

YUQORI INTENSIV YORUG‘LIK CHIQUARUVCHI NANOBO‘YOQLARNI ISHLAB CHIQISHDA FUNKSIONAL NANOMATERIALLARNING TUZILISHI VA OPTIK XUSUSIYATLARINI MODIFIKATSIYALASH

Bo‘riyeva Muhabbat Mamayusuf qizi

Termiz davlat universiteti talabasi

E-mail: mustafo89984@gmail.com

Annotatsiya: Mazkur maqolada yuqori intensiv yorug‘lik chiqaruvchi nanobo‘yoqlarni ishlab chiqishda funksional nanomateriallarning tuzilishi, morfologiyasi hamda optik xususiyatlarini modifikatsiyalashning ilmiy asoslari tahlil qilingan. Nanomateriallarning zarracha o‘lchami, kristall tuzilishi, sirt holati va kimyoviy tarkibidagi o‘zgarishlarning fotolyuminessensiya intensivligi, kvant samaradorligi, emissiya spektri hamda optik barqarorlikka ta’siri yoritilgan. Shuningdek, dopant elementlar bilan legirlash, sirtni funksionallashtirish, kompozit nanostrukturalarni shakllantirish va sintez parametrlarini optimallashtirish orqali nanobo‘yoqlarning yorug‘lik chiqarish samaradorligini oshirish imkoniyatlari ilmiy nuqtai nazardan baholangan. Tadqiqot natijalari energiya tejamkor optoelektron qurilmalar, LED texnologiyalari, xavfsizlik markirovkalari, bioimaging, fotonika hamda zamonaviy funksional qoplamalar yaratishda qo‘llaniladigan yuqori samarali nanobo‘yoqlarni ishlab chiqishning istiqbolli yo‘nalishlarini belgilab beradi.

Kalit so‘zlar: nanobo‘yoqlar, funksional nanomateriallar, optik xususiyatlar, fotolyuminessensiya, lyuminessensiya, kvant samaradorligi, emissiya spektri, sirt modifikatsiyasi, nanokompozitlar, dopantlar, optoelektronika, LED texnologiyasi, fotonika, nanostrukturalar, optik materiallar.

Abstract: This article investigates the structural modification and optical property engineering of functional nanomaterials for the development of high-intensity luminescent nanocoatings. Particular attention is devoted to the influence of particle

size, crystal structure, surface chemistry, and compositional optimization on photoluminescence intensity, quantum efficiency, emission characteristics, and optical stability. Advanced modification approaches, including dopant incorporation, surface functionalization, heterostructure formation, and synthesis parameter optimization, are analyzed as effective strategies for enhancing the luminescent performance of nanocoatings. The study highlights the relationship between nanostructural architecture and optical functionality, providing a scientific basis for designing next-generation luminescent materials. The obtained findings demonstrate the significant potential of functional nanomaterials for applications in optoelectronics, solid-state lighting, photonic devices, security coatings, bioimaging technologies, and advanced energy-efficient optical systems.

Keywords: luminescent nanocoatings, functional nanomaterials, optical properties, photoluminescence, quantum efficiency, emission spectrum, surface modification, nanocomposites, dopant engineering, optoelectronics, photonics, LED technology, nanostructures, advanced optical materials.

Аннотация: В данной статье рассмотрены научные основы модификации структуры и оптических свойств функциональных наноматериалов при разработке высокоинтенсивных светоизлучающих нанокрасок. Проанализировано влияние размера наночастиц, кристаллической структуры, состояния поверхности и химического состава на интенсивность фотолюминесценции, квантовую эффективность, характеристики спектра излучения и оптическую стабильность материалов. Особое внимание уделено современным методам модификации, включая легирование, функционализацию поверхности, формирование нанокомпозитных структур и оптимизацию параметров синтеза, позволяющим существенно повысить эффективность светоизлучения. Полученные результаты демонстрируют перспективность применения функциональных наноматериалов при создании современных оптоэлектронных устройств, светодиодных технологий, фотонных систем,

защитных покрытий, биовизуализации и других высокотехнологичных оптических материалов нового поколения.

Ключевые слова: нанокраски, функциональные наноматериалы, оптические свойства, фотолюминесценция, квантовая эффективность, спектр излучения, модификация поверхности, нанокомпозиты, легирование, оптоэлектроника, фотоника, светодиодные технологии, наноструктуры, современные оптические материалы.

KIRISH

Nanotexnologiyalar XXI asr ilm-fanining eng jadal rivojlanayotgan yoʻnalishlaridan biri boʻlib, ular materialshunoslik, optoelektronika, fotonika, biotibbiyot, energetika hamda zamonaviy sanoatning koʻplab tarmoqlarida tub texnologik oʻzgarishlarni yuzaga keltirmoqda. Nanometr oʻlchamdagi zarrachalarning oʻziga xos fizik-kimyoviy va optik xususiyatlari anʼanaviy materiallarga nisbatan mutlaqo yangi funksional imkoniyatlarni namoyon etadi. Ayniqsa, yorugʻlik chiqaruvchi funksional nanomateriallar asosida yaratilayotgan nanoboʻyoqlar yuqori yorqinlik, uzoq muddatli barqarorlik, kam energiya sarfi va yuqori kvant samaradorligi bilan ajralib turadi. Shu sababli mazkur materiallar zamonaviy LED texnologiyalari, displeylar, optik sensorlar, fotonik qurilmalar, himoya markirovkalari, bioimaging tizimlari hamda intellektual qoplamalar ishlab chiqarishda muhim ahamiyat kasb etmoqda. Soʻnggi yillarda yuqori intensiv yorugʻlik chiqaruvchi nanoboʻyoqlarni yaratishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar jadal rivojlanmoqda. Biroq nanoboʻyoqlarning optik samaradorligi faqat ularning kimyoviy tarkibiga emas, balki nanostrukturaning geometrik oʻlchamlari, kristall panjarasining mukammalligi, sirt energiyasi, nuqsonlar konsentratsiyasi, zarrachalararo oʻzaro taʼsir hamda sirt holatiga ham bevosita bogʻliq. Shu bois nanomateriallarning tuzilishini boshqarish va ularning optik xususiyatlarini maqsadli modifikatsiyalash zamonaviy materialshunoslikning eng dolzarb ilmiy muammolaridan biri hisoblanadi. Funksional nanomateriallarning optik xususiyatlari kvant oʻlcham effekti, elektronlarning energiya sathlari, eksitonlarning rekombinatsiyasi, fotolyuminessensiya jarayonlari hamda sirt plazmon rezonansi kabi

murakkab fizik hodisalar bilan belgilanadi. Nanometr diapazoniga o'tilganda elektronlarning harakati cheklanadi, energiya zonalari o'zgaradi va buning natijasida materialning yorug'likni yutishi hamda chiqarish xususiyatlari sezilarli darajada yaxshilanadi. Aynan ushbu qonuniyatlardan foydalanish orqali emissiya intensivligi yuqori, spektral tavsifi boshqariladigan va tashqi muhit ta'siriga chidamli nanobo'yoqlarni ishlab chiqish imkoniyati yuzaga keladi. Hozirgi vaqtda nanobo'yoqlarni takomillashtirishda sirtni funksionallashtirish, dopant elementlar bilan legirlash, yadro-qobiq (core-shell) nanostrukturalarini hosil qilish, gibrid nanokompozitlar yaratish hamda sintez parametrlarini optimallashtirish kabi zamonaviy yondashuvlardan keng foydalanilmoqda. Ushbu texnologiyalar nanomateriallarning yorug'lik chiqarish samaradorligini oshirish, energiya yo'qotishlarini kamaytirish va fotostabilligini yaxshilash imkonini beradi. Mazkur tadqiqotning maqsadi yuqori intensiv yorug'lik chiqaruvchi nanobo'yoqlarni ishlab chiqishda funksional nanomateriallarning tuzilishi hamda optik xususiyatlarini modifikatsiyalashning ilmiy asoslarini tahlil qilish, nanostrukturalarning optik parametrlariga ta'sir etuvchi omillarni aniqlash va yuqori samaradorlikka ega nanobo'yoqlarni yaratishning istiqbolli texnologik yechimlarini ilmiy jihatdan asoslashdan iborat. Tadqiqot vazifalari sifatida funksional nanomateriallarning tuzilish xususiyatlarini tahlil qilish, optik parametrlarni modifikatsiyalash usullarini o'rganish, yorug'lik chiqarish intensivligini oshirish mexanizmlarini aniqlash hamda zamonaviy nanobo'yoqlarning amaliy qo'llanilish istiqbollari baholash belgilandi.

ASOSIY QISM

Funksional nanomateriallar kamida bitta o'lchami 1–100 nanometr oralig'ida bo'lgan zarrachalardan tashkil topgan bo'lib, ularning fizik, kimyoviy va optik xossalari makroskopik materiallardan sezilarli darajada farq qiladi. Buning asosiy sababi zarrachalar o'lchamining kichrayishi natijasida sirt atomlari ulushining ortishi, kvant cheklanish effekti hamda elektron energetik holatlarining o'zgarishi bilan izohlanadi. Mazkur omillar nanomateriallarning yorug'likni yutish, aks ettirish va emissiya qilish jarayonlariga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Nanobo'yoqlarning samaradorligi avvalo

ularning kristall tuzilishiga bog'liq. Kristall panjaraning mukammalligi ortishi bilan kristall ichidagi nuqsonlar soni kamayadi, bu esa elektron va kovaklarning rekombinatsiya jarayonini samaraliroq kechishiga imkon yaratadi. Natijada fotoluminessensiya intensivligi ortadi, emissiya spektrining aniqligi yaxshilanadi hamda yorug'lik chiqarish samaradorligi sezilarli ravishda oshadi. Nanomateriallar sirtining holati ham optik xossalarning shakllanishida muhim rol o'ynaydi. Nanozarrachalar yuzasida mavjud bo'lgan faol markazlar elektronlarning tutilishi yoki energiyaning issiqlik ko'rinishida yo'qolishiga sabab bo'lishi mumkin. Shu sababli sirtni organik ligandlar, oksid qoplamalar, kremniy dioksidi yoki polimer qatlamlar bilan funksionallashtirish emissiya samaradorligini oshirishning eng samarali usullaridan biri hisoblanadi. Sirt modifikatsiyasi nafaqat optik barqarorlikni oshiradi, balki nanobo'yoqlarning namlik, ultrabinafsha nurlanish va agressiv kimyoviy muhitlarga chidamliligini ham yaxshilaydi. Yorug'lik chiqaruvchi nanobo'yoqlarda dopant ionlardan foydalanish alohida ilmiy ahamiyatga ega. Nodir yer elementlari, jumladan erbiy, yevropiy, terbiy, seriy yoki disprosiy ionlari nanomaterial tarkibiga kiritilganda yangi energetik sathlar hosil bo'ladi. Ushbu sathlar elektronlarning rekombinatsiya ehtimolini oshirib, emissiya spektrini boshqarish imkonini beradi. Natijada ko'k, yashil, qizil yoki oq rang diapazonida yuqori intensiv yorug'lik chiqaruvchi nanobo'yoqlar sintez qilinadi. So'nggi yillarda yadro-qobiq tipidagi nanostrukturalar alohida ilmiy qiziqish uyg'otmoqda. Bunday strukturalarda ichki yadro yorug'lik chiqaruvchi asosiy faol komponent bo'lsa, tashqi qobiq sirt nuqsonlarini kamaytirish, tashqi muhitdan himoyalash hamda energiya yo'qotishlarini minimallashtirish vazifasini bajaradi. Shu sababli core-shell nanostrukturalar oddiy nanozarrachalarga nisbatan ancha yuqori kvant samaradorligi va uzoq muddatli optik barqarorlikni ta'minlaydi. Funksional nanomateriallarning optik xususiyatlarini modifikatsiyalashda sintez texnologiyasining o'rni ham muhimdir. Sol-gel usuli, gidrotermal sintez, solvotermal usul, kimyoviy cho'ktirish, bug' fazasida cho'ktirish hamda lazer ablatsiyasi kabi texnologiyalar nanozarrachalarning o'lchami, shakli va kristall tuzilishini boshqarish imkonini beradi. Sintez harorati, reaksiya davomiyligi,

pH muhiti hamda prekursorlar konsentratsiyasining o'zgarishi optik parametrlarning sezilarli darajada yaxshilanishiga olib keladi. Shunday qilib, funksional nanomateriallarning tuzilishi va optik xususiyatlari o'rtasida uzviy bog'liqlik mavjud. Nanozarrachalar o'lchami, kristall tuzilishi, sirt holati, dopant elementlar va sintez sharoitlarini kompleks boshqarish orqali yuqori intensiv yorug'lik chiqaruvchi, yuqori kvant samaradorligiga ega hamda uzoq muddat barqaror ishlovchi zamonaviy nanobo'yoqlarni yaratish mumkin. Mazkur ilmiy yondashuvlar kelajakda energiya tejankor optoelektron qurilmalar, fotonik tizimlar va innovatsion funksional qoplamalar ishlab chiqishda muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Mazkur tadqiqot yuqori intensiv yorug'lik chiqaruvchi nanobo'yoqlarni ishlab chiqishda funksional nanomateriallarning tuzilishi va optik xususiyatlarini modifikatsiyalashning nazariy hamda amaliy asoslarini o'rganishga qaratilgan. Tadqiqot metodologiyasi zamonaviy materialshunoslik, nanotexnologiya va optik materiallar fizikasi yo'nalishlarida qo'llanilayotgan ilmiy yondashuvlar asosida ishlab chiqilgan bo'lib, unda nazariy tahlil, qiyosiy tahlil, strukturaviy-funksional tahlil, fizik-kimyoviy modellashirish hamda ilmiy manbalarni tizimli umumlashtirish usullaridan foydalanildi. Tadqiqotning dastlabki bosqichida funksional nanomateriallarning fizik-kimyoviy xususiyatlari, kristall tuzilishi, nanozarrachalar o'lchami, sirt morfologiyasi va optik parametrlariga oid mahalliy hamda xorijiy ilmiy adabiyotlar kompleks tahlil qilindi. Mavjud ilmiy natijalar umumlashtirilib, nanomateriallarning yorug'lik chiqarish samaradorligiga ta'sir etuvchi asosiy omillar tizimlashtirildi. Adabiyotlarni tahlil qilishda ilmiylik, ishonchlilik, dolzarblik va zamonaviylik tamoyillariga alohida e'tibor qaratildi. Keyingi bosqichda yuqori intensiv yorug'lik chiqaruvchi nanobo'yoqlarning optik samaradorligini oshirishga xizmat qiluvchi strukturaviy modifikatsiya usullari ilmiy jihatdan baholandi. Bunda nanozarracha o'lchamini boshqarish, kristall panjaradagi nuqsonlarni kamaytirish, sirtni funksionallashtirish, nodir yer elementlari bilan legirlash (doping), yadro-qobiq (core-shell) nanostrukturalarini shakllantirish hamda gibrid nanokompozitlar hosil qilish

usullarining emissiya intensivligi va fotoluminessensiya samaradorligiga ta'siri qiyosiy tahlil qilindi. Tadqiqot metodologiyasining muhim tarkibiy qismi sifatida optik xususiyatlarning nazariy tahlili amalga oshirildi. Bunda kvant cheklanish effekti, elektron va kovaklarning rekombinatsiyasi, energiya sathlari o'rtasidagi o'tishlar, fotoluminessensiya jarayonlari, Stoks siljishi, kvant chiqishi (Quantum Yield) hamda emissiya spektrining shakllanish mexanizmlari zamonaviy ilmiy konsepsiyalar asosida tahlil qilindi. Mazkur yondashuv nanomateriallarning strukturaviy parametrlarini optik xususiyatlar bilan o'zaro bog'liq holda baholash imkonini berdi. Shuningdek, tadqiqot davomida funksional nanomateriallarning sintez texnologiyalari ham metodologik jihatdan o'rganildi. Sol-gel sintezi, gidrotermal va solvotermal sintez, kimyoviy cho'ktirish, mikroemulsiya, bug' fazasida cho'ktirish (CVD), fizik bug'latish (PVD) hamda lazer ablatsiyasi usullarining afzallik va cheklovlari qiyosiy ravishda tahlil qilindi. Har bir sintez usulining nanozarracha o'lchami, kristallik darajasi, dispersligi va optik barqarorligiga ta'siri baholandi. Olingan nazariy natijalar strukturaviy-funksional tahlil asosida umumlashtirilib, yuqori yorug'lik chiqaruvchi nanobo'yoqlarni yaratishning ilmiy modeli ishlab chiqildi. Mazkur modelda nanomaterialning tarkibi, kristall tuzilishi, morfologiyasi, sirt holati hamda optik ko'rsatkichlari o'rtasidagi o'zaro bog'liqlik kompleks ravishda ifodalandi. Bu esa yuqori kvant samaradorligi, fotostabillik va emissiya intensivligiga ega bo'lgan yangi avlod nanobo'yoqlarini loyihalashning ilmiy asoslarini shakllantirish imkonini beradi.

MUAMMO VA UNING TAHLILI

Bugungi kunda energiya tejamkor, ekologik xavfsiz va yuqori samaradorlikka ega optik materiallarni yaratish global ilmiy-texnologik taraqqiyotning ustuvor yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Ayniqsa, LED yoritish tizimlari, displey texnologiyalari, fotonik qurilmalar, optik sensorlar, tibbiy diagnostika, bioimaging, himoya markirovkalari hamda intellektual qoplamalarda qo'llaniladigan yorug'lik chiqaruvchi nanobo'yoqlarga bo'lgan talab yil sayin ortib bormoqda. Biroq mavjud nanobo'yoqlarning ko'pchiligida emissiya intensivligining yetarli darajada emasligi, fotostabillikning pastligi, tashqi muhit ta'sirida degradatsiyaga uchrashi hamda uzoq

muddat ishlash jarayonida optik xususiyatlarning yomonlashuvi kabi muammolar saqlanib qolmoqda. Mazkur muammolarning asosiy sababi nanomateriallarning ichki kristall tuzilishi va sirt holatidagi nomukammalliklar bilan bog'liq. Kristall panjaradagi strukturaviy nuqsonlar, dislokatsiyalar, vakansiyalar va aralashmalar elektronlarning nurlanishsiz rekombinatsiyasini kuchaytiradi. Natijada energiyaning muhim qismi yorug'lik ko'rinishida emas, balki issiqlik shaklida yo'qotiladi. Bu esa fotoluminessensiya intensivligining pasayishiga, kvant samaradorligining kamayishiga hamda materialning amaliy qo'llanish imkoniyatlarining cheklanishiga olib keladi. Yana bir muhim muammo nanozarrachalar o'lchamining bir xil bo'lmashligidir. Sintez jarayonida zarrachalar o'lchamining keng taqsimlanishi emissiya spektrining kengayishiga, rang tozaligining pasayishiga va optik parametrlarning beqaror bo'lishiga sabab bo'ladi. Shu bois nanozarrachalar o'lchamini yuqori aniqlikda boshqarish zamonaviy nanotexnologiyaning eng dolzarb vazifalaridan biri bo'lib qolmoqda. Sirt atomlarining yuqori ulushi ham nanomateriallarning optik xususiyatlariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Nanozarracha yuzasidagi faol markazlar tashqi muhit bilan tez reaksiyaga kirishadi, oksidlanish va agregatsiya jarayonlari kuchayadi. Natijada nanobo'yoqlarning yorug'lik chiqarish samaradorligi pasayadi va ularning ekspluatatsion muddati qisqaradi. Shu sababli sirtni funkcionallashtirish, himoya qobig'i bilan qoplash hamda yadro-qobiq nanostrukturalarini yaratish bugungi kunda eng istiqbolli ilmiy yo'nalishlardan biri sifatida e'tirof etilmoqda. Ilmiy adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, optik xususiyatlarni yaxshilashda nodir yer elementlari bilan legirlash alohida samaradorlikka ega. Erbiy (Er^{3+}), yevropiy (Eu^{3+}), terbiy (Tb^{3+}), seriy (Ce^{3+}) va disprosiy (Dy^{3+}) ionlarining nanomaterial tarkibiga kiritilishi yangi energetik sathlarni hosil qiladi hamda elektron o'tishlarini faollashtiradi. Natijada fotoluminessensiya intensivligi ortadi, emissiya spektri boshqariladi va rang uzatish sifati yaxshilanadi. Biroq legirlovchi elementlarning konsentratsiyasi optimal tanlanmasa, konsentratsion so'nish (concentration quenching) hodisasi yuzaga kelib, aksincha, emissiya samaradorligi pasayishi mumkin. Shu sababli dopant miqdorini ilmiy asosda

optimallashtirish muhim masala hisoblanadi. Bugungi kunda nanobo'yoqlarni yaratishda sun'iy intellekt, kompyuter modellashtirish, mashinaviy o'qitish algoritmlari va yuqori aniqlikdagi hisoblash usullaridan foydalanish istiqbolli yo'nalish sifatida rivojlanmoqda. Ushbu yondashuvlar nanomateriallarning tarkibi va strukturasi bilan optik xususiyatlari o'rtasidagi murakkab bog'liqliklarni oldindan prognoz qilish, optimal sintez parametrlarini tanlash hamda yangi avlod yuqori samarali nanobo'yoqlarni qisqa muddatda loyihalash imkonini beradi. Yuqoridagi tahlillar shuni ko'rsatadiki, yuqori intensiv yorug'lik chiqaruvchi nanobo'yoqlarni ishlab chiqish faqat yangi kimyoviy tarkiblarni yaratish bilangina cheklanmaydi. Buning uchun nanomateriallarning kristall tuzilishi, sirt holati, morfologiyasi, energetik sathlari va optik parametrlarini o'zaro uyg'un holda boshqarishga asoslangan kompleks ilmiy yondashuv talab etiladi. Aynan shunday yondashuv kelajakda yuqori kvant samaradorligiga ega, fotostabil, ekologik xavfsiz va energiya tejankor optik materiallarni yaratishning muhim ilmiy asosini tashkil etadi.

TADQIQOT NATIJALARI VA MUHOKAMA

Tadqiqot davomida funksional nanomateriallarning tuzilishi va optik xususiyatlarini modifikatsiyalash yuqori intensiv yorug'lik chiqaruvchi nanobo'yoqlarning samaradorligini sezilarli darajada oshirishi aniqlandi. Nanozarrachalar o'lchamini optimallashtirish, kristall panjaradagi nuqsonlarni kamaytirish hamda sirtni funksionallashtirish natijasida fotolyuminessensiya intensivligi va kvant samaradorligi yaxshilanishi kuzatildi. Shuningdek, nodir yer elementlari bilan legirlash emissiya spektrini boshqarish va yorug'lik chiqarish barqarorligini oshirishda muhim omil ekanligi ilmiy manbalar tahlili orqali tasdiqlandi. Tahlillar shuni ko'rsatdiki, yadro-qobiq (core-shell) nanostrukturalaridan foydalanish nanozarrachalarni tashqi muhit ta'siridan himoya qiladi hamda energiya yo'qotishlarini kamaytiradi. Natijada nanobo'yoqlarning optik barqarorligi va xizmat qilish muddati ortadi. Bundan tashqari, sintez jarayonida harorat, pH muhiti va reaksiya davomiyligini optimallashtirish nanomateriallarning kristallik darajasi hamda emissiya intensivligiga ijobiy ta'sir ko'rsatishi aniqlandi. Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, funksional

nanomateriallarning tuzilishini kompleks modifikatsiyalash orqali yuqori yorqinlikka ega, energiya tejankor va uzoq muddat barqaror ishlaydigan nanobo‘yoqlarni yaratish mumkin. Bunday materiallar LED texnologiyalari, optoelektronika, fotonika, bioimaging, xavfsizlik markirovkalari va zamonaviy funksional qoplamalarda keng qo‘llanish istiqboliga ega.

XULOSA

Mazkur tadqiqot natijalari funksional nanomateriallarning strukturaviy va optik xususiyatlarini modifikatsiyalash yuqori intensiv yorug‘lik chiqaruvchi nanobo‘yoqlarni yaratishda muhim ilmiy asos ekanligini ko‘rsatdi. Nanozarrachalar o‘lchamini boshqarish, sirtini funksionallashtirish, legirlash va yadro–qobiq nanostrukturalarini hosil qilish yorug‘lik chiqarish samaradorligi hamda optik barqarorlikni sezilarli darajada oshiradi. Shuningdek, sintez parametrlarini optimallashtirish orqali yuqori kvant samaradorligiga ega bo‘lgan funksional nanomateriallarni olish mumkinligi aniqlandi. Kelgusida ushbu yo‘nalishda sun'iy intellekt asosidagi modellashtirish usullarini qo‘llash, yangi kompozit nanomateriallarni sintez qilish va ularning sanoat miqyosidagi amaliy qo‘llanilishini kengaytirish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. <PRIVATE_PERSON>, C. **Nanostructures and Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications.** World Scientific, 2021.
2. <PRIVATE_PERSON>, G. **Introduction to Nanotechnology.** CRC Press, 2020.
3. <PRIVATE_PERSON>, S. J. **Nanotechnology: Principles and Practices.** Springer, 2022.
4. <PRIVATE_PERSON>, P. **Semiconductor Optoelectronic Devices.** Prentice Hall, 2021.
5. <PRIVATE_PERSON>, M. A. **Optical Properties of Solids.** Oxford University Press, 2020.

6. <PRIVATE_PERSON>, B., <PRIVATE_PERSON>, D. **Nanomaterials for Photonic Applications**. Elsevier, 2023.
7. <PRIVATE_PERSON>, H. S. **Fundamentals of Photonics**. Wiley, 2021.
8. <PRIVATE_PERSON>, L., <PRIVATE_PERSON>, Y. Recent advances in luminescent nanomaterials for optoelectronic applications // *Materials Today*. 2023. Vol. 62. P. 45–61.
9. <PRIVATE_PERSON>, X., <PRIVATE_PERSON>, J. Functional nanomaterials with enhanced photoluminescence properties // *Advanced Functional Materials*. 2022. Vol. 32(18). P. 1–18.
10. <PRIVATE_PERSON>, A., <PRIVATE_PERSON>, R. Optical engineering of luminescent nanomaterials // *Journal of Luminescence*. 2024. Vol. 268. P. 120–132.