UDK 538.9

NANOELEKTRONIKA MATERIALLARI: XOSSALARI, TURLARI VA QO‘LLANILISH SOHALARI

M.X. Boboqulova

Osiyo Xalqaro Universiteti “Umumtexnik fanlar” kafedrasi assisenti

E-mail: muhtaramboboqulova607@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu ilmiy maqolada nanoelektronika sohasida foydalaniladigan ilg‘or materiallar, ularning fizik-kimyoviy xossalari, ishlab chiqarish texnologiyalari va zamonaviy elektron qurilmalarda qo‘llanilishi keng yoritilgan. Nanoo‘lchamli materiallarning strukturaviy, elektr, magnit va optik xususiyatlari tahlil qilinadi. Shuningdek, nanoelektronikaning amaliy tarmoqlari – kvant nuqtalar, nanotellur, grafen asosidagi texnologiyalar, 2D-materiallar va mo‘ljallangan materiallar asosida qurilgan tranzistorlar haqida so‘z yuritiladi. Maqola, shuningdek, ekologik barqarorlik va nanomateriallar bilan ishlashdagi xavfsizlik masalalarini ham qamrab oladi.

Kalit so‘zlar: Nanoelektronika, nanomateriallar, yarim o‘tkazgichlar, kvant effektlar, grafen, nanotellur, tranzistor, 2D-materiallar, mo‘ljallangan materiallar, nanoteknologiya, elektr o‘tkazuvchanlik, kvant nuqtalar, MOSFET, nanoqurilmalar.

Аннотация. В данной научной статье представлен всесторонний обзор современных материалов, используемых в области наноэлектроники, их физико-химических свойств, технологий производства и применения в современных электронных устройствах. Анализируются структурные, электрические, магнитные и оптические свойства наноматериалов. Также обсуждаются практические направления наноэлектроники — квантовые точки, нанотеллур, технологии на основе графена, 2D-материалы и транзисторы, созданные на основе инженерных материалов. В статье также рассматриваются вопросы экологической устойчивости и безопасности при работе с наноматериалами.

Ключевые слова: наноэлектроника, наноматериалы, полупроводники, квантовые эффекты, графен, нанотеллур, транзистор, 2D-материалы, конструкционные материалы, нанотехнологии, электропроводность, квантовые точки, МОП-транзисторы, наноустройства.

Abstract. This scientific article provides a comprehensive overview of advanced materials used in nanoelectronics, their physical and chemical properties, manufacturing technologies, and applications in modern electronic devices. The structural, electrical, magnetic, and optical properties of nanoscale materials are analyzed. It also discusses the practical applications of nanoelectronics, including quantum dots, nanotellurium, graphene-based technologies, 2D materials, and

ISSN 3030-3907

transistors based on engineered materials. The article also addresses environmental sustainability and safety issues when working with nanomaterials.

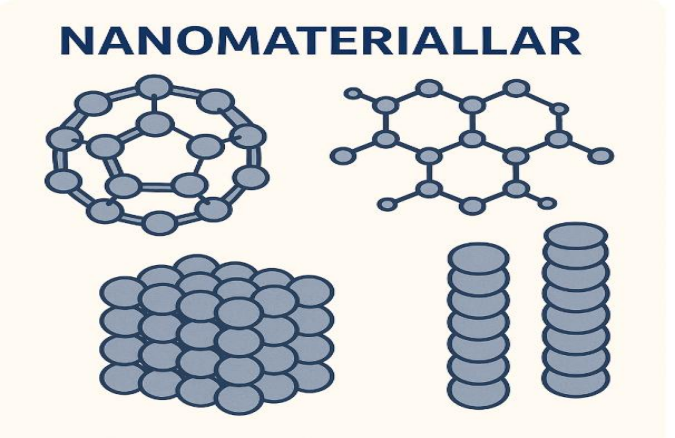
Keywords: Nanoelectronics, nanomaterials, semiconductors, quantum effects, graphene, nanotellurium, transistor, 2D materials, engineered materials, nanotechnology, electrical conductivity, quantum dots, MOSFET, nanodevices.

Kirish

Nanoelektronika — bu elektronika va nanoteknologiyaning kesishgan sohasi bo‘lib, elektron qurilmalarni nanoo‘lchamlarda loyihalash va ishlab chiqarishni o‘z ichiga oladi. Ushbu sohaning rivojlanishi 20-asr oxirlariga to‘g‘ri kelib, hozirgi kunda u sun’iy intellekt, kvant hisoblash, tibbiy diagnostika va axborot texnologiyalarida muhim o‘rin egallamoqda. Nanoelektronika uchun ishlatiladigan materiallar qurilmalarning ishlash tezligi, energiya samaradorligi va hajmiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Shuning uchun ham yangi nanomateriallarni izlash va ularning xossalarini chuqur o‘rganish bugungi kundagi dolzarb ilmiy yo‘nalishlardan biridir.Maqolada nanoelektronikada foydalaniladigan ilg‘or materiallar va ularning xossalari keng tahlil qilindi. Ushbu materiallar asosida yaratilgan qurilmalar insoniyatning ko‘plab ehtiyojlarini ta’minlashga xizmat qilmoqda: tibbiyotda tezkor diagnostika, kompyuter texnologiyalarida yuqori unumdorlik, va ekologik muammolarning texnologik yechimlari. Kelajakda bu materiallar asosida yanada samarali va energiya tejovchi qurilmalar ishlab chiqilishi kutilmoqda.Ushbu ilmiy maqolada nanoelektronika sohasida foydalaniladigan ilg‘or materiallar, ularning fizik-kimyoviy xossalari, ishlab chiqarish texnologiyalari va zamonaviy elektron qurilmalarda qo‘llanilishi keng yoritilgan. Nanoo‘lchamli materiallarning strukturaviy, elektr, magnit va optik xususiyatlari tahlil qilinadi. Shuningdek, nanoelektronikaning amaliy tarmoqlari – kvant nuqtalar, nanotellur, grafen asosidagi texnologiyalar, 2D-materiallar va mo‘ljallangan materiallar asosida qurilgan tranzistorlar haqida so‘z yuritiladi. Maqola, shuningdek, ekologik barqarorlik va nanomateriallar bilan ishlashdagi xavfsizlik masalalarini ham qamrab oladi.(Nanoelektronika fanining markazida nanoo‘lchamda sodir bo‘ladigan fizik jarayonlar turadi. Nano miqyosda (1–100 nanometr) jismlarning fizik-kimyoviy xossalari makro miqyosdagilardan sezilarli darajada farq qiladi. Nanohajmdagi jismlarda atomlarining katta qismi sirtga yaqin bo‘lib, ularning sirt energiyasi va kimyoviy faolligi yuqori bo‘ladi. Elektronlar, fotonlar va boshqa zarralar harakati kvant mexanik qonunlariga bo‘ysunadi va energiya sathlari diskret (uzluksiz emas) holga keladi. Nano miqyosdagi materiallar orqali zarralar klassik fizika qonunlariga zid ravishda potensial to‘siqlardan o‘tib ketishi mumkin.Nanoelektronikada elektronlar harakatini klassik Nyuton qonunlari bilan emas, balki kvant mexanikasi asosida tavsiflash kerak bo‘ladi. Bu esa quyidagi muhim tushunchalarni kiritadi: Elektronlarning atom

ISSN 3030-3907

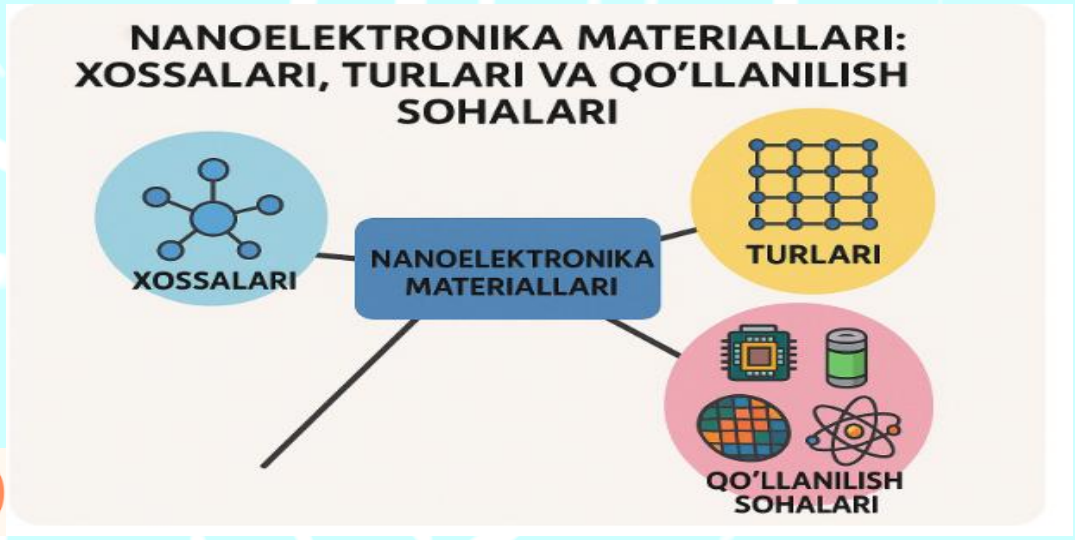
yadrosi atrofida harakatlanuvchi orbitasi. Nanoelektron qurilmalarda bu radiusga teng yoki kichik bo‘lgan strukturalar kvant cheklanish holatida bo‘ladi.



Elektronlarning to‘lqin xossalari hisobga olinadi. Elektronlar to‘lqin sifatida interferensiya va difraksiya holatlariga uchraydi. Nanohajmda elektronlar energiyasi uzluksiz emas, balki kvantlashgan sathlarga ega bo‘ladi. Bu hodisa ayniqsa kvant nuqtalarda, nanotellarda yaqqol kuzatiladi.Klassik fizikaga ko‘ra, elektron biror to‘siq energiyasidan past energiyaga ega bo‘lsa, u to‘siqni yenga olmaydi. Ammo kvant mexanikada bu elektron to‘siq orqali “tunneling” qilib o‘tishi mumkin. Tunneling effekti nanoelektron qurilmalarning ishlashiga asos bo‘lib xizmat qiladi. Ayniqsa, kvant hisoblash va yuqori aniqlikdagi mikroskopiyada bu effektning amaliy ahamiyati beqiyos.Elektronlarning harakati nanoo‘lchamda ballistik transport rejimida bo‘lishi mumkin. Bu rejimda elektronlar atomlar bilan deyarli to‘qnashmasdan, erkin harakat qiladi. Ballistik transport — zamonaviy nanoelektron tranzistorlar, ayniqsa grafen asosidagi FET (field-effect transistor)larda asosiy mexanizm hisoblanadi.Nanoelektronikada mo‘ljallangan materiallar yaratish orqali kerakli elektr, magnit va optik xossalarni olish mumkin. Kvant struktura orqali modifikatsiya qilingan materiallar yuqori samaradorlikka ega nanoelektron qurilmalarning asosini tashkil qiladi.Nanoelektron qurilmalarning ishlash samaradorligi ko‘p jihatdan ular asosida foydalanilgan materiallarning fizik-kimyoviy xossalariga bog‘liqdir. An’anaviy ravishda kremniy (Si) nanoelektronikada yetakchi o‘rinni egallab kelgan bo‘lsa-da, bugungi kunda turli yangi nanomateriallar, xususan grafen, karbon nanotrubkalar, metall oksidlar, 2D materiallar va kompozit strukturalar katta qiziqish uyg‘otmoqda.Nanoelektronikada kremniydan foydalanish davom etayotgan bo‘lsa-da, uning fizik cheklovlari tufayli yangi materiallarga ehtiyoj tug‘ilmoqda. Masalan, kremniy asosida qurilgan MOSFET tranzistorlar 5 nm chegarasiga yaqinlashib qolgan.Grafen — bu bitta atom qalinligidagi uglerod atomlarining geksagonal panjarasidan iborat 2D materialdir. Uning o‘ziga xos xossalari quyidagilar:juda yuqori elektr o‘tkazuvchanlik,issiqlik o‘tkazuvchanlik rekord darajada,egiluvchanlik va mustahkamlik,optik shaffoflikdir.Grafen

ISSN 3030-3907

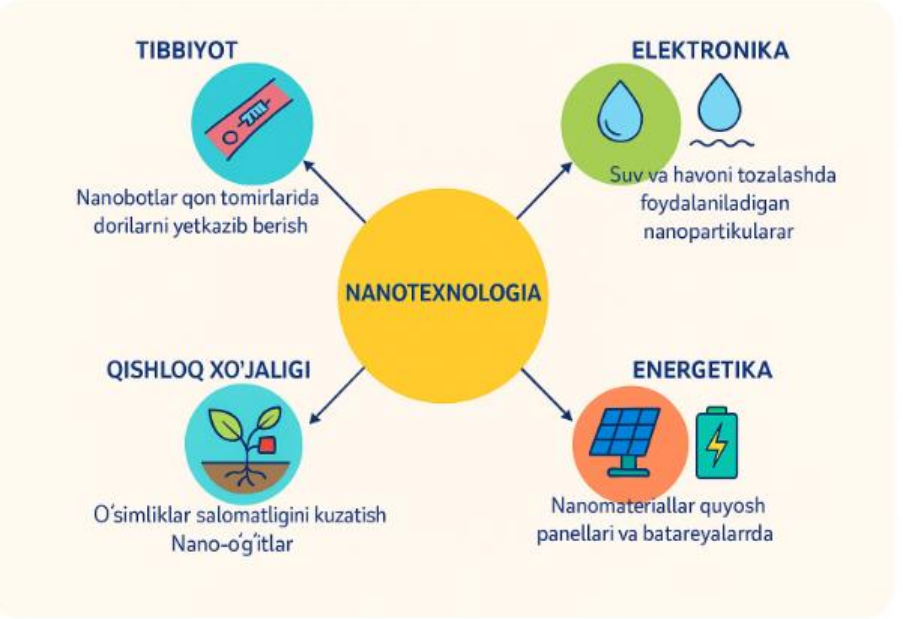
nanoelektron qurilmalar uchun istiqbolli alternativ material sifatida ko‘rilmoqda. Lekin, u “bandgap”ga ega emasligi sababli, uning tranzistorlarda to‘liq o‘rni hali kremniy bilan raqobat qila olmaydi.Karbon nanotrubkalar — bu bir yoki bir nechta grafen qatlamlarining silindrsimon shaklda o‘ralgan strukturalaridir. Metall oksidlar, xususan ZnO, TiO_2, SnO_2, elektronika, optoelektronika va sensor texnologiyalarida keng qo‘llaniladi.Grafendan keyin eng ko‘p o‘rganilgan 2D materiallar — bu MoS_2 (Molibden disulfid), WS_2 (Volfram disulfid) va h-BN (Geksagonal bor nitrid).h-BN esa elektr izolyator sifatida ishlatiladi va grafen asosidagi qurilmalarda oraliq qatlam sifatida qo‘llanadi.



Nanokompozitlar — bu turli nanomateriallarning kombinatsiyasi bo‘lib, yangi, yaxshilangan xossalarga ega materiallarni yaratadi. Nanokompozitlar egiluvchan elektronika, biosensorlar va mikrosxemalarning dielektrik qatlamlarida keng ishlatiladi.Nanoelektron qurilmalarning rivoji bevosita yangi materiallarning kashf etilishi va ular asosida mos texnologiyalar ishlab chiqilishiga bog‘liq. An’anaviy kremniy o‘z pozitsiyasini saqlab qolayotgan bo‘lsa-da, grafen, karbon nanotrubkalar, 2D materiallar va metal oksidlar nanoelektronika uchun yangi ufqlarni ochmoqda. Har bir material o‘ziga xos afzallik va cheklovlarga ega bo‘lib, ularni kombinatsiyalash orqali maksimal samaradorlikka erishish mumkin.Nanoelektronika sohasida kvant strukturalar — kvant nuqtalar (quantum dots) va nanotellar (nanowires) muhim ahamiyatga ega. Bu strukturalar elektronlar harakatining fazoviy chegaralanishi tufayli kvant mexanik effektlarni yaqqol namoyon etadi. Ushbu materiallar nafaqat yuqori aniqlikli elektron qurilmalar, balki optoelektronika, kvant hisoblash va biotibbiyotda ham keng qo‘llanilmoqda.Kvant nuqta — bu uch o‘lchovda ham kvant cheklanishiga ega bo‘lgan, ya’ni elektronlar barcha yo‘nalishlarda "qamalgan" bo‘lgan nanozarrachadir. Ular odatda 2-10 nm o‘lchamda bo‘lib, energetik sathlari kvant mexanik qonunlariga ko‘ra kvantlangan bo‘ladi.Kvant nuqtalar turli to‘lqin uzunligida yorug‘lik chiqaradi. Shu sababli ular LED (yoritkich diodlar), kvant

ISSN 3030-3907

nuqtali lazerlar va quyosh elementlarida keng qo‘llaniladi.Kvant nuqtalarning rangli va fotostabil bo‘lishi ularni tirik hujayralarda kuzatish uchun ideal vosita qiladi.Kvant nuqtalar — kvant bitlar (qubit) uchun istiqbolli elementlardir. Ular bir vaqtning o‘zida 0 va 1 holatlarni ifodalashi mumkin, bu esa an’anaviy kompyuter imkoniyatlaridan ancha ustun.Nanotellar — bu bir yoki ikki yo‘nalishda kvant cheklangan, uzunligi esa o‘nlab yoki yuzlab nanometrga teng bo‘lgan strukturalardir. Ular yuqori sirt/volume nisbati va ballistik transport imkoniyatlari bilan ajralib turadi.Nanotellarda elektronlar harakati cheklanganligi sababli sath holatlari va kvant interferensiya hodisalari dominant holatga aylanadi. Shu sababli ular nanoFET (nano-tranzistor), nanosensor va lazerlarda foydalaniladi.Nanotellar asosida yaratilgan tranzistorlar, masalan, nanowire-FET, signalni yuqori aniqlikda uzatadi va kam energiya sarflaydi.Nanotellar kimyoviy va biologik signalga sezgirligi yuqori bo‘lgani uchun gaz, toksinlar, DNK, viruslar aniqlashda keng qo‘llaniladi.LEDlar, fotodetektorlar va lazerlar nanotellarga asoslangan strukturalarda yuqori samaradorlik ko‘rsatadi.



Kvant nuqtalar va nanotellar nanoelektron qurilmalarni yangi bosqichga olib chiqayotgan zamonaviy kvant strukturalaridir. Ularning fizik xossalari, ishlab chiqarish texnologiyasi va amaliy qo‘llanilishi ilm-fanning ko‘plab yo‘nalishlarida inqilobiy o‘zgarishlarni yuzaga keltirmoqda. Bu strukturalar asosida yaratilayotgan qurilmalar — tezkor, samarali va energetik jihatdan tejamkor bo‘lib, nanoelektronika taraqqiyotining tayanchiga aylanmoqda.Nanoelektron qurilmalar ichida tranzistor eng muhim va asosiy element hisoblanadi. U kompyuter protsessorlaridan tortib, har qanday raqamli elektron qurilmada axborotni uzatish, kuchaytirish yoki almashtirish funksiyalarini bajaradi. Nanoo‘lchamli tranzistorlarning paydo bo‘lishi mikroelektronikaning nanoelektronikaga o‘tishidagi hal qiluvchi bosqich bo‘ldi.Nanoelektronika tranzistorlari — raqamli

ISSN 3030-3907

texnologiyalar taraqqiyotining yuragi hisoblanadi. Ularning evolyutsiyasi mikrotexnologiyalardan nanoo‘lchamli tizimlargacha bo‘lgan yo‘lni bosib o‘tdi. FinFET, GAAFET va CNT-FET kabi arxitekturaviy innovatsiyalar nafaqat o‘lchamni kamaytirish, balki samaradorlik va energiya tejamkorligini ham oshirish imkonini bermoqda. Tranzistorlarning keyingi bosqichi kvant va spin asosidagi tizimlar bo‘lishi ehtimoldan xoli emas.Nanoelektron qurilmalar — bu nanoo‘lchamdagi materiallar va strukturalar asosida yaratilgan elektron komponentlar bo‘lib, ularning ishlashi klassik emas, balki kvant fizikasi qonunlariga asoslanadi. Bunday qurilmalar informatsiyani saqlash, uzatish va qayta ishlash tizimlarida, shuningdek, sun’iy intellekt, neyromorfik tizimlar va kvant hisoblashda keng qo‘llanilmoqda.Nano-tranzistorlar MOSFET prinsipida ishlaydi, lekin kanal uzunligi 10 nm yoki undan ham kichik bo‘lgan holatlarda tranzistor klassik emas, balki kvant tunneling, elektron to‘lqin interferensiyasi kabi hodisalarga asoslanadi.Nanosensorlar — bu fizikaviy, kimyoviy yoki biologik omillarni sezish va signalga aylantirishga mo‘ljallangan qurilmalardir. Memristor — bu qarshiligi signalga bog‘liq holda o‘zgaradigan passiv nanoelementdir. U signal tarixini “eslab qoladi”, shuning uchun yodlash va neyral hisoblash uchun qulay.Nanoelektron qurilmalarning samaradorligi va ishonchliligi ko‘p jihatdan ishlatiladigan materiallarning xossalariga bog‘liq. Materiallar ularning o‘lchami nano miqyoslarga tushganida o‘zgaruvchi fizik-kimyoviy va kvant xossalari bilan ajralib turadi. Bu bo‘limda nanoelektron qurilmalar uchun zarur bo‘lgan metallar, yarim o‘tkazgichlar va dielektriklarning asosiy turlari, xossalari va qo‘llanilishi yoritiladi.Nanoelektronikaning asosiy materiali bu yarim o‘tkazgichlardir. Ular elektr o‘tkazuvchanlik va izolyatsiya oralig‘ida joylashgan moddalardir. Tranzistor, diod, sensor va boshqa qurilmalar uchun asosdir.Dielektriklar (izolyatorlar) elektr toki o‘tkazmaydi, lekin kuchlanish ostida zaryadni polarizatsiya qiladi. Nanoelektron qurilmalar samaradorligi va ishonchliligi ularning material tanloviga bevosita bog‘liq. Har bir material turi — metall, yarim o‘tkazgich yoki dielektrik — o‘ziga xos fizik va kimyoviy xossalarga ega. Zamonaviy nanoelektronikada kremniy bilan bir qatorda grafen, molibden disulfid, dielektriklar va metallar kompleks tarzda qo‘llanilmoqda. Texnologik muvofiqlik, termal barqarorlik, kvant effektlarga moslashuvchanlik ushbu materiallar tanlanishida hal qiluvchi ahamiyatga ega.

Xulosa

Nanoelektronika — bu zamonaviy ilm-fan va texnikaning eng ilg‘or yo‘nalishlaridan biri bo‘lib, u nanoo‘lchamdagi materiallar va qurilmalar asosida axborotni saqlash, uzatish va qayta ishlash texnologiyalarini o‘z ichiga oladi. Ushbu sohaning asosi nanoo‘lchamli materiallar — atom va molekula darajasida boshqarilishi mumkin bo‘lgan metallar, yarim o‘tkazgichlar, dielektriklar va

ISSN 3030-3907

ularning strukturalaridir.Maqolada ko‘rib chiqilganidek, nanoelektronikada ishlatiladigan materiallar klassik fizik qonunlari doirasidan chiqib, kvant mexanikasi asosidagi xatti-harakatlar bilan tavsiflanadi. Xususan, tranzistorlar, memristorlar, nanosensorlar, kvant qurilmalar kabi nanoelektron komponentlarning ishlashi kvant tunneling, superpozitsiya, kvant bog‘lanish, sirt ta’sirlari, o‘lcham effektlari kabi murakkab hodisalarga asoslanadi.Materiallar tanlovi qurilma samaradorligini bevosita belgilab beradi. Kremniy hanuzgacha eng keng qo‘llanilayotgan yarim o‘tkazgich bo‘lib, u CMOS texnologiyasining negizidir. Biroq, undan tashqari germaniy, galliy arsenid, molibden disulfid, grafen kabi yangi avlod materiallari tranzistorlar, fotodetektorlar, nanosensorlar uchun istiqbolli imkoniyatlar yaratmoqda. Metallar esa yuqori o‘tkazuvchanlik xususiyatlari tufayli kontaktlar, interkonektlar uchun zarur bo‘lib, ularning nanoo‘lchamdagi xossalari (plazmon rezonansi, sirt effekti) qurilmalarning sezuvchanligini va ishlash tezligini oshiradi.Dielektrik materiallar esa, ayniqsa high-k dielektriklar (HfO_2, ZrO_2, Al_2O_3), yuqori integratsiyalashgan chiplar uchun gate izolyator sifatida ishlatiladi va transistorlar samaradorligini sezilarli darajada oshiradi.Nanoelektronika nafaqat hisoblash texnologiyalari, balki tibbiyot (nano-biosensorlar, implantlar), energetika (nanoquyosh batareyalari, termoelektr generatsiya), xavfsizlik (kvant kriptografiya) va atrof-muhitni monitoring qilish kabi ko‘plab sohalarda innovatsion yechimlar taklif qilmoqda. Ayniqsa, sun’iy intellekt va neyromorfik hisoblash tizimlarida memristorli xotira va grafen asosidagi qurilmalar keng imkoniyatlarga ega.Xulosa qilib aytganda, nanoelektronika materiallari bugungi ilm-fan va texnologiyaning oldingi saflarida turibdi. Ularning tadqiqi va rivoji bilan bog‘liq bo‘lgan muammolar — texnologik ishlab chiqish, ekologik xavfsizlik, iqtisodiy samaradorlik — fundamental va amaliy ilmiy izlanishlarni davom ettirishni talab qiladi. Yaqin kelajakda ushbu yo‘nalishdagi yutuqlar butun axborot sanoati, tibbiyot, biofizika, kommunikatsiya va energetika sohalarida tub o‘zgarishlarni yuzaga keltirishi shubhasiz.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR.

1. Boboqulova, M. X. (2025). QATTIQ JISMLARNING ERISH ISSIQLIGI. Introduction of new innovative technologies in education of pedagogy and psychology, 2(4), 26-32.

2. Boboqulova, M. X. (2025). SUYUQ KRISTALLAR VA ULARNING XOSSALARI. Problems and solutions at the stage of innovative development of science, education and technology, 2(4), 42-49.

3. Boboqulova, M. X. (2025). TIRIK SISTEMALAR TERMODINAMIKASI. Methods of applying innovative and digital technologies in the educational system, 2(4), 20-27.

ISSN 3030-3907

4. Boboqulova, M. X. (2025). YADRO REAKSIYALARIDA SAQLANISH QONUNLARI. Introduction of new innovative technologies in education of pedagogy and psychology, 2(4), 33-39.
5. Boboqulova, M. X. (2025). VAVILOV-CHERENKOV EFFEKTINING FIZIK ASOSLARI VA AMALIY QO ‘LLANILISHI. ИКРО журнал, 15(01), 282-284.
6. M.X. Boboqulova. (2025). IONLANISH VA REKOMBINATSIYA JARAYONLARI. New Modern Researchers: Modern Proposals and Solutions, 2(3), 48–54.

ISSN 3030-3907