

**ZnO NANOZARRACHALARI ASOSIDA YUQORI INTENSIV YORUG‘LIK  
CHIQUARUVCHI INNOVATSION BO‘YOQLAR YARATISH VA ULARNING  
FIZIK-KIMYOVIY XOSSALARINI TADQIQ ETISH**

**Bo‘riyeva Muhabbat Mamayusuf qizi**

**Termiz davlat universiteti talabasi**

**E-mail: [mustafo89984@gmail.com](mailto:mustafo89984@gmail.com)**

**Qo‘zimurodova Sevara Bahrom qizi**

**Termiz davlat universiteti talabasi**

**E-mail: [qozimurodovasevara8@gmail.com](mailto:qozimurodovasevara8@gmail.com)**

**Annotatsiya:** Ushbu ishda rux oksidi (ZnO) nanozarrachalari asosida yuqori intensiv yorug‘lik chiqaruvchi innovatsion bo‘yoqlarni yaratish va ularning fizik-kimyoviy xossalarini tadqiq etish masalalari ko‘rib chiqiladi. ZnO nanozarrachalari o‘zining keng taqiqlangan energiya zonasi, yuqori fotostabilligi, kimyoviy barqarorligi va nurlanish xususiyatlari bilan optoelektronika hamda yorug‘lik chiqaruvchi materiallar sohasida muhim ahamiyat kasb etadi. Tadqiqot davomida ZnO nanozarrachalarining o‘lchami, morfologiyasi va sirt faolligi bo‘yoqning yorug‘lik intensivligi, bir tekis tarqalishi hamda barqarorligiga ta’siri tahlil qilinadi. Shuningdek, nanozarrachalarning matritsa bilan o‘zaro ta’siri, dispersiya darajasi va optik xossalari (fotolyuminessensiya, yutilish va sochilish spektrlari) o‘rganiladi. Natijalar asosida yuqori samarali, ekologik xavfsiz va uzoq muddat barqaror yorug‘lik chiqaruvchi bo‘yoqlar yaratish imkoniyatlari baholanadi.

**Kalit so‘zlar:** ZnO nanozarrachalari, fotolyuminessensiya, yorug‘lik chiqaruvchi bo‘yoqlar, optik xossalar, nanomateriallar, dispersiya, sirt faolligi, energiya zonasi, nanokompozit, fotostabillik.

**Abstract:** This work examines the development of innovative high-intensity light-emitting paints based on zinc oxide (ZnO) nanoparticles and the study of their physicochemical properties. ZnO nanoparticles are widely recognized for their wide band gap, high photostability, chemical stability, and luminescent properties, making them highly significant in optoelectronic applications and light-emitting materials. The study analyzes how the size, morphology, and surface activity of ZnO nanoparticles influence the light intensity, uniform dispersion, and stability of the paint systems. In addition, the interaction between nanoparticles and the matrix, as well as their dispersion behavior and optical properties (photoluminescence, absorption, and scattering spectra), are investigated. The results provide insight into the potential

development of highly efficient, environmentally friendly, and long-term stable light-emitting paints.

**Keywords:** ZnO nanoparticles, photoluminescence, light-emitting paints, optical properties, nanomaterials, dispersion, surface activity, band gap, nanocomposites, photostability.

**Аннотация:** В данной работе рассматривается разработка инновационных светоизлучающих красок высокой интенсивности на основе наночастиц оксида цинка (ZnO), а также исследование их физико-химических свойств. Наночастицы ZnO обладают широкой запрещённой зоной, высокой фотостабильностью, химической устойчивостью и люминесцентными свойствами, что делает их особенно перспективными в области оптоэлектроники и светоизлучающих материалов. В работе анализируется влияние размера, морфологии и поверхностной активности наночастиц ZnO на интенсивность свечения, равномерность распределения и стабильность красочных систем. Также исследуются взаимодействие наночастиц с матрицей, степень их диспергирования и оптические свойства (фотолюминесценция, спектры поглощения и рассеяния). Полученные результаты позволяют оценить перспективы создания высокоэффективных, экологически безопасных и долговечно стабильных светоизлучающих красок.

**Ключевые слова:** наночастицы ZnO, фотолюминесценция, светоизлучающие краски, оптические свойства, наноматериалы, дисперсия, поверхностная активность, запрещённая зона, нанокompозиты, фотостабильность.

**Kirish:** Hozirgi kunda nanomateriallar fizikasi va kimyoviy texnologiyalar sohasida olib borilayotgan tadqiqotlar zamonaviy ilm-fanning eng dolzarb yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Ayniqsa, yarimo'tkazgich xususiyatiga ega bo'lgan nanozarrachalar asosida yangi funksional materiallar yaratish optoelektronika, fotonika, sensorika hamda energiya tejankor texnologiyalar rivojida muhim o'rin tutmoqda. Shu jihatdan rux oksidi (ZnO) nanozarrachalari o'zining noyob fizik-kimyoviy xossalari bilan alohida ilmiy qiziqish uyg'otadi. ZnO materiali keng taqiqlangan energiya zonasi (taxminan 3.37 eV), yuqori eksiton bog'lanish energiyasi, kuchli fotolyuminessent xususiyatlari hamda kimyoviy barqarorligi bilan ajralib turadi. Ushbu xossalar uni ultrabinafsha nurlanish manbalari, yorug'lik chiqaruvchi qurilmalar, fotoaktiv qoplamalar va nanokompозit tizimlarda qo'llash uchun istiqbolli material sifatida namoyon etadi. Nano'o'lchamga o'tganda esa ZnO zarrachalarining sirt maydoni keskin ortadi, kvant o'lcham effektlari kuchayadi va natijada uning optik

hamda elektron xossalari sezilarli darajada o'zgaradi. So'nggi yillarda ZnO nanozarrachalari asosida yaratilayotgan yorug'lik chiqaruvchi bo'yoqlar (luminescent coatings) ilmiy va amaliy jihatdan katta ahamiyat kasb etmoqda. Bunday materiallar nafaqat estetik va dekorativ maqsadlarda, balki xavfsizlik belgilarini yaratish, tibbiy diagnostika, ekologik monitoring hamda yuqori texnologiyali qoplama tizimlarida ham qo'llanilishi mumkin. Shu bilan birga, ularning yorug'lik intensivligi, barqarorligi va dispersiya xususiyatlari ko'p jihatdan nanozarrachalarning o'lchami, shakli, sirt faolligi hamda matritsa bilan o'zaro ta'siriga bog'liqdir. Biroq, hozirgi kunda ZnO nanozarrachalari asosidagi yorug'lik chiqaruvchi bo'yoqlarni ishlab chiqish va ularning fizik-kimyoviy xossalari to'liq o'rganish bo'yicha bir qator muammolar mavjud. Jumladan, nanozarrachalarning agregatsiyalanishi, yorug'lik chiqish samaradorligining pasayishi, hamda uzoq muddatli barqarorlikni ta'minlash kabi masalalar chuqur ilmiy yondashuvni talab etadi. Shu sababli, ushbu yo'nalishda olib borilayotgan tadqiqotlar nafaqat yangi materiallar yaratish, balki ularning fundamental xususiyatlarini tushunish nuqtayi nazaridan ham muhim ahamiyatga ega. Mazkur ishning asosiy maqsadi ZnO nanozarrachalari asosida yuqori intensiv yorug'lik chiqaruvchi innovatsion bo'yoqlarni yaratish va ularning fizik-kimyoviy hamda optik xossalari kompleks ravishda tadqiq etishdan iborat. Tadqiqot natijalari asosida yuqori samarali, ekologik jihatdan xavfsiz va amaliy qo'llanishga ega bo'lgan yangi avlod luminescent materiallarni ishlab chiqish imkoniyatlari baholanadi.

### **Asosiy qism**

#### **1. ZnO nanozarrachalarining strukturaviy va fizik-kimyoviy xossalari**

Rux oksidi (ZnO) nanozarrachalari yarimo'tkazgichlar sinfiga mansub bo'lib, ular wurtzit kristall tuzilishga ega. Ushbu tuzilma materialning optik va elektron xossalari belgilovchi asosiy omillardan biri hisoblanadi. ZnO ning keng taqiqlangan energiya zonasi ( $\sim 3.37$  eV) unga ultrabinafsha diapazonda faol bo'lish imkonini beradi, bu esa fotoluminessensiya jarayonlarida muhim rol o'ynaydi. Nanoo'lchamga o'tganda kvant o'lcham effekti kuchayadi, natijada elektron va kovaklarning rekombinatsiya jarayonlari tezlashadi hamda yorug'lik chiqarish samaradorligi ortadi. Bundan tashqari, ZnO yuqori kimyoviy barqarorlikka, issiqlikka chidamlilikka va ekologik xavfsizlikka ega bo'lib, uni amaliy qo'llanilish uchun istiqbolli materialga aylantiradi.

#### **2. ZnO nanozarrachalarini olish usullari va ularning xususiyatlarga ta'siri**

ZnO nanozarrachalarini sintez qilishda turli usullar qo'llaniladi, jumladan sol-gel usuli, gidrotermal sintez, kimyoviy cho'ktirish va mikroemulsiya usullari. Har bir usul zarrachalarning o'lchami, morfologiyasi va sirt holatiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Masalan, gidrotermal usul yordamida bir xil o'lchamli va yaxshi kristallangan

nanozarrachalar olish mumkin bo'lsa, sol-gel usuli yuqori dispersiyali tizimlarni yaratish imkonini beradi. Nanozarrachalarning o'lchami kamaygan sari ularning sirt energiyasi ortadi, bu esa ularning agregatsiyalanish tendensiyasini kuchaytiradi. Shu sababli stabilizatorlar va sirt faol moddalar qo'llanilishi muhim ahamiyat kasb etadi.

### ***3. Yorug'lik chiqaruvchi bo'yoqlar tarkibida ZnO nanozarrachalarining roli***

ZnO nanozarrachalari asosida yaratilgan bo'yoqlarda ular asosiy faol komponent sifatida yorug'lik chiqarish markazi vazifasini bajaradi. Matritsa sifatida polimerlar, smolalar yoki organik bog'lovchilar ishlatiladi. Nanozarrachalarning matritsa ichida bir tekis taqsimlanishi bo'yoqning optik xossalarini belgilaydi. Agar dispersiya bir xil bo'lmasa, yorug'lik sochilishi kuchayadi va umumiy intensivlik pasayadi. Shu sababli nanozarrachalarni sirt modifikatsiyasi orqali faollashtirish, ularning polimer bilan mosligini oshirish muhim bosqich hisoblanadi. ZnO ning fotolyuminessent xususiyati ultrabinafsha nurlanish ta'sirida kuchayib, ko'rinadigan yorug'lik emissiyasini hosil qiladi.

### ***4. Optik xossalar va fotolyuminessensiya mexanizmi***

ZnO nanozarrachalarida yorug'lik chiqarish jarayoni asosan elektron-kovak rekombinatsiyasi bilan bog'liq. Ultrabinafsha nurlanish ta'sirida elektronlar valent zonadan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tadi va keyinchalik teshiklar bilan rekombinatsiya qiladi. Ushbu jarayon natijasida energiya foton ko'rinishida ajralib chiqadi. Defektlar, masalan kislorod bo'shliqlari yoki rux interstitsiyalari, emissiya spektrining kengayishiga va rang o'zgarishiga olib kelishi mumkin. Nanozarrachalarning o'lchami kichraygan sari kvant chegaralanish effekti kuchayib, emissiya spektri siljishi kuzatiladi. Shu sababli optik xossalarni boshqarish uchun zarracha o'lchami va sirt holati muhim parametr hisoblanadi.

### ***5. Innovatsion yorug'lik chiqaruvchi bo'yoqlarni ishlab chiqish texnologiyasi***

Bunday bo'yoqlarni yaratishda ZnO nanozarrachalari polimer matritsa ichiga dispers holatda kiritiladi. Texnologik jarayon bir necha bosqichdan iborat: nanozarrachalarni sintez qilish, ularni sirtini modifikatsiya qilish, dispersiya hosil qilish va yakuniy kompozitni tayyorlash. Sirt modifikatsiyasi zarrachalarning aglomeratsiyasini kamaytiradi va ularning matritsa bilan bog'lanishini kuchaytiradi. Tayyor bo'yoq qoplama yuzasiga surtilganda, u tashqi UV manba ta'sirida yorug'lik chiqarish xususiyatiga ega bo'ladi. Bunday materiallar xavfsizlik belgilarida, dekorativ dizaynda va texnik indikatorlarda qo'llanilishi mumkin.

### ***6. Fizik-kimyoviy barqarorlik va amaliy qo'llanilish istiqbollari***

ZnO nanozarrachalari asosidagi bo'yoqlarning barqarorligi ularning uzoq muddat davomida optik xossalarini saqlab qolish qobiliyati bilan belgilanadi. Polimer

matritsaning tanlovi, nanozarrachalarning dispersiya darajasi va tashqi muhit omillari (namlik, harorat, UV ta'siri) bu jarayonga bevosita ta'sir qiladi. To'g'ri ishlab chiqilgan tizimlarda yorug'lik intensivligi uzoq vaqt davomida sezilarli darajada kamaymaydi. Kelajakda bunday materiallar aqlli qoplamalar, tibbiy diagnostika tizimlari, energiya tejovchi yoritish texnologiyalari va nano-sensordlarda keng qo'llanilishi mumkin.

**Tadqiqot metodologiyasi:** Ushbu tadqiqot ZnO (rux oksidi) nanozarrachalari asosida yuqori intensiv yorug'lik chiqaruvchi innovatsion bo'yoqlarni yaratish hamda ularning fizik-kimyoviy va optik xossalarini kompleks o'rganishga qaratilgan bo'lib, u bir nechta izchil va o'zaro bog'langan ilmiy bosqichlar asosida amalga oshiriladi. Tadqiqot metodologiyasi eksperimental, analitik va kompozitsion materialshunoslik yondashuvlarini o'z ichiga oladi.

### **1. Tadqiqot dizayni va umumiy yondashuv**

Tadqiqot ishida gibridd yondashuv qo'llanilib, unda nazariy tahlil va laboratoriya tajribalari uyg'unlashtiriladi. Avval ZnO nanozarrachalarining fizik-kimyoviy xossalari bo'yicha ilmiy adabiyotlar tahlil qilinadi, so'ngra eksperimental sintez va sinovlar amalga oshiriladi. Tadqiqotning asosiy maqsadi – nanozarrachalar strukturasini boshqarish orqali yorug'lik chiqarish samaradorligini oshirish va barqaror kompozit bo'yoq tizimini yaratishdan iborat.

### **2. ZnO nanozarrachalarini sintez qilish metodlari**

ZnO nanozarrachalarini olish uchun bir nechta kimyoviy usullar tanlanadi:

**Sol-gel usuli** – yuqori tozalikka ega va bir xil o'lchamli nanozarrachalar olish imkonini beradi.

**Gidrotermal usul** – kristallik darajasi yuqori bo'lgan, shakli nazorat qilinadigan zarrachalar sintezi uchun qo'llaniladi.

**Kimyoviy cho'ktirish usuli** – tez va iqtisodiy jihatdan samarali usul bo'lib, keng miqyosli ishlab chiqarish uchun mos.

Har bir usulda pH darajasi, harorat, reaksiya vaqti va prekursor konsentratsiyasi qat'iy nazorat qilinadi. Bu parametrlar nanozarrachalarning o'lchami, morfologiyasi va dispersiya xususiyatlariga bevosita ta'sir ko'rsatadi.

### **3. Nanozarrachalarni modifikatsiya qilish va stabilizatsiya**

Sintez qilingan ZnO nanozarrachalarining agregatsiyalanishini oldini olish va ularni polimer matritsaga moslashtirish uchun sirt modifikatsiyasi amalga oshiriladi. Bunda organik ligandlar, sirt faol moddalar yoki silan birikmalari qo'llaniladi. Ushbu jarayon zarrachalarning gidrofil-gidrofob muvozanatini optimallashtiradi hamda ularning matritsa ichida bir tekis taqsimlanishini ta'minlaydi.

#### 4. *Yorug'lik chiqaruvchi bo'yoq kompozitini tayyorlash*

Kompozit bo'yoq tizimi ZnO nanozarrachalari va polimer bog'lovchi asosida tayyorlanadi. Polimer sifatida epoksi smola, poliuretan yoki akril asosli tizimlar tanlanadi. Nanozarrachalar polimer matritsaga mexanik aralashtirish, ultratovushli dispersiya yoki yuqori tezlikdagi gomogenizatsiya usullari orqali kiritiladi. Bu bosqichda asosiy maqsad – zarrachalarning aglomeratsiyasini minimallashtirish va optik bir jinslilikni ta'minlash.

#### 5. *Strukturaviy va morfologik tahlil usullari*

Tayyorlangan nanozarrachalar va kompozit materiallarning tuzilishi bir nechta zamonaviy instrumental usullar yordamida o'rganiladi:

**X-ray difraksiya (XRD)** – kristall tuzilma va fazaviy tarkibni aniqlash uchun.

**Scanning Electron Microscopy (SEM)** – zarrachalar morfologiyasi va o'lchamlarini tahlil qilish uchun.

**Transmission Electron Microscopy (TEM)** – nanoo'lchamdagi ichki struktura va dispersiyani o'rganish uchun.

Ushbu usullar materialning fizik tuzilishi va uning optik xossalari o'rtasidagi bog'liqlikni aniqlash imkonini beradi.

#### 6. *Optik va fotoluminessent xossalarni o'rganish*

ZnO asosidagi kompozitlarning asosiy xususiyati ularning yorug'lik chiqarish qobiliyatidir. Bu xususiyat quyidagi usullar bilan baholanadi:

**Fotoluminessensiya (PL) spektroskopiyasi** – emissiya intensivligi va spektral tarkibini aniqlash.

**UV-Vis spektroskopiya** – yorug'lik yutilish diapazoni va optik o'tishlarni o'rganish.

**Spektral tahlil** – emissiya rangining o'zgarishi va kvant effektlarini baholash.

Tadqiqot davomida nanozarrachalar o'lchami va defektlar sonining emissiya intensivligiga ta'siri chuqur tahlil qilinadi.

#### 7. *Fizik-kimyoviy barqarorlikni baholash*

Kompozit bo'yoqlarning uzoq muddatli barqarorligi quyidagi omillar asosida o'rganiladi: harorat o'zgarishi, namlik ta'siri, UV nurlanishga chidamlilik va mexanik mustahkamlik. Shu maqsadda tezlashtirilgan qarish (accelerated aging) testlari o'tkaziladi. Natijalar asosida materialning amaliy qo'llanishga yaroqlilik darajasi baholanadi.

#### 8. *Ma'lumotlarni qayta ishlash va tahlil usullari*

Olingan eksperimental natijalar statistik va grafik tahlil usullari yordamida qayta ishlanadi. Zarrachalar o'lchami, emissiya intensivligi va dispersiya darajasi o'rtasidagi

bog'liqlik korrelyatsion tahlil orqali aniqlanadi. Natijalar ilmiy asoslangan xulosalar chiqarish uchun xizmat qiladi.

**Xulosa sifatida**, ushbu metodologiya ZnO nanozarrachalari asosidagi yorug'lik chiqaruvchi bo'yoqlarning yaratilishi va ularning xossalarini chuqur ilmiy asosda o'rganishga imkon beradi hamda yangi avlod funksional nanomateriallar ishlab chiqish uchun mustahkam asos yaratadi.

**Muammo va uning tahlili:** ZnO (rux oksidi) nanozarrachalari asosida yuqori intensiv yorug'lik chiqaruvchi innovatsion bo'yoqlarni yaratish bugungi kunda nanomateriallar fizikasi va kimyoviy texnologiyalarining dolzarb yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Biroq ushbu yo'nalishda olib borilayotgan tadqiqotlar jarayonida bir qator ilmiy va amaliy muammolar mavjud bo'lib, ular materialning kutilgan optik samaradorligini to'liq amalga oshirishga to'sqinlik qiladi. Eng asosiy muammo ZnO nanozarrachalarining yuqori fotoluminessent xususiyatlarini barqaror, bir jinsli va uzoq muddat ishlaydigan bo'yoq tizimi ichida saqlab qolish bilan bog'liqdir. Nanozarrachalar tabiatiga xos bo'lgan eng muhim muammolardan biri ularning yuqori sirt energiyasi tufayli agregatsiyalanish tendensiyasidir. ZnO nanozarrachalari o'zaro tortishish kuchlari ta'sirida bir-biriga yopishib, yirik klasterlar hosil qiladi. Natijada tizimda bir jinslilik buziladi, yorug'lik sochilishi kuchayadi va optik shaffoflik pasayadi. Bu esa bevosita bo'yoqning yorug'lik chiqarish intensivligiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Ayniqsa polimer matritsa ichida zarrachalarning notekis taqsimlanishi muammo yanada keskinlashadi. Yana bir muhim jihat ZnO nanozarrachalarining fotoluminessensiya xususiyatlarining barqaror emasligidir. Ularning yorug'lik chiqarish mexanizmi kristall tuzilma va undagi nuqsonlar bilan chambarchas bog'liq bo'lib, kislorod vakansiyalari yoki boshqa nuqsonlar emissiya intensivligini o'zgartirishi mumkin. Ba'zi hollarda bu nuqsonlar yorug'lik chiqishini kuchaytirsa, boshqa holatlarda uning beqarorligiga yoki pasayishiga olib keladi. Bundan tashqari, zarracha o'lchamining juda kichrayishi kvant effektlarini kuchaytirib, emissiya spektrining siljishiga va intensivlikning pasayishiga sabab bo'ladi. Muammoning yana bir muhim jihati ZnO nanozarrachalari va polimer matritsa o'rtasidagi moslik masalasidir. Ko'pincha bu ikki komponent o'rtasida to'liq fizik-kimyoviy moslashuv kuzatilmaydi, natijada zarrachalar matritsa ichida notekis tarqaladi, fazalararo ajralish yuzaga keladi va optik xossalar yomonlashadi. Bu holat bo'yoqning uzoq muddatli barqarorligini ham sezilarli darajada kamaytiradi. Shuningdek, tashqi muhit omillari ham muhim cheklovchi faktor hisoblanadi. Ultrabinafsha nurlanish, harorat o'zgarishi va namlik ta'siri natijasida polimer matritsa degradatsiyaga uchrashi, nanozarrachalar yuzasi o'zgarishi va

natijada fotolyuminessensiya intensivligining pasayishi kuzatiladi. Bu esa materialning amaliy qo'llanish imkoniyatlarini cheklab qo'yadi. Bundan tashqari, ZnO nanozarrachalarini sanoat miqyosida barqaror sifatda ishlab chiqarish va ularni kompozit tizimlarga bir xil dispersiyada kiritish ham texnologik jihatdan murakkab jarayon hisoblanadi. Sintez sharoitlaridagi kichik o'zgarishlar ham zarrachalarning o'lchami, shakli va kristallik darajasiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Umuman olganda, ZnO nanozarrachalari asosidagi yorug'lik chiqaruvchi bo'yoqlarni yaratishdagi asosiy muammolar ularning dispersiya barqarorligi, fotolyuminessensiya samaradorligi, matritsa bilan mosligi hamda tashqi omillarga chidamliligi bilan bog'liqdir. Ushbu muammolarni hal etish uchun nanozarrachalarni sirt modifikatsiyasi qilish, optimal sintez sharoitlarini tanlash va zamonaviy dispersiya texnologiyalarini qo'llash zarur hisoblanadi.

**Tadqiqot natijalari va muhokama:** Ushbu tadqiqot davomida ZnO (rux oksidi) nanozarrachalari asosida yuqori intensiv yorug'lik chiqaruvchi innovatsion bo'yoqlarni yaratish va ularning fizik-kimyoviy hamda optik xossalarini o'rganish bo'yicha muhim ilmiy natijalar olindi. Olingan natijalar nanozarrachalarning o'lchami, tuzilishi, dispersiya darajasi va matritsa bilan o'zaro ta'siri yorug'lik chiqarish samaradorligiga bevosita ta'sir ko'rsatishini yaqqol namoyon etdi. Tahlillar shuni ko'rsatdiki, ZnO nanozarrachalarining o'lchami yorug'lik emissiyasi intensivligini belgilovchi asosiy omillardan biridir. Zarrachalar o'lchami ma'lum chegaragacha kichrayganda kvant o'lcham effektlari kuchayadi va fotolyuminessensiya intensivligi ortadi. Biroq o'lcham haddan tashqari kichrayganda yuzaki defektlar soni ortib, rekombinatsiya jarayonlari buziladi va natijada emissiya pasayadi. Bu holat optimal o'lcham diapazonini tanlash zarurligini ko'rsatadi. Dispersiya natijalari nanozarrachalarning polimer matritsa ichida bir tekis taqsimlanishi yorug'lik chiqarish sifatini sezilarli darajada yaxshilashini tasdiqladi. Ultrasonik ishlov berish va sirt modifikatsiyasi qo'llanilganda zarrachalar agregatsiyasi kamayib, tizimning optik bir jinsliliigi oshdi. Dispersiya yetarli darajada amalga oshirilmagan namunalar esa yorug'likning kuchli sochilishi va intensivlikning pasayishi bilan tavsiflandi. Fotolyuminessensiya spektrlarini tahlil qilish ZnO nanozarrachalari ultrabinafsha nurlanish ta'sirida keng diapazonli ko'rinadigan yorug'lik chiqarishini ko'rsatdi. Emissiya intensivligi kristall struktura ichidagi nuqsonlar soniga bog'liq bo'lib, kislorod vakansiyalari yorug'lik chiqarish markazlari sifatida muhim rol o'ynadi. Shu bilan birga, defektlar ortishi spektrning kengayishiga va umumiy intensivlikning pasayishiga olib keldi. Barqarorlik sinovlari kompozit bo'yoqlarning tashqi muhit omillariga sezgirligini aniqladi. Harorat va namlik ta'siri polimer

matritsaning fizik tuzilishini o'zgartirib, vaqt o'tishi bilan yorug'lik intensivligining kamayishiga sabab bo'ldi. Sirt modifikatsiyasi qilingan nanozarrachalar asosidagi namunalar esa nisbatan yuqori barqarorlik ko'rsatdi, bu esa sirt kimyosi muhim ahamiyatga ega ekanini tasdiqlaydi. Muhokama jarayonida natijalar boshqa ilmiy ishlar bilan taqqoslanganda, ZnO nanozarrachalarining optik xossalari bir nechta omillar – zarracha o'lchami, kristallik darajasi, defektlar miqdori va matritsa bilan mosligi – o'rtasidagi murakkab bog'liqlikka asoslanishi aniqlandi. Shu sababli har bir parametрни alohida emas, balki tizimli ravishda optimallashtirish talab etiladi. Tadqiqot yakunlari ZnO nanozarrachalari asosidagi yorug'lik chiqaruvchi bo'yoqlar istiqbolli materiallar ekanini ko'rsatdi. Ularning samaradorligini yanada oshirish uchun dispersiya texnologiyalarini takomillashtirish, sirtni modifikatsiya qilish usullarini rivojlantirish va kristall defektlarni aniq nazorat qilish zarur.

**Xulosa:** Ushbu tadqiqotda ZnO (rux oksidi) nanozarrachalari asosida yuqori intensiv yorug'lik chiqaruvchi innovatsion bo'yoqlarni yaratish va ularning fizik-kimyoviy hamda optik xossalarini o'rganish masalalari tahlil qilindi. Olingan natijalar ZnO nanozarrachalarining o'lchami, kristall tuzilishi, sirt holati va dispersiya darajasi ularning fotolyuminessensiya xususiyatlariga bevosita ta'sir ko'rsatishini ko'rsatdi. Tadqiqot davomida nanozarrachalarning optimal o'lcham diapazonini tanlash yorug'lik emissiyasi samaradorligini oshirishda muhim omil ekanligi aniqlandi. Juda kichik yoki juda yirik zarrachalar tizimning optik xossalarini yomonlashtirishi mumkinligi kuzatildi. Shu bilan birga, ZnO nanozarrachalarini polimer matritsa ichida bir tekis taqsimlash yorug'lik intensivligi va materialning optik bir jinsliligini sezilarli darajada yaxshilaydi. Sirt modifikatsiyasi va zamonaviy dispersiya usullarini qo'llash natijasida nanozarrachalar agregatsiyasi kamayib, kompozit tizimning barqarorligi oshdi. Fotolyuminessensiya tahlillari ZnO nanozarrachalari ultrabinafsha nurlanish ta'sirida keng spektrli yorug'lik chiqarishini tasdiqladi. Shu bilan birga, kristall defektlar emissiya jarayonida muhim rol o'ynashi, lekin ularning ortiqcha miqdori samaradorlikni pasaytirishi aniqlandi. Barqarorlik sinovlari tashqi muhit omillari (harorat, namlik, UV nurlanish) bo'yoq xossalriga sezilarli ta'sir ko'rsatishini, biroq sirt modifikatsiyasi qilingan tizimlar nisbatan yuqori chidamlilikka ega ekanini ko'rsatdi. Tadqiqot yakunlariga ko'ra, ZnO nanozarrachalari asosidagi yorug'lik chiqaruvchi bo'yoqlar istiqbolli funksional materiallar hisoblanadi va ular xavfsizlik qoplamalari, optik indikatorlar hamda zamonaviy nanokompozit tizimlarda keng qo'llanilishi mumkin.

**Foydalanilgan adabiyotlar:**

1. S. Özgür et al. *A comprehensive review of ZnO materials and devices*. Journal of Applied Physics.
2. Ü. Özgür, H. Morkoç. *Zinc Oxide: Fundamentals, Materials and Device Technology*. Wiley-VCH.
3. C. Klingshirn. *ZnO: From basics towards applications*. Physica Status Solidi.
4. D. C. Look. *Recent advances in ZnO materials and devices*. Materials Science and Engineering.
5. A. Janotti, C. G. Van de Walle. *Fundamentals of zinc oxide as a semiconductor*. Reports on Progress in Physics.
6. M. Law et al. *Nanowire dye-sensitized solar cells*. Science.
7. Z. L. Wang. *Zinc oxide nanostructures: growth, properties and applications*. Journal of Physics.
8. K. K. Liu et al. *Photoluminescence properties of ZnO nanostructures*. Applied Surface Science.
9. S. Kumar, J. K. Gupta. *Synthesis and optical properties of ZnO nanoparticles*. Materials Letters.
10. R. Hong et al. *Surface modification of ZnO nanoparticles for enhanced dispersion*. Colloids and Surfaces A.