдреймова Г.А., Нурниязов П.К., Дилимбетов П.К., Ембергенов Д.Е. ФОРМИРОВАНИЕ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ФАЗ NiSi И NiS В КРЕМНИЕВОЙ МАТРИЦЕ **189**
Шохимардонов Ж.М., Алланазарова С.Ш., Бердиева С.А., Саидов С.А., Жуманов Ш.Э. ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОПЛЁНОК **192**
Утениязов А.К., Есенбаева Э.С. ВОЛЬТ-АМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОП СТРУКТУРЫ Al-Al_2O_3-*p*-CdTe-Mo –В ПРЯМОМ НАПРАВЛЕНИИ ТОКА **194**
Утамурадова Ш.Б., Файзуллаев К.М., Станчик А.В. ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ РЕКУРСОРОВ Cu/Sn/Ni НА ГИБКОЙ ТИТАНОВОЙ ОСНОВЕ **197**
Олимов К., Абдисалимов Б. ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ НЕСТАБИЛЬНЫХ ЯДЕР ^{8}Be И ^{9}B В ^{16}O–p-СОУДАРЕНИЯХ ПРИ ИМПУЛЬСЕ 3.25 А ГэВ/с **198**
Бекпулатов И.Р., Игамов Б.Д., Нормаматов А.М., Камардин А.И., Нормаматов А.М. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ n-ТИПА В ТОНКИХ ПЛЁНКАХ $TiSi_2$ МЕТОДОМ ЭФФЕКТА ХОЛЛА **200**
Karabayeva M., Komilov Sh., Abdurahmanov U. TEXNIK UGLEROD TO‘LDIRUVCHILI SHLAK-ISHQORIY KOMPOZITLARNING ELEKTR XUSUSIYATLARI **203**
Далиев Х.С., Хамиджонов И.Х., Каримбаев Е.А. НЕОДИМ БИЛАН ЛЕГИРЛАНГАН КРЕМНИЙНИНГ ХУСУСИЯТЛАРИНИ ЎРГАНИШ **205**
Саттаров О. Э., Тошев А.Р., Хайтбаев Ш., Носиров Б.Б. ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АТОМОВ Mn В КРЕМНИИ МЕТОДОМ ТЕОРИИ ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ **207**
Soatov A.K. ULTRASONIC SPRAY PYROLYSIS GROWTH AND X-RAY DIFFRACTION ANALYSIS OF C-AXIS TEXTURED ZnO FILMS ON p-Si **210**
Zaynabidinov S.Z., Qo‘chkarova M.O., Rasulova M.B. RUX OKSIDI PLYONKALARINING TUZILMAVIY XUSUSIYATLARIGA MAGNIY KIRISHMA ATOMLARINING TA’SIRI **212**
Abdisaidov I.J., Adilov M.M. Si/C NANOKOMPOZIT MATERIALLARINI OLISHDA Si NANOZARRACHALARINING STRUKTURAVIY VA MORFOLOGIK XUSUSIYATLARI **214**
Kuchkarov K.M., Ergashev B.A., Pirimmatov M.P., Matmurodov A.S., To’liboyeva X.Z. ALOHIDA MANBALI BUG’ TRANSPORT USULI YORDAMIDA O’STIRILGAN Sb_2Se_3 YUPQA QATLAMLARINING OPTIK XOSSALARI TAHLILI **217**
Rakhmonov U.Kh., Razzokov A.Sh. RECTIFICATION COEFFICIENT AND SERIES RESISTANCE OF THE n-GaP–$n^+(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ HETEROSTRUCTURE IN THE TEMPERATURE RANGE 30–140 °C **220**
Rakhmonov U.Kh., Razzokov A.Sh. PARAMETERS OF THE EXPONENTIAL TRAP DISTRIBUTION IN THE $(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ EPITAXIAL LAYER DETERMINED FROM SPACE-CHARGE-LIMITED CURRENTS **222**
Sabirov L.M., Ismailov F.R., Umarova G.N., Juraev Y.T., Omonov X.Sh., Djumaniyazov X.Sh. γ-PIKOLINNING x = 0,05 MOL ULUSHLI SUVLI ERITMASIDA STRUKTURAVIY O‘LCHAMNING TEMPERATURAGA BOG‘LIQLIGI **225**
Якубов С.Х., Холмуродов Д.С. НАНОТЕХНОЛОГИЯЛАР ВА НАНОМАТЕРИАЛЛАР СОҲАСИДАГИ ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИШЛАРИНИНГ ТИЗИМЛИ ТАҲЛИЛИ **227**
Rahmonqulov A.A., Xaydarov T.Z. ASETILEN GAZINING KATALITIK PIROLIZI ASOSIDA UGLEROD NANOTRUBKALARINI SINTEZ QILISH **229**

Shodmonova D. ISHQORIY SILIKAT SHISHADA KUMUSHNING ION-ALMASHINISH DIFFUZIYASI **230**
Boboqulova R, Xolmirzayeva D, Dursoatov A, O‘ljayev O‘. $Si_{64}Ni_x$ (x = 1÷10) TIZIMLARINING ATOM TUZILISHI VA ENERGETIK BARQARORLASHUV MEXANIZMLARINI KVANT-MEXANIK MODELLASHTIRISH **232**
Jumanazarova A., Begmatov., Muminova Sh., O‘ljayev O‘. BOR BILAN DOPING QILINGAN Ni@BQUNTLARDA VODOROD ADSORBSIYASINI MOLEKULYAR DINAMIKA USULIDA TADQIQ ETISH **234**
Suvanova M., Ravshanova R., Yadgarov I., O‘ljayev O‘. AZOT BILAN DOPINGLANGAN NIKELLI UGLEROD NANOTRUBKALARDA VODOROD ADSORBSIYASINI MOLEKULYAR DINAMIKA USULIDA O‘RGANISH **237**
Tojimurodova Z, Karimov K, Muminova Sh., O‘ljayev O‘. Ni BILAN MODIFIKATSIYALANGAN UGLEROD NANOTRUBKALARDA VODOROD ADSORBSIYASI **239**
Muminova Sh.A., Ochilov Sh.Sh., Yadgarov I.D., Dursoatov A.Ch., O‘ljayev O‘.B. Pt-N@BQUNT NANOSTRUKTURASIDA GAZLARNING ADSORBSIYASINI O‘RGANISH **240**
Muminova Sh., Yadgarov I., Safarov F., O‘ljayev O‘. NH_2 RADIKALI TA’SIRIDA BIR QAVATLI UGLERODLI NANOTRUBKADAGI MONOVAKANSIYA NUQSONINING REKONSTRUKSIYASI **242**
Turakulov Kh.A., Normurodov M.T., Eshmurodova Z., Musharrafova B. Turakulova H.A. COMPUTER MODELING OF THE THIN FILM FORMATION **244**
Mallayev A.S., Sayfulloyev Sh.A. KOBALT IONLARI KIRITILGAN KREMNIY NAMUNALARIDA YASHIRIN CoSi2 QATLAMLARI HOSIL BO_LISHINI ANALITIK MODELLASHTIRISH **247**
Mallayev A.S., Sayfulloyev Sh.A. KREMNИYDA TEMIR IONLARI KIRITILGAN NAMUNALARNING TAJRIBA MA‘LUMOTLARI ASOSIDA ANALITIK MODELLASHTIRISH **249**
Komiljonova N.O. YARIMO‘TKAZGICH NANOMATERIALLAR ASOSIDA OPTOELEKTRON QURILMALARNING ELEKTROFIZIK VA OPTIK XUSUSIYATLARINI TADQIQ ETISH **250**
Haqberdiyeva I.O., Normurodov D.A. NANOPLYONKALAR HOSIL QILISH VA ULARNING ELEKTROFIZIK PARAMETRLARINI O'LCHASH **252**
Bekpulatov I.R. EFFECT OF Ba ADSORPTION AND Ba^+ ION IMPLANTATION ON THE ELECTRONIC AND EMISSION PROPERTIES OF TUNGSTEN OXIDE FILMS ON W(111) **256**
Косимов И.О., Игамов Б.Д., Арзикуловю Ф.Ф., Ниязова О.А., Холиков У.Х., Бобомуродов Б.У. ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В ТОНКИХ ПЛЁНКАХ ZnO, CuO И Cu_2O ПОД ДЕЙСТВИЕМ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ НА ИХ ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА **258**
Turayev E.Y. O‘TA-O‘TKAZUVCHANLIKNING RIVOJLANISHI VA ZAMONAVIY MUAMMOLARI **260**
Srajev S.N., Ne’matov O.S., Urchinova L.A. KREMNIYDA MIS VA KISLOROD ATOMLARINING O‘ZARO TA’SIRLASHUVI **264**
Dovranov Q.T., Jurayeva Sh., Ibrohimova S.. ION-PLAZMA USULI BILAN β-FeSi2 VA Mg2Si SILITSID YUPQA PLYONKALARINI OLISH VA ULARNI TADQIQ QILISH **266**

II SHO‘BA. KONDENSIRLANGAN MUHITLAR FIZIKASINING DOLZARB MUAMMOLARI

Karimli Y., Agayeva L., Akhmedov N. SEGNETOELEKTRIKLAR QARSHILIGININ OF THE SIDE CHAINS OF THE β-CASOKININ MOLECULE **269**
Agayeva L., Karimli Y., Ismailova L., Akhmedov N. SPATIAL STRUCTURE OF THE [PHE3]-ANALOGUE OF THE RUBISCOLIN-6 MOLECULE **272**
Xidirov D.Sh. TURLI TAGLIKLARDA (SHISHA VA Si) O‘STIRILGAN ZnO:Al YUPQA PLYONKALARINING TUZILMAVIY VA OPTOELEKTRON XOSSALARI **275**
Xidirov D.Sh. SHISHA VA KREMNIY TAGLIKLARDA O‘STIRILGAN ZnO:Al YUPQA PLYONKALARINING STRUKTURAVIY, OPTIK VA ELEKTR XOSSALARI: “TAGLIK–DEFEKT–TRANSPORT” BOG‘LIQLIGI **277**
Б.Куйлиев, Т.Муродов, А.Худойбердиев, Б.Муродов. РАМАН-СПЕКТРЫ ПРИРОДНОГО ГАЗА **279**
Mamadalimov A, Khakimova N, Khazratov D*, Ismatova M, Azimova D, Qushboqov N. NIKEL BILAN LEGIRLANGAN N-TIPDAGI G‘OVAKLI KREMNIYNI XOSSALARIGA ANODLASH VAQTINING TA’SIRI **281**
Ibodova M.I., Fayziyev Sh.Sh. Ga_2Gd KRISTALLIGA TASHQI MAGNIT MAYDONNING TA’SIRI **284**
Tursunova R.M., Soliyev M.V. LEGIRLANGAN SILIKAT SHISHASIDA SIZIB O‘TISH BUSAG‘ASIGA TEXNOLOGIK OMILLAR TA’SIRI **288**
Omonov B.U., Maxmudov Sh.A. ^{60}Co NURLANTIRILGAN $Bi_{0,5}Sb_{1,5}Te_3$/PET YUPQA PARDALARIDA TUZILMAVIY O‘ZGARISHLAR VA ZEEBEK KOEFFITSIENTINING BARQARORLASHUV PLATOSI **291**
Turayev A.A. PEROVSKIT TIPIDAGI MIS OKSIDLARIDA YUQORI HARORATLI O‘TA O‘TKAZUVCHANLIKNING KASHF ETILISHI VA RIVOJLANISHI **294**
Каршиев К., Рустамова М. ОБРАЩЕНИЕ ВОЛНОВОГО ФРОНТА В АКУСТИКЕ И ВОЗМОЖНЫЕ ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ **297**
Rafikov A.K., Boboyev A.Y., Mahmudov Sh.A., Sulaymonov A.A., Ibrohimov Z. RODIY BILAN LEGIRLANGAN KREMNIYDA FAZAVIY HOLATNING SOVUTISH TEZLIGIGA BOG‘LIQLIGI **299**
Mammadov R.A*., Sardarly R.M., Aliyeva N.A., Mamatkulov M.N., Salmanov F.T. TEMPERATURE DEPENDENCE OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN $TlSe_xS_{1-x}$ (x = 0.8, 0.9, 1.0) SOLID SOLUTIONS AT LOW TEMPERATURES **302**
Yusupov F.T. Al BILAN LEGIRLANGAN ZnO/CdTe PLYONKALARINING TUZILISHI VA OPTIK XOSSALARI **304**
Dusiyorov N.Z., Haqberdiyev E.O., Berdinazarov Q.N., Ashurov N.R. PEI/PET POLIMER ARALASHMALARINING IQ - SPEKTROSKOPIYA TAHLILI **307**
Raximjonov J.S. CdS/CdTe YUPQA QATLAMLI GETEROTUZILMALARDA OYNA QATLAMI QALINLIGINING FOTOGENERATSIYA VA REKOMBINATSIYA JARAYONLARIGA TA’SIRI **311**
Raximjonov J.S., Mirzayev V.T. CdS/CdTe YUPQA QATLAMLI GETEROTUZILMALARDA CdTe ABSORBER QATLAMI QALINLIGINING FOTOGENERATSIYA VA ZARYAD TASHUVCHILAR YIG‘ILISHIGA TA’SIRI **313**
Mirzayev V.T. CdS/CdTe YUPQA QATLAMLI GETEROTUZILMALARDA FOTOELEKTRIK JARAYONLARNI OPTIK MODELLASHTIRISH VA OPTIMALLASHTIRISH **316**
Madraximov M.M., Sh.Sh.Abdullayev. n-SnO_2/p-Si GETEROSTRUKTURALARNING ELEKTROFIZIK VA MORFOLOGIK XUSUSIYATLARINI TADQIQ ETISH **318**

Madraximov M.M. SNO_2 YUPQA PLYONKALARINING MIKROSTRUKTURASI VA FIZIK XOSSALARI **321**
Hajiyeva S.A. EFFECT OF THERMAL ANNEALING ON THE SPECTRAL PHOTOSENSITIVITY OF GaSe SINGLE CRYSTALS IMPLANTED WITH 70 keV H^+ IONS **323**
Igamov B.D[1]., BekpulatovI.R[2*].:STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF Mn_4Si_7 CRYSTALS OBTAINED BY HIP AND SPS METHODS **326**
Madatov R.S[1,3]., Mamishova R.M[1,2]., Khaligzade A.Sh[1,2]., Hasanzadeh S[2]. GAMMA-IRRADİATİON-INDUCED STRUCTURAL AND DEFECT MODİFİCATİONS AND THEİR EFFECT ON THE ELECTRİCAL PROPERTİES OF $CuTlSe_2$ SİNGLE CRYSTALS **328**
Бобокулов С.Х., Эшонкулов Э.Б., Ибодуллаев С.А. СТРУКТУРНОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ Bi(Pb)-Sr-Ca-Cu-O ПРЕКУРСОРОВ ПО ДАННЫМ XRD И XPS **330**
Нурматов Ш.Р., Руми М.Х., Зуфаров М.А., Мансурова Э.П., Уролов С.Х., Кенжаев Н., Оринбоев Р., Гулматов С. ДЕГРАДАЦИЯ ПОЛИЭТИЛЕНА В ПРОЦЕССЕ УСКОРЕННОГО СТАРЕНИЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КОНЦЕНТРИРОВАННОГО СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ **333**
Нурматов Ш.Р., Руми М.Х., Мансурова Э.П., Зуфаров М.А., Уролов С.Х., Кенжаев Н., Оринбоев Р., Гулматов С. ИЗМЕНЕНИЕ КРИСТАЛЛИЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНА ПОСЛЕ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ НА БСП **335**
Сатволдиев И.А. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КАТИОННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НА МАГНИТНЫЕ И МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА $LiCoFeO_4$ **337**
Axmadjonov M. F. YARIM KRISTALL POLIMER TOLALARDA MAKROMOLEKULYAR ORIENTATSIYA VA AMORF-KRISTALL TUZILMANING MEXANIK XOSSALARGA TA'SIRI **340**
Korjavov M.J. NOCHIZIQLI OPTIKANING KVANT EFFEKTLARI **343**
Karshiboev Sh[1]., Turakhonov Z[2]. PHOTON-SPHERE RESPONSE TO HOMOGENEOUS AND NON-UNIFORM PLASMA PROFILES **346**
Ташметов М.Ю.[1]., Джангабаев Х.Н[2]. ЭВОЛЮЦИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ GaAs(O):Cr ПРИ ЭЛЕКТРОННОМ ОБЛУЧЕНИИ **348**
Odilova N.J. TERMIK JARAYONDA MIS BILAN BOYITILGAN KREMNIYNING ZARYAD TASHUVCHILAR YASHASH VAQTI HUSUSIYATLARINI O'RGANISH **351**
Qarshiyev Q[1]., Rustamova M[2]. AKUSTIK GOLOGRAFIYANING DOLZARBLIGI VA QO'LLANILISHI **352**
Жураева Н.П[1]., Тураев Э.Ю[1]., Игамов Б.Д[2]. ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕРМООБРАБОТАННЫХ ТОНКИХ ПЛЁНОК TeSe ПРИ ОСВЕЩЕНИИ **354**
Эшкуватов Х.М[1]., Турапов И.Х[2]., Игамов Б.Д[3]., Абилфайзиев Ш.Н[4]. ВИБРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКОГО СПЛАВА VSi_2, СИНТЕЗИРОВАННОГО МЕТОДОМ SPS: СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ RAMAN И FTIR **356**
О.Р.Нурматов. ИЗУЧЕНИЕ ФЭС - КАК МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРИМЕСНЫХ ЦЕНТРОВ В ПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУРАХ **359**
Nasirov M.X*., Rahmonov T., Sulaymonov Kh.M. GaAs/AlGaAs KVANT O'RALARIDA γ-NURLANISH TA'SIRIDA FOTOLUMINESSENSIYA XUSUSIYATLARINING O'ZGARISHI **361**
Sabirov L. M[1]., Ismoilov F.R[1]., Hasanov M. A[1]. ACOUSTIC PROPERTIES OF AQUEOUS SOLUTIONS OF β -PICOLINE IN THE LOW-CONCENTRATION REGION **363**
Otaboeva K.U., Sabirova A., Abdiyeva N., Masharipova N. SPUTTERING OF WATER MOLECULES FROM ICE FILMS **366**

Otaboeva K.U., Sabirova A., Abdiyeva N., Masharipova N. MASS SPECTRUM OF SPUTTERED SPECIES UNDER Ar^+ ION BOMBARDMENT **368**
Сатволдиев И.А. Магнитоэлектрический датчик переменного тока на основе системы Li-Co-Fe-O **370**
Rakhmonov U.Kh[1]., Razzokov A.Sh[2]. PARAMETERS OF THE EXPONENTIAL TRAP DISTRIBUTION IN THE $(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ EPITAXIAL LAYER DETERMINED FROM SPACE-CHARGE-LIMITED CURRENTS **373**
Саттаров О. Э., Абдурахманов Б.А., Хайтбаев Ш., Носиров Б.Б. КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА ИНТЕРСТИЦИАЛЬНОЙ МОДЕЛИ $Si_{64}Mn$. **376**
Rakhmonov U.Kh[1]., Razzokov A.Sh[2]. PARAMETERS OF THE EXPONENTIAL TRAP DISTRIBUTION IN THE $(Si_2)_x(GaP)_{1-x}$ EPITAXIAL LAYER DETERMINED FROM SPACE-CHARGE-LIMITED CURRENTS **379**
Mansurov X.J., Abdulkhayev F.A., Adixamov N.A., Ro’zibekova Q.R. Co ION IMPLANTATSIYASINING SnO_2/Si ASOSIDAGI KO‘PQATLAMLI GETEROTUZILMALARDA CHUQURLIK BO‘YICHA TAQSIMOTI VA DEFEKT HOSIL BO‘LISHIGA TA’SIRI **381**
Boboyev A.Y[1]., Yunisaliyev N.N[2]., Karimberdiyev U[1]., Tojiboyev G’.G’. SUYUQ FAZALI EPITAKSIYA USULIDA $(Ge_2)_{1-x-y}(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_x(ZnSe)_y$ QATTIQ ERITMALARINI O'STIRISH MEXANIZMLARI: MOLEKULYAR ALMASHINUV VA MASSAKO'CHISH **383**
Yunisaliyev N.N[1]., Karimberdiyev U[2]., Abdulkhayev F.A[2]., Adixamov N.A[2]. Numonjonova G.I[2]. Si TAGLIKLARDA O‘STIRILGAN $(Ge_2)_{1-x-y}(ZnSe)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$ EPITAKSIAL PLYONKALARNING RENTGENSTRUKTURAVIY XOSSALARI **386**
Boboev A. Y[1]., Makhmudov Sh.A[2]., Makhkamov Sh.Kh[1]., Yunusaliyev N. Y[3]., Maxkamova G.I[1]., Arabboyeva M.M[1]. n-Si MONOKRISTALLIDA KISLOROD BILAN BOG‘LIQ STRUKTURAVIY NUQSONLARNING RENTGEN-DIFRAKSION TAHLILI **389**
Boboev A. Y[1]., Makhmudov Sh.A[2]., Makhkamov Sh.Kh[1]., Yunusaliyev N. Y[3]., Tojiboyev G. G[1]., Arabboyeva M.M[1]. n-Si MONOKRISTALLIDA (111) VA (333) REFLEKSLARNING α_1–α_2 AJRALISHI ORQALI LOKAL ELASTIK MIKROKUCHLANISHLARNI RENTGEN-DIFRAKSION TAHLIL QILISH **390**
Турсунметов К.А. ВЛИЯНИЕ ПЛЕНКИ ОСМИЯ НА ЭМИССИОННЫЕ СВОЙСТВА СИСТЕМЫ W-O-Ba **392**
Суюнов Л.А[1]., Цой Э.Н[2]. ПАРАМЕТРЫ ОБОБЩЁННЫХ КВАРТИЧНЫХ СОЛИТОНОВ **394**
Tashmetov M.Y., Buriev M.M. X-RAY DIFFRACTION STUDY OF STRUCTURAL CHANGES IN Si_3N_4 NANOPOWDER INDUCED BY ELECTRON IRRADIATION **395**
Murodov G1., Xo‘jamov U1., Nurmurodova G1., Xudoyberdiyeva M1. ASETILEN IZOTOPOLOGLARI VA UNING UCHMETILAMIN BILAN VODOROD BOG‘LANISHLI KOMPLEKSLARIDA ν(AH) VA ν(AD) TEBRANISH POLOSALARINING TADQIQI **397**
Boliyev O.I[1], Isayeva G.Sh[2], Axmedov Sh.M[1], Axunov Sh.Dj[1]., Usmanov D.T[1]. OKSIDLANGAN VANADIY TERMOEMITTERIDA KORTIZON MOLEKULASINING SIRTIY IONLANISH XUSUSIYATLARI **399**
Sharifov G‘.,Amonov A., Bahrinov E. CORRELATION OF INTERACTION ENERGY WITH ρ(BCP) DENSITY AND Vmax IN THE $S(CH_3)_2\cdots CH_4$ $CH_3SSCH_3\cdots CH_4$ COMPLEXES **400**
Berdinazarov Q[1], Normuradov N[1], Haqberdiyev E[1], NAshurov N[1]. POLIPROPILEN VA MODIFIKATSIYALANGAN $CaCO_3$ ASOSIDAGI KOMPOZIT MATERIALLAR **401**

III SHO'BA. ENERGIYA VA RESURSLARNI TEJOVCHI INNOVATSION TEXNOLOGIYALARNI RIVOJLANTIRISH

Xolmirzayev O.T, Jalalov R.M, Sultonov B.Q. BIMETAL TERMOAVTOMATIKA: ATMOSFERADAN SUV YIG'ISH TIZIMIDA ENERGIYASIZ IKKI BOSQICHLI KUNLIK TSIKL NAZARIYASI **404**
Daliev X, Kuldashov G. G'ARAMLARDA PAXTANI O'Z-O'ZIDAN YoNIShNI ERTA BAShORAT QILISh UChUN SIMSIZ SENSOR TARMOG'I (WSN) **405**
Ibragimov I. XXX. SUN'IY INTELLEKT ANSAMBL MODELLARI ASOSIDA GELIOISSIQXONALAR MIKROIQLIMINI BOSHQARISH **409**
Tursunov M.O. Kamolov M.N. MONOKRISTALL KREMNIYLI FOTOELEMENTLARDA VOLT-FARAD TAHLILI ASOSIDA ZARYAD TASHUVCHILAR REKOMBINATSIYA MEXANIZMLARINI TADQIQ ETISH **412**
Julliev Z.N, Xolmuradov J, Ashurov N.R .SELF-ASSEMBLED MONOLAYER ENHANCES PHOTOVOLTAIC PERFORMANCE OF TRIPLE-CATION PEROVSKITE SOLAR CELLS **414**
Xolyigitova G.S. INJECTION DEPLETION EFFECT IN SILICON-BASED p–n STRUCTURES **416**
Xolyigitova G.S HARORATNING INJEKSION KAMBAG'ALLASHISH EFFEKTIGA TA'SIRI **418**
Kuldashov O.K, Iskandarov O.S. STUDY OF THE DEPENDENCE OF THE FILLING COEFFICIENT OF SOLAR PANELS ON THE ANGLE OF INCIDENCE OF SUNLIGHT **420**
Mashrapova I.R. "AHOLI XONADONLARINI ISITISHDA QUYOSH ENERGIYASIDAN FOYDALANISHNING INNOVATSION VA ENERGIYA TEJOVCHI YECHIMLARI" **422**
Kurbanova U. X, Karimova Sh.O. KREMNIY KONSENTRATORLI QUYOSH ELEMENTLARINI ISHLAB CHIQARISH VA MODELLASHTIRISH. **424**
Abdulxayev A.A, Qo'chqorov B.H, Nosirdinov I.Q, MDYA STRUKTURALARINING VOLT-AMPER XARAKTERISTIKALARI **426**
Khamraev. S.I. PCM INTEGRATSIYALASHGAN GIDRONIK RADIANT POL TIZIMINING ENERGIYA SAMARADORLIGINI OSHIRISHDA Al_2O_3/SUV NANOSUYUQLIGIDAN FOYDALANISH **428**
Mirzayeva A.O QUYOSH–ISSIQLIK NASOSLI TIZIMDA HARORAT REJIMINING ISSIQLIK NASOSI SAMARADORLIK KOEFFITSIYENTIGA TA'SIRINI PARAMETRIK TAHLIL QILISH **431**
Turopova D.Sh. ISSIQXONA QOPLAMA KONSTRUKSIYASINING ISSIQLIK UZATISH KOEFFITSIYENTI ENERGIYA YO'QOTISHLARIGA TA'SIRINING PARAMETRIK TAHLILI **434**
Ernazarov A.A, Xaytbayev E.B AVTOTRANSPORT SOHASIDA VAKUUM SO'NDIRGICHLARDAN FOYDALANISHNING AFZALLIKLARI. **436**
Kholov U.R., Eshmatov M.M, Eshmuratov M.R. TECHNOLOGY FOR REDUCING UTILIZATION LOSSES AND IMPROVING EFFICIENCY OF PHOTOTHERMAL BATTERIES USING ARDUINO-CONTROLLED SOLAR TRACKING SYSTEMS **439**
Rahmanqulov A.A. ISSIQLIKKA BARQAROR POLIMER KOMPOZIT QOPLAMALARNI SHAKLLANTIRISHDA MODIFIKATSIYALASHNING SAMARADOR TEXNOLOGIYALARI **442**
Тўхлиев М.М. ҚУЁШ МЕВА ҚУРИТИШ ҚУРИЛМАСИНИНГ ИССИҚЛИК КОЛЛЕКТОРДАГИ ЭКСЕРГЕЯСИНИ ОШИРИШ УСУЛЛРИ **445**
Имамов Э.З, Муминов Р.А, Аскаров М.А, Каримов Х.Н, Имамов А.Э. **448**

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА ИЗ НАНОКРИСТАЛЛИТОВ КРЕМНИЯ И ХАЛЬКОГЕНИДА СВИНЦА
Mirzoyev Z.S. YER OSTI ISSIQLIK AKKUMULYATORDAN ISSIQXONA - PARANDACHILIK-KOMPLEKSIDA FOYDALANISHGA DOIR EKSPERIMENTAL TADQIQOTLAR. **451**
Rustamova N.R, Toyirova F.Sh. SARIMSOQPIYOZ EKISH SEYALKASI MIQDORLAGICHINING KONSTRUKTIV PARAMETRLARINI ANIQLASHGA DOIR O‘TKAZILGAN TAJRIBAVIY TADQIQOT NATIJALARI **454**
Xayriddinov B.E, Ne’matov I.L, Ro’ziyeva D.N. QUYOSH ENERGIYASIDAN FOYDALANIB ISSIQLIK AKKUMULYATORLI MEVA VA SABZAVOTLARNI QURITISH QURILMASINI SAMARADORLIGINI TAKOMILLASHTIRISH **457**
Хайриддинов Б.Э, Рўзиева Д.Н. ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ПРИ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИОННОЙ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКЕ ПЛОДОВ И ЯГОД **462**
Aliyarova L.A, Niyozova D.K, Sokhibov M.I. MATHEMATICAL MODELING OF HEAT AND MOISTURE TRANSFER PROCESSES IN A GREENHOUSE HEATED BY EVACUATED TUBE SOLAR COLLECTORS **466**
Xujakulov S.M, G’aniyev S.Y, Muqimov F. QUYOSH ENERGIYASI ASOSIDAGI TOSHLI ISSIQLIK AKKUMULYATORLARIDAN FOYDALANISH IMKONIYATLARINI BAHOLASH **469**
Xayriddinov B.E, Xujakulov S.M, G’aniyev S. ENERGIYA TEJAMKOR TOSHLI ISSIQ POL TIZIMINING ISSIQLIK UZATISH JARAYONINI DINAMIK MODELLASHTIRISH **473**
Muqimov F, Xujakulov S.M, Fayziyev T.A, Meyliyev L.O. QUYOSH ENERGIYASIGA ASOSLANGAN ISSIQLIK TA’MINOTI TIZIMLARINING MAVJUD TEXNOLOGIK YECHIMLARI TAHLILI **476**
Zoirov S.X. LABVIEW MUHITIDA QUYOSH ENERGIYASIDAN FOYDALANUVCHI AQILLI ISSIQXONA MODELINI YARATISH **479**
Мукольянц А.А, Сотникова И.В, Шадибекова Ф.Т, Илавиддинов Х.Ш. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНОЙ И СОЛНЕЧНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ **481**
Мукольянц А.А, Хамдамов Б, Сотникова И.В, Сайфутдинов А.Ш. АККУМУЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГИИ РАСШИРЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ **484**
Muxammadiyev M.M, Djurayev K.S, Mamatkulov D.A, Shadibekova F.T. GIDROELEKTR STANSIYALAR UCHUN GIDROTURBINALARNI TANLASHNING TEXNIK-IQTISODIY ASOSLARI **487**
Низамов О.Х, Хамдамов Б, Шадибекова Ф.Т, Саидов Ф.С. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОГЭС ДЖИЗАКСКОГО ГОЛОВНОГО КОЛЛЕКТОРА **490**
Хамдамов Б, Низамов О.Х, Мукольянц А.А, Кодиров И.У. НАСОС СТАНЦИЯСИНИНГ ТЕХНИК ҲОЛАТИ ВА ФОЙДАЛАНИШ ХАВФСИЗЛИГИ ҲАМДА БАРҚАРОРЛИГИНИ ИННОВАЦИОН ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЁРДАМИДА БАШОРАТ ҚИЛИШ УСУЛЛАРИ **493**
Muxammadiyev M.M, Djurayev K.S, Gadayev S.K, Mamatkulov.D.A. KICHIK DARYO VA IRRIGATSIYA KANALLARI UCHUN ERKIN OQIMLI MIKRO GESLARNI ISHLAB CHIQISH VA ULARNING ENERGETIK KO‘RSATKICHLARINI HISOBLASH **469**
Вардияшвили А.А , Хатамов И.А. , Вардияшвили А.А. СОЛНЕЧНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕСНЕНИЯ ВОДЫ С ПАРАБОЛОЦИЛИНДРИЧЕСКИМ КОНЦЕНТРАТОРОМ **499**

Panayev D.U. SUG`ORISH NASOS STANSIYALARINING ENERGIYA SAMARADORLIGINI OSHIRISH **502**
Мухаммадиев М.М, Джураев К.С, Жураев С.Р, Гадаев С.К. ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ КАК ИНСТРУМЕНТ КОМПЛЕКСНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ **505**
Мухаммадиев М.М, Джураев К.С, Жураев С.Р, Шадибекова Ф.Т. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ И ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ГЭС ПРИ СРАБОТКЕ ВОДОХРАНИЛИЩА **508**
Muxammadiyev M.M, Mamatkulov D.A, Gadayev S.K, Allamuratov A.K. SUV O'TKAZISH INSHOOTLARINING GIDROTEXNIK ZATVORLARIDA MIKROGESLARDAN FOYDALANISHNING YANGI TEXNIK YECHIMLARI **511**
Мухаммадиев М.М, Уришев Б.У, Джураев К.С, Алламуратов А.К. ОПТИМАЛЬНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ВИЭ И СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ **514**
Мухаммадиев М.М, Уришев Б.У, Жураев С.Р, Джураев К.С. СУҒОРИШ НАСОС СТАНЦИЯЛАРНИНГ ЭНЕРГИЯ ТАЪМИНОТИДА ҚАЙТА ТИКЛАНУВЧИ МАНБАЛАР ЭНЕРГИЯСИДАН ФОЙДАЛАНИШ МАСАЛАЛАРИ **516**
Палуанов Д.Т, Саидов Ф.С, Содиқжонов М, Сейидабуллаев М.М. ГИДРОЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАР ВА УЛАРДАГИ ИНШООТЛАРНИНГ АСОСИЙ МУАММОЛАРИ: КАМЧИЛИКЛАР ВА ТАҲЛИЛЛАР **519**
Н.С.Холмирзаев. ПАХТА ҒЎЗА ПОЯСИ АСОСИДА ҚУРИЛИШ МАТЕРИАЛЛАРИ ИШЛАБ ЧИҚАРИШДА УНИНГ СТРУКТУРАСИНИНГ ФИЗИК-ТЕХНИК АСПЕКТЛАРИ **521**
Hokman Mahmudov, *Gunel Imanova, Fethullah Chichek, Bahar Mammadova, Seljan Hajiyeva, Samira Aliyeva-Chichek, Zumrud Sabzaliyeva, Kamala Azizova, Aqshin Abishov MOF-ASSISTED HYDROGEN PRODUCTION UNDER GAMMA IRRADIATION FOR ENERGY- AND RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES **524**
Gunel Imanova, Hokman Mahmudov, Bahar Mammadova, Seljan Hajiyeva CRYSTAL STRUCTURE, RADIATION-CATALYTIC PROPERTIES AND ELECTROCHEMICAL FORMATION OF TiO_2 NANOSTRUCTURES FOR ENERGY- AND RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES **528**
Hokman Mahmudov, Gunel Imanova, Bahar Mammadova, Fethullah Chichek, Bahar Mammadova, Seljan Hajiyeva, Samira Aliyeva-Chichek, Zumrud Sabzaliyeva STUDY OF CARBON DIOXIDE ACTIVATION IN A DIELECTRIC DISCHARGE DEVICE **531**
Umirov A.P, Saodatov D.B, Irisov X.R KUCHLANISHI 0,4 KV TARMOQLARDAGI NOSIMMETRIK HOLATLARNING QUYOSH FOTO ELEKTR **533**
Нурматов Ш.Р, Руми М.Х, Зуфаров М.А, Мансурова Э.П, Уролов С.Х, Кенжаев Н, Оринбоев Р, Гулматов С. ДЕГРАДАЦИЯ ПОЛИЭТИЛЕНА В ПРОЦЕССЕ УСКОРЕННОГО СТАРЕНИЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КОНЦЕНТРИРОВАННОГО СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ **535**
Эргашев Ш.Х, Хайриддинов Ш.Б, Жалилов А.А. ҚУЁШЛИ ҲАВО ҚИЗДИРГИЧИНИНГ ИССИҚЛИК БАЛАНСИ **537**
Мирзаев З.С, Umarova S, Хайриддинов Ш.Б ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО БИОГАЗОВОГО ОТОПЛЕНИЯ И СОЗДАНИЯ МИКРОКЛИМАТА К ВОПРОСУ ПТИЧНИКА ПО ЭКОНОМИЧЕСКОМУ КРИТЕРИЮ **540**
Tangirov I. U. TAKRORIY EKINLARNI EKISHDA TUPROQQA ISHLOV BERISH TEXNOLOGIYALARINING TAHLILI **543**

Tangirov I.U. ISHLOV BERILMAGAN TUPROQQA TAKRORIY EKINLAR URUG‘LARINI EKISHDA QO‘LLANILADIGAN TEXNIKA VOSITALARINING TAHLILI **546**
Badalova D.A. ENERGIYA VA RESURSLARNI TEJOVCHI CHANG USHLAGICH **548**
Саъдуллаев А.Б, Жиянқулов Л.А, Саодатов Д.Б. АСИНХРОН МОТОРНИ ЧАСТОТА ЎЗГАРТИРГИЧ ОРҚАЛИ БОШҚАРИШНИНГ ЭНЕРГИЯ ТЕЖАМКОРЛИК ХУСУСИЯТЛАРИ **552**
Саъдуллаев А.Б, Жиянқулов Л.А, Саттарова М.К. РЕАКТИВ ҚУВВАТ КОМПЕНСАЦИЯСИНИ АСИНХРОН МОТОРНИНГ ЭНЕРГИЯ ТЕЖАМКОРЛИГИГА ТАЪСИРИ. **554**
Eshmatov M.M., Xolov U.R., Eshmatov A.M, Eshmuratov M.R. FOTOELEKTRIK/ISSIQLIK VA FOTOELEKTRIK SUV CHIQARUVCHI QURILMALARNING ELEKTROFIZIK KO’RSATKICHLARI ASOSIDA IQTISODIY KO’RSATKICHLARINI TAQQOSLASH **556**
Исаходжаев Х.С, Усмонов Ж.Ю, Хазратов А.Г. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОСВЕННОГО ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ **560**
Исаходжаев Х.С, Хасанов З.Ё, Хазратов А.Г, Усмонов Ж Ю. ЭСКИЗНАЯ СХЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ РАБОТЫ ОСВЕТЛИТЕЛЕЙ ВПУ ТАШТЭ **562**
Abdubannobov M. I. HOZIRGI ENERGIYA TANQISLIGI DAVRIDA ENERGIYA RESURSLARIDAN UNUMLI FOYDALANISH **564**
Axmadjonov M.F. FAZA O‘ZGARUVCHAN MATERIALLAR ASOSIDA BINO QOBIG‘IDA ISSIQLIK ENERGIYASINI AKKUMULYATSIYALASH VA ENERGIYA TEJAMKORLIGINI OSHIRISH **567**
Vardiyashvili A. A., Farmonov J. R., Panayev D. U., Jalilov A.A. QARSHI DAVLAT UNIVERSITETI QUYOSH ELEKTR STANSIYASINING QUVVATI VA ISHLAB CHIQARISH KO‘RSATKICHLARI **570**
Rustamova N.R, Toyirova F.Sh. SARIMSOQ EKISH SEYALKASI EKISH SEKSIYANING KINEMATIK ISH REJIMLARINI ANIQLASH **573**
Абдуллаев Ж. С.* Бакиров Э. В, Жамолиддинов Ж. ИЗУЧЕНИЕ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ПАРАМЕТРОВ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ **576**
Yulchiyev I.I., Akhmadaliyev B.J., Movlonov P.I. DAMPING AND MAGNETOSPATIAL POLARIZATION CONVERSION NEAR THE CdS EXCITON RESONANCE **577**
Yulchiyev I.I., Akhmadaliyev B.J., Rakhmonov T.I. DAMPING AND APERTURE DIAGNOSTICS OF HIGH ENERGY CdS EXCITON POLARITON EMISSION **580**
To‘xtaqo‘ziyev A, Ergashev Ma’ruf, Akbarov I, Abdubannopov A. DARAXT KO‘CHATLARINI O‘TQAZISHNI UZLUKSIZ AMALGA OSHIRADIGAN MASHINA KO‘MGICHINING ISH JARAYONIDAGI HARAKATINI NAZARIY TADQIQ ETISH. **583**
Юсупова Д. А., Сирожиддинова С.З., Собирова С.О. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ Юсупова Д. А., Сирожиддинова С.З., Собирова С.О. **586**
Юсупова Д.А., Сирожиддинова С.З., ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЛЕГИРОВАНИЯ ИТТЕРБИЕМ И ЦЕРИЕМ НА РЕШЁТОЧНУЮ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ И ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ДОБРОТНОСТЬ Bi_2Te_3 **590**
Abduraximov J.T, Yaxshiboyev Sh.K. TUPROQ OSTI ISSIQLIK AKKUMULYATORLI ISSIQXONALARINING ZAMONAVIY HOLATI **593**
Babakulov Z. A, Almardanov H.A, QUYOSH ENERGIYASI YORDAMIDA BIOMASSANI **596**

YUQORI HARORATLI TERMOKIMYOVIY QAYTA ISHLASH.
Рузимов К. М., Машарипов Ф. К., Хасанов Ж. О. Sb_2S_3 И Sb_2Se_3 НА ОСНОВЕ СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КАК ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ ДЛЯ УДАЛЕННЫХ ДАТЧИКОВ **599**
Jovliyev A. N, Xamrayev S.I QUYOSH SUV KOLLEKTORI ASOSIDAGI ISSIQ POL ISITISH TIZIMIDA ISSIQLIK TASHUVCHI MASSAVIY SARFINING ISSIQLIK UZATISH KO‘RSATKICHLARIGA TA’SIRINI PARAMETRIK TAHLIL QILISH **602**

IV SHO‘BA. ZAMONAVIY FIZIKANING DOLZARB MUAMMOLARI, YECHIMLARI VA UNI O‘QITISHDA YANGI TEXNOLOGIYALARDAN FOYDALANISH

Xudayberdiyev S.S., Nortojiyev A.M, Nosirov N.B. TALABALARNI KASBIY FAOLIYATGA TAYYORLASHDA FIZIKA VA MUHANDISLIK FANLARI MASALALARI UYG‘UNLIGINI TA’MINLASHNING METODOLOGIK ASOSLARI **605**
Abdubannobov M. I. ZAMONAVIY FIZIKANI O‘QITISHDAGI YANGI METODLAR **606**
Axmadjonov M. F. TIBBIYOT ELEKTRONIKASINI O‘QITISHDA FANLAR INTEGRATSIYASI VA REAL-VIRTUAL TAJRIBALARNI UYG‘UNLASHTIRISH **609**
Bozorov E. O., Jumaboyeva M. Sh. XODIMLARNING ISH FAOLIYATINI FACE ID ORQALI MONITORING QILUVCHI DASTURIY TA’MINOTNI ISHLAB CHIQISH VA BAHOLASH **611**
Choriyev I. G‘. GEOGEBRA DASTURI YORDAMIDA MEXANIKADAGI PARAMETRIK TENGLAMALAR VA HARAKAT TRAYEKTORIYALARINI MODELLASHTIRISH **614**
Davronov O. B. IXTISOSLASHTIRILGAN MAKTABLARDA MEXANIKA MAVZULARINI STEAM - DESIGN THINKING ASOSIDA O‘QITISH: MUAMMODAN MUHANDISLIK YECHIMIGACHA **617**
Dehqonova O. Q. RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR ASOSIDA FIZIKA FANIDAN STEAM O‘QUV RESURSLARI VA ELEKTRON TA’LIM VOSITALARINI YARATISH IMKONIYATLARI **620**
Dehqonova O. Q, Rasulov Sh. M. FIZIKA FANINI O‘QITISHDA INTERAKTIV SIMULYATSIYA, RAQAMLI TAJRIBA VA SUN’IY INTELLEKTNI INTEGRATSIYALASHNING METODIK MODELI **624**
Uzokova G.S., Xo‘jamberdiyeva J.N., Dilmurodov Sh. D., Nurullayev K.A. VODOROD ATOMI SPEKTRLARINING SPEKTRAL TAHLILI VA UNING KVANT-MEXANIK ASOSLARINI O’QITISHDA O’QUV MATERIALLARINI TARKIBLASHTIRISH **626**
Uzokova G.S., Qurbonova N.I., Dilmurodov Sh. D. OPTIKA FANINI O‘QITISH SAMARADORLIGINI OSHIRISHDA SUN’IY INTELLEKTNING O‘RNI **629**
Imomov B. U., Jumaboyeva S. M., Eshpo‘latova P. D., Norbekova X.A. INNOVATSION TA’LIM SHAROITIDA O‘QUVCHILARGA TEBRANMA HARAKAT JARAYONLARINI RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR ASOSIDA O‘QITISH METODIKASINI TAKOMILLASHTIRISH **630**
Imomov B. U., Jumaboyeva S. M., Eshpo‘latova P. D., Norbekova X. A. UMUMIY O‘RTA TA’LIM MAKTABLARIDA FIZIKA FANINING ELEKTR BO‘LIMINI ÓQITISHDA RAQAMLI TEXNOLOGIYALARDAN FOYDALANISH METODIKASINI TAKOMILLASHTIRISH **632**
Imomov O.E. DIFFERENTIATED PHYSICS EDUCATION FOR FUTURE ENGINEERS **635**
Imomov O. E. MAGNIT MAYDONINI DIFFERENSIAL USULDA O'RGANISHNING METODIK USLUBI **637**

Ismonov T. T. УМУМИЙ ЎРТА ТАЪЛИМ МАКТАБЛАРИДА ЎҚУВЧИЛАРНИ ЛОЙИҲАВИЙ ФАОЛИЯТГА ЙЎНАЛТИРИШ МЕТОДИКАСИ **640**
Jumanov Sh. E. FIZIKA TA'LIMI SAMARADORLIGINI OSHIRISHDA RAQAMLI TA'LIM TEXNOLOGIYALARIDAN FOYDALANISH METODIKASI (Oliy ta'lim muassasalari misolida) **642**
Karshiboyev Sh. E., Samiyeva S. A., Alqarova M. A. SNARYAD HARAKATI QONUNIYATLARINI INTERAKTIV SIMULYATSIYA MUHITIDA MODELLASHTIRISH VA TAHLIL QILISH **646**
Karshiboyev Sh. E., Samiyeva S. A., Alqarova M. A. MEXANIK ENERGIYANING SAQLANISH QONUNI VA UNING FIZIK JARAYONLARDAGI AHAMIYATI **648**
Xaydarov X.S. MOBIL ILOVALAR YORDAMIDA KVANT ELEKTRONIKASINI TAKOMILLASHTIRISHNING PEDAGOGIK JIHATLARI **650**
Kodirov K.M., Xaydarov X. S. FIZIK KADRLAR TAYYORLASHDA LABORATORIYA ISHLARINI BAJARISHNING MUHIM AHAMIYATI **653**
Xakimov A., Rasulova M.B., Doniyorbekova G.D. ZAMONAVIY FIZIKA TA'LIMIDA INNOVATSION PEDAGOGIK TEXNOLOGIYALAR VA O'QUVCHILARNING ILMIY TAFAKKURINI RIVOJLANTIRISH **656**
Xakimov A., Qo'chkarova M.O., Rasulova M.B. OLIY TA'LIMDA FIZIKA KURSINI O'QITISHDA MUAMMOLI TA'LIM TEXNOLOGIYASIDAN FOYDALANISH USULLARI **658**
Ergasheva M.A., Soliyev A.S. ZAMONAVIY FIZIKA TARAQQIYOTIDA QATTIQ JISMLI KOMPOZITLARNING O'RNI VA AHAMIYATI **660**
Mamadaliyeva D.K. TEXNOLOGIYA FANINI O'QITISHDA MULTIMEDIA, ELEKTRON TA'LIM RESURSLARI VA INTERAKTIV VOSITALARDAN FOYDALANISH METODIKASI (ELEKTROTEXNIKA VA ELEKTRONIKA ELEMENTLARI MISOLIDA) **662**
Maxmanov E.B. TEXNIKA OTM TALABALARINING FIZIKADAN AMALIY KOMPETENTLIGINI RAQAMLI VA INTERFAOL TEXNOLOGIYALAR ASOSIDA RIVOJLANTIRISH **665**
Mirzayev M.Sh. FIZIKA DARSLARIDA FANLARARO KOMPETENSIYALARNI RIVOJLANTIRISH –TALABALARNING MUSTAQIL FIKRLASH MALAKASINI OSHIRISH VOSITASI SIFATIDA **667**
Mirzayev M. Sh. COMPULSORY PRINCIPLE IN TEACHING THE FUNDAMENTALS OF NATURAL SCIENCE **670**
Mirzayeva U. M. ZAMONAVIY FIZIKA MASALALARINI O'QITISHDA SUN'IY INTELLEKT VA VIRTUAL LABORATORIYA TEXNOLOGIYALARIDAN FOYDALANISHNING ILMIY-METODIK ASOSLARI **673**
Movlonov P.I., Yulchiyev I.I. VERIFYING PHYSICAL MODELS IN COMPUTATIONAL PHYSICS EDUCATION FOR COMPUTER ENGINEERING **676**
Musayev E.A., Mamatoxunov Yo. ELEKTRONIKA, RADIOELEKTRONIKA VA SXEMOTEXNIKA FANLARINI O'QITISHDA RAQAMLI TEXNOLOGIYALARDAN FOYDALANISHNING METODIK YECHIMLARI **678**
Dehqonova O.Q., Xosilova M. UMUMTA'LIM MAKTABLARIDA "ICHKI ENERGIYA" MAVZUSINI O'QITISHDA VIRTUAL NAMOYISH EKSPERIMENTLARINING O'RNI **681**
Odilov Y.J. MUHANDISLIK YO'NALISHI TALABALARINI KASBIY TAYYORLASHDA FIZIKA FANINI RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR ASOSIDA O'QITISHNING DIDAKTIK KLASTERI **683**
Payzillayev A.N., Ibrohimova G. B. FIZIKA TA'LIMIDA OPTIKA BO'LIMINI ZAMONAVIY **686**

TAJRIBALAR VA KO'RGAZMALI VOSITALAR ASOSIDA O'QITISH METODIKASI
Qo'chqarova M.O., Alijonova G.M., Abdumalikova B.B. FIZIKA TA'LIMIDA NAZARIYA VA AMALIYOT INTEGRATSIYASINING DIDAKTIK ASOSLARI **688**
Zoirov S.X. LABVIEW MUHITIDA ELEKTROMAGNIT SIGNALLAR SPEKTRLARINI RAQAMLI MODELLASHTIRISH **690**
Zoirov S.X., Rizoyeva S.D. FIZIK JARAYONLARNI MODELLASHTIRISHDA MATEMATIK MANTIQIY AMALLARDAN FOYDALANISH METODIKASINI RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR ASOSIDA TAKOMILLASHTIRISH **691**
Salaydinov A.M. UMUMIY O'RTA TA'LIM BOSQICHIDA FIZIKADAN AMALIY MASHG'ULOT DARSLARIDA TADBIQIY MASALALARNI YECHISH **694**
Sanaqulov F.R. ТЕХНИКА ОЛИЙ ТАЪЛИМ МУАССАСАЛАРИДА ФИЗИКАДАН МУСТАҚИЛ ТАЪЛИМНИ ТАШКИЛ ЭТИШНИНГ ЗАМОНАВИЙ ШАКЛЛАРИ ВА УЛАРНИ ҚЎЛЛАШ МЕТОДИКАСИ **696**
Turdiyev U. RAQAMLI TRANSFORMATSIYA SHAROITIDA "MOLEKULYAR FIZIKA" KURSI MAZMUNINI KOMPYUTERLI MODELLASHTIRISH VA VIRTUAL LABORATORIYALAR ASOSIDA TAKOMILLASHTIRISH **699**
Turdiyev U. ARALASH TA'LIM TEXNOLOGIYASI ASOSIDA BO'LAJAK FIZIK MUTAXASSISLARNING KASBIY KOMPETENSIYALARINI RIVOJLANTIRISH METODIKASI ("MOLEKULYAR FIZIKA" KURSI MISOLIDA) **702**
Tursunboyeva N.A. TALABALARNING KREATIVLIK QOBILIYATLARINI LABORATORIYA MASHG'ULOTLARI JARAYONIDA TAKOMILLASHTIRISH METODIKASI **705**
Tursunmetov K.A., Xolboyev Y.X. SEGNETOELEKTRIKLAR QARSHILIGINING TEMPERATURAGA BOG'LIQLIGINI O'RGANISH **708**
U.S. Ismailov, Muxtorjonova M.A. ELEKTR ZANJIRI MAVZUSINI O'QITISHDA GAMIFIKATSIYA ELEMENTLARIDAN FOYDALANISHNING ZAMONAVIY YECHIMLARI (UMUMTA'LIM MAKTABLARI MISOLIDA) **710**
Umirzaqova M.O., Asqaraliyev O., Meliboyev B.V. KASB-HUNAR MAKTABLARIDA ENERGIYA VA RESURSLARNI TEJOVCHI INNOVATSION TEXNOLOGIYALARNI O'QITISHNING O'RNI **712**
Ergashev X.I. FIZIKANI HARBIY-TEXNIK FANLAR BILAN INTEGRATSIYALASH ASOSIDA O'QITISHDA RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR VA BILIM TRANSFERI **713**
Xolmirzayev B.S. FIZIKA DARSLARIDA FORMATIV BAHOLASH ASOSIDA O'QUVCHILARNING KONSEPTUAL TUSHUNISHINI RIVOJLANTIRISH METODIKASI **716**
Yakubova Sh. K., Samadova M. ZAMONAVIY FIZIKA TA'LIMIDA MULTIMEDIA TAQDIMOTLARI VA INNOVATSION TEXNOLOGIYALARIDAN FOYDALANISH **719**
Mamatoxunov Yo.A., Ne`matova M.A. ATOM FIZIKASINING DOLZARB MUAMMOLARINI O'QITISHDA REFLEKTIV PEDAGOGIK TEXNOLOGIYALARNI QO'LLASH VA ULARNING SAMARADORLIGI **721**
Zaynabidinov S.Z, Muxtarov E.K. IKKI O'LCHAMLI POTENSIAL O'RA MODELINI KOMPYUTER MODELLASHTIRISH ORQALI O'QITISH **723**
Imomov B.U., Jumaboyeva S.M, Norbekova X.A. UMUMIY O'RTA TA'LIM MAKTABLARIDA FIZIKA FANINING ELEKTR BO'LIMINI ÓQITISHDA RAQAMLI TEXNOLOGIYALARDAN FOYDALANISH METODIKASINI TAKOMILLASHTIRISH **726**
Abduraximov A., Ismoilov U., Yusufbekova M. U. ATOM YADROSINING TUZILISHI VA XOSSALARINI O'RGANISH METODLARI HAMDA ZAMONAVIY TEXNOLOGIYALAR **729**

Xakimov A., Khabibullayeva D.D. ZAMONAVIY FIZIKANING DOLZARB MUAMMOLARINI YECHISHDA METAKOGNITIV USULLARDAN FOYDALANISH (MEXANIKA MISOLIDA) **730**
Abduraxmonov M, Narzullayev X.L. BUTUN OLAM TORTISHISH QONUNI: FIZIK MOHIYATI, MATEMATIK IFODASI VA ZAMONAVIY AHAMIYATI **732**
Kayumova M.R., Vaxabov K.I., Islamov B.X. YOPISHQOQLIK KOEFFITSIYENTINI STOKS USULIDA ANIQLASH'' TAJRIBASINI TEXNOLOGIK JARAYONLAR ASOSIDA O'QITISH **735**
Jamolov P.U. EXACT DEHNEN-(1,4,0) HALO COMPACT STARS IN LINEAR *f*(*R*,*T*) GRAVITY VIA MINIMAL GEOMETRIC DEFORMATION **738**
Jamolov P.U. TEACHING THE DARK MATTER PROBLEM WITH THE DEHNEN-(1,4,0) MASS FUNCTION: FROM NEWTONIAN ROTATION CURVES TO A RELATIVISTIC STAR MODEL **740**
Po'latova N.S. OPTIKA FANINI O'QITISHDA FIZIK EKSPERIMENTLAR VA RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR YORDAMIDA TALABALARNING KASBIY KOMPETENSIYALARINI TAKOMILLASHTIRISH **742**
Zoirov S.X., Rizoyeva S.D. FIZIK JARAYONLARNI MODELLASHTIRISHDA MATEMATIK MANTIQIY AMALLARDAN FOYDALANISH METODIKASINI RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR ASOSIDA TAKOMILLASHTIRISH **744**
Xoliqulova S. NANOELEKTRONIKA FANINI O'QITISHNING PEDAGOGIK MODELI VA UNING SAMARADORLIGINI BAHOLASH MEZONLARI **746**
Babaxodjayev U.S., Ismanova O.T., Ergashev B.F., Shamsiddinova S.M. UMUMIY O'RTA TA'LIM MAKTABLARIDA FIZIKA O'QITISHDA MINI-LOYIHALARDAN FOYDALANISH **748**
Xakimov A., Orifjonova Z. M. KASB-HUNAR MAKTABLARIDA FIZIKA FANINI STE(R-ESEARCH TADQIQOT)AM INTEGRATSIYASI ASOSIDA O'QITISHNING ZAMONAVIY MUAMMOLARI VA YECHIMLARI **751**
Juraev F.I. DIDACTIC OPPORTUNITIES OF NON-STANDARD AND OLYMPIAD PROBLEMS FOR DEVELOPING CREATIVE THINKING IN PHYSICS EDUCATION AT ACADEMIC LYCEUMS **753**
Vaxabov K.I., Kayumova M.R., Islamov B.X. FIZIKA FANINI O'QITISHDA YANGI LABORATORIYALARNI JORIY QILISH ZARURIYATI **756**
Egamberdiyeva O.SH. FIZIKA FANINI O'QITISHDA SUN'IY INTELLEKT VA RAQAMLI TA'LIM TEXNOLOGIYALARIDAN FOYDALANISHNING METODIK ASOSLARI **758**
Panayev D.U. ENERGIYA TEJAMKORLIGINI TA'LIMDA O'QITISH **760**
Zaynolobidinova X. GENERATIV SUN'IY INTELLEKT YORDAMIDA MATEMATIKA VA FIZIKA FANLARINI INTERAKTIV O'QITISH USULLARINI TAKOMILLASHTIRISH **765**
Mavlanov O. GRAFIK DIZAYN UCHUN SUN'IY INTELLEKT ASOSIDA OBYEKT RANGINI AVTOMATIK TANLASH DASTURINI ISHLAB CHIQISH VA TADQIQ QILISH **766**
Shukurov O.B. STRUCTURAL MODEL OF PROFESSIONAL-PRACTICAL COMPETENCE OF CHEMICAL ENGINEERING STUDENTS: A CDIO-ALIGNED APPROACH **768**
Shukurov B.O'. KIMYO KORXONALARI TEXNOLOGIK JARAYONLARIDA ELEKTROTEXNIKA BILIMLARINING TATBIQINI KASBGA YO'NALTIRILGAN MASALALAR TIZIMI **773**
Islomova M., Imomov A. REMAINDER TERMS AND A SECOND THRESHOLD IN THE SURVIVAL LAW OF THE CRITICAL BELLMAN–HARRIS PROCESS **776**
Nurmatova D.J. BO'LAJAK FIZIKA O'QITUVCHILARINI ILMIY-TADQIQOT **778**

FAOLIYATIGA TAYYORLASHNING METODOLOGIK ASOSLARI
Jumyev N.A. O‘QUVCHINI AMALIY FAOLIYATINI FAOLLASHTIRISHDA KOMPYUTER DASTURLARIDAN FOYDALANISH **780**
Odilov Y.J. FIZIKA AMALIY MASHG‘ULOTLARIDA MATLAB DASTURIDAN FOYDALANISH. **783**