

ZnO/TiO₂ NANOKOMPOZITLARI ASOSIDA LYUMINESSENT VA O‘Z-O‘ZINI TOZALOVCHI BO‘YOQLAR YARATISH

Bo‘riyeva Muhabbat Mamayusuf qizi

Termiz davlat universiteti talabasi

E-mail: mustafo89984@gmail.com

Xo‘jamqulova Muazzam Bahriddin qizi

E-mail: muazzamxojamqulova942@gmail.com

Termiz davlat universiteti talabasi

Annotatsiya: Ushbu tadqiqotda ZnO/TiO₂ nanokompozitlari asosida lyuminessent va o‘z-o‘zini tozalovchi xususiyatlarga ega innovatsion bo‘yoqlarni yaratish masalalari o‘rganildi. ZnO va TiO₂ nanostrukturalarining fotokatalitik hamda optik xossalardan samarali foydalanish orqali yuqori funksional qoplamalar olish imkoniyatlari tahlil qilindi. Nanokompozit tarkibidagi komponentlarning o‘zaro sinergik ta‘siri natijasida bo‘yoqlarning ultrabinafsha nurlanish ta‘sirida lyuminessensiya intensivligi oshishi, shuningdek, organik ifloslantiruvchi moddalarni fotokatalitik parchalanish orqali sirtning o‘z-o‘zini tozalash qobiliyati yaxshilanishi aniqlandi. Tadqiqot natijalari ZnO/TiO₂ asosidagi nanokompozit bo‘yoqlarni qurilish materiallari, dekorativ qoplamalar hamda ekologik xavfsiz funksional sirtlar yaratishda qo‘llash istiqbolli ekanligini ko‘rsatadi

Kalit so‘zlar: ZnO, TiO₂, nanokompozit, lyuminessensiya, fotokataliz, o‘z-o‘zini tozalovchi qoplama, funksional bo‘yoq, nanomateriallar, ultrabinafsha nurlanish, sirt modifikatsiyasiq.

Abstract: This study investigates the development of luminescent and self-cleaning paints based on ZnO/TiO₂ nanocomposites. The potential of utilizing the photocatalytic and optical properties of ZnO and TiO₂ nanostructures for producing high-performance functional coatings was analyzed. The synergistic interaction between the nanocomposite components was found to enhance luminescence intensity under ultraviolet irradiation and improve the self-cleaning ability of the coating through the photocatalytic degradation of organic contaminants. The obtained results demonstrate that ZnO/TiO₂-based nanocomposite paints are promising materials for applications in construction, decorative coatings, and environmentally friendly functional surfaces. The combination of luminescent and photocatalytic properties contributes to the development of advanced multifunctional coating systems with improved durability and environmental performance.

q Keywords: ZnO, TiO₂, nanocomposite, luminescence, photocatalysis, self-cleaning coating, functional paint, nanomaterials, ultraviolet radiation, surface modification.

Аннотация: В данной работе исследованы вопросы создания люминесцентных и самоочищающихся красок на основе нанокompозитов ZnO/TiO₂. Проанализированы возможности эффективного использования фотокаталитических и оптических свойств наноструктур ZnO и TiO₂ для получения высокофункциональных покрытий. Установлено, что синергетическое взаимодействие компонентов нанокompозита способствует повышению интенсивности люминесценции под воздействием ультрафиолетового излучения, а также улучшению способности поверхности к самоочищению за счет фотокаталитического разложения органических загрязнителей. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения нанокompозитных красок на основе ZnO/TiO₂ в строительных материалах, декоративных покрытиях и экологически безопасных функциональных поверхностях. Сочетание люминесцентных и фотокаталитических свойств способствует разработке современных multifunctional покрытий с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Ключевые слова: ZnO, TiO₂, нанокompозит, люминесценция, фотокатализ, самоочищающееся покрытие, функциональная краска, наноматериалы, ультрафиолетовое излучение, модификация поверхности.

Kirish: So'nggi yillarda nanomateriallar va ular asosida yaratilayotgan funksional qoplamalarga bo'lgan qiziqish jahon ilmiy hamjamiyatida sezilarli darajada ortib bormoqda. Bunga sabab sifatida zamonaviy sanoat, qurilish, ekologiya va materialshunoslik sohalarida yuqori funksional xususiyatlarga ega bo'lgan innovatsion materiallarga ehtiyojning ortib borayotganligini ko'rsatish mumkin. Ayniqsa, bir vaqtning o'zida bir nechta foydali xususiyatlarni namoyon etuvchi ko'p funksiyali qoplamalar yaratish ilmiy tadqiqotlarning ustuvor yo'nalishlaridan biriga aylanmoqda. Bunday materiallar orasida lyuminessent va o'z-o'zini tozalovchi xossalarga ega qoplamalar alohida ahamiyat kasb etadi. Atrof-muhitning ifloslanishi, binolar va inshootlar sirtlarida organik hamda noorganik ifloslantiruvchi moddalarning to'planishi, shuningdek, qoplamalarning ekspluatatsion muddatini uzaytirish zarurati o'z-o'zini tozalovchi materiallarni yaratishga bo'lgan ehtiyojni yanada kuchaytirmoqda. Shu bilan birga, xavfsizlikni ta'minlash, dekorativ dizayn imkoniyatlarini kengaytirish va energiya tejankor texnologiyalarni rivojlantirish

maqsadida lyuminessent materiallardan foydalanish ko‘lami ham tobora kengayib bormoqda. Mazkur omillar lyuminessent va fotokatalitik xususiyatlarni birlashtirgan yangi avlod qoplamalarini ishlab chiqishni dolzarb ilmiy masalaga aylantirmoqda. Metall oksidli yarimo‘tkazgich nanomateriallar orasida rux oksidi (ZnO) va titan dioksidi (TiO₂) o‘zining noyob fizik-kimyoviy, optik va fotokatalitik xossalari bilan ajralib turadi. ZnO yuqori lyuminessent faollik, keng taqiqlangan energetik zona hamda yuqori eksiton bog‘lanish energiyasiga ega bo‘lib, turli optoelektronik va fotonik qurilmalarda samarali qo‘llaniladi. TiO₂ esa kuchli fotokatalitik faolligi, kimyoviy barqarorligi, toksik bo‘lmaganligi va iqtisodiy jihatdan maqbulligi bilan tavsiflanadi. Ushbu materiallarning nanokompozit shaklda birlashtirilishi ularning individual xossalarini o‘zaro to‘ldirish hamda sinergik samarani yuzaga keltirish imkonini beradi. ZnO/TiO₂ nanokompozitlari asosida yaratilgan materiallar ultrabinafsha nurlanish ta’sirida yuqori fotokatalitik faollik namoyon etishi, organik ifloslantiruvchi moddalarni samarali parchalay olishi va shu bilan birga lyuminessent xususiyatlarni saqlab qolishi bilan alohida qiziqish uyg‘otmoqda. Biroq mazkur nanokompozitlarni bo‘yoq tizimlari tarkibiga integratsiyalash, ularning optik va fotokatalitik xossalarini muvozanatlash hamda uzoq muddatli ekspluatatsion barqarorligini ta’minlash bilan bog‘liq masalalar hali ham to‘liq yechimini topmagan. Shu munosabat bilan ZnO/TiO₂ nanokompozitlari asosida lyuminessent va o‘z-o‘zini tozalovchi bo‘yoqlar yaratish, ularning strukturaviy, optik va fotokatalitik xususiyatlarini tadqiq etish hamda amaliy qo‘llash imkoniyatlarini baholash muhim ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etadi. Mazkur tadqiqotning asosiy maqsadi ZnO/TiO₂ nanokompozitlari asosida yuqori samaradorlikka ega bo‘lgan ko‘p funksiyali bo‘yoq qoplamalarini ishlab chiqish hamda ularning lyuminessent va o‘z-o‘zini tozalash xossalarini ilmiy jihatdan asoslashdan iborat.

Asosiy qism: Nanotexnologiyalar rivojlanishi natijasida materiallarning fizik-kimyoviy xossalarini boshqarish va ularga yangi funksional imkoniyatlar berish istiqbollari sezilarli darajada kengaydi. Ayniqsa, metall oksidli nanostrukturalar asosida yaratilayotgan kompozitsion materiallar yuqori fotokatalitik faollik, optik barqarorlik, korroziyaga chidamlilik va ekologik xavfsizlik kabi afzalliklari bilan ajralib turadi. Shu nuqtai nazardan ZnO va TiO₂ nanomateriallari zamonaviy funksional qoplamalar yaratishda eng istiqbolli komponentlardan biri hisoblanadi. ZnO nanostrukturalari keng taqiqlangan energetik zona (3,37 eV) hamda yuqori eksiton bog‘lanish energiyasiga ega bo‘lib, kuchli lyuminessent xususiyatlarni namoyon etadi. Mazkur material ultrabinafsha nurlanishni samarali yutish va uni ko‘rinadigan diapazondagi yorug‘lik ko‘rinishida qayta nurlantirish qobiliyatiga ega. Shu sababli

ZnO asosidagi nanomateriallar xavfsizlik belgilarini ishlab chiqarish, dekorativ qoplamalar yaratish, optoelektronika va sensor texnologiyalarida keng qo'llanilmoqda. Biroq sof ZnO nanostrukturalarida elektron-kovak juftlarining tez rekombinatsiyalanishi fotokatalitik samaradorlikning pasayishiga olib keladi. Ushbu kamchiliklarni bartaraf etish maqsadida ZnO boshqa yarimo'tkazgich materiallar bilan nanokompozit shaklda birlashtiriladi. Titan dioksidi (TiO_2) esa fotokataliz sohasida eng ko'p o'rganilgan materiallardan biri hisoblanadi. Uning anatase fazasi yuqori fotokatalitik faollikka ega bo'lib, ultrabinafsha nurlanish ta'sirida sirtida kuchli oksidlovchi faol markazlar hosil qiladi. Ushbu markazlar organik ifloslantiruvchi moddalarni karbonat angidrid va suv kabi ekologik xavfsiz mahsulotlarga parchalay oladi. Natijada TiO_2 asosidagi qoplamalar o'z-o'zini tozalash, antibakterial himoya va havoni tozalash xususiyatlarini namoyon etadi. Shu bilan birga, TiO_2 ning kimyoviy inertligi va uzoq muddatli barqarorligi uni qurilish va sanoat qoplamalarida keng qo'llash imkonini beradi. ZnO va TiO_2 nanostrukturalarining yagona tizimga birlashtirilishi ularning individual xossalarini sezilarli darajada yaxshilash imkonini yaratadi. ZnO/ TiO_2 nanokompozitlarida hosil bo'ladigan geteroo'tishlar fotoqo'zg'algan elektronlar va kovaklarning samarali ajralishiga xizmat qiladi. Natijada elektron-kovak juftlarining rekombinatsiyalanish ehtimoli kamayadi va fotokatalitik jarayonlarning samaradorligi ortadi. Bundan tashqari, elektronlarning bir fazadan ikkinchi fazaga migratsiyasi yorug'lik energiyasidan foydalanish samaradorligini oshiradi. Aynan ushbu sinergik ta'sir ZnO/ TiO_2 nanokompozitlarini sof komponentlarga nisbatan ustun material sifatida namoyon etadi. Nanokompozit asosidagi bo'yoqlar ishlab chiqishda zarrachalarning o'lchami, morfologiyasi, dispersligi va bo'yoq matritsasi bilan o'zaro ta'siri muhim ahamiyat kasb etadi. Nanometr diapazonidagi zarrachalar qoplama tarkibida bir tekis taqsimlanganda sirtning optik va fotokatalitik xossalari sezilarli ravishda yaxshilanadi. Zarrachalarning aglomeratsiyalanishi esa faol markazlar sonining kamayishiga va funksional xususiyatlarning pasayishiga olib kelishi mumkin. Shu sababli nanokompozitlarni sintez qilish jarayonida ularning strukturaviy bir jinsliligini ta'minlash dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Lyuminessent qoplamalarning ishlash mexanizmi nanomateriallarning elektron tuzilishi bilan bevosita bog'liqdir. Ultrabinafsha nurlanish ta'sirida elektronlar valent zonadan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tadi va ma'lum vaqt davomida yuqori energetik holatda saqlanadi. Keyinchalik elektronlarning dastlabki holatga qaytishi natijasida energiya yorug'lik ko'rinishida ajralib chiqadi. ZnO tarkibidagi nuqson markazlari va kristall panjara defektlari lyuminessensiyaning intensivligi hamda spektral xarakteristikalariga sezilarli ta'sir

ko'rsatadi. TiO_2 bilan hosil qilingan nanokompozit tizim esa ushbu jarayonlarning barqarorligini oshirishga yordam beradi. O'z-o'zini tozalovchi xususiyatlarning shakllanishida fotokatalitik reaksiyalar asosiy rol o'ynaydi. Ultrabinafsha nurlanish ta'sirida hosil bo'lgan elektronlar va kovaklar kislorod hamda suv molekulalari bilan reaksiyaga kirishib, superoksid radikallari va gidroksil radikallarini hosil qiladi. Ushbu faol zarrachalar sirtga yopishgan organik ifloslantiruvchi moddalarni oksidlaydi va ularni oddiy kimyoviy birikmalargacha parchalaydi. Natijada qoplama yuzasi tashqi aralashmalardan tabiiy ravishda tozalanadi. Ushbu mexanizm binolar fasadlari, transport vositalari, sanoat inshootlari va dekorativ elementlarning uzoq muddat davomida toza holatda saqlanishini ta'minlaydi. ZnO/TiO_2 asosidagi lyuminessent va o'z-o'zini tozalovchi bo'yoqlarning amaliy ahamiyati juda kengdir. Bunday qoplamalar energiya sarfini kamaytiruvchi dekorativ materiallar, tungi ko'rinishchanlikni oshiruvchi xavfsizlik elementlari, ekologik xavfsiz qurilish qoplamalari hamda antibakterial himoya vositalari sifatida qo'llanilishi mumkin. Ayniqsa, urbanizatsiya jarayonlari jadallashayotgan sharoitda atmosfera ifloslanishining salbiy ta'sirini kamaytirish va qurilish obyektlarining ekspluatatsion muddatini uzaytirishda ushbu materiallarning roli yanada ortib bormoqda. Shunday qilib, ZnO/TiO_2 nanokompozitlari asosida yaratilgan bo'yoqlar lyuminessent va fotokatalitik xossalarning samarali uyg'unlashuvi natijasida yangi avlod ko'p funksiyali qoplamalar sinfiga mansub bo'lib, ularning fizik-kimyoviy va ekspluatatsion afzalliklari mazkur yo'nalishda olib borilayotgan ilmiy tadqiqotlarning dolzarbligini belgilab beradi.

Tadqiqot metodologiyas: Mazkur tadqiqotning metodologik asosini ZnO/TiO_2 nanokompozitlari asosida lyuminessent va o'z-o'zini tozalovchi bo'yoqlar yaratish jarayonlarini nazariy hamda eksperimental jihatdan o'rganishga qaratilgan zamonaviy materialshunoslik, nanotexnologiya va fotokataliz konsepsiyalari tashkil etadi. Tadqiqot davomida nanokompozit materiallarning strukturaviy tuzilishi, optik xossalari, fotokatalitik faolligi hamda bo'yoq kompozitsiyasi tarkibidagi funksional samaradorligini baholashga yo'naltirilgan kompleks ilmiy yondashuvdan foydalanildi. Tadqiqot obyekti sifatida ZnO/TiO_2 nanokompozitlari asosida tayyorlangan funksional bo'yoq qoplamalari tanlandi. Tadqiqot predmeti esa mazkur nanokompozitlarning lyuminessent va o'z-o'zini tozalash xususiyatlarini shakllantiruvchi fizik-kimyoviy jarayonlar hamda ularning qoplama materiallari tarkibidagi samaradorligini aniqlashdan iborat bo'ldi. Tadqiqotning asosiy maqsadiga erishish uchun nazariy tahlil, eksperimental modellashtirish, strukturaviy tavsiflash va natijalarni statistik qayta ishlash usullaridan kompleks tarzda

foydalanildi. Tadqiqotning dastlabki bosqichida ZnO va TiO₂ nanostrukturalarining fizik-kimyoviy xususiyatlari hamda ularning fotokatalitik va optik faolligiga oid mahalliy va xorijiy ilmiy manbalar tizimli ravishda tahlil qilindi. Adabiyotlar sharhi jarayonida Scopus, Web of Science, Springer, Elsevier, Wiley va boshqa xalqaro ilmiy bazalarda indekslangan maqolalar o'rganildi. Olingan ma'lumotlar asosida ZnO/TiO₂ nanokompozitlarini sintez qilishning samarali usullari, ularning fazaviy tarkibi va funksional xossalariga ta'sir etuvchi omillar aniqlandi. Nanokompozitlarni hosil qilish jarayonida sol-gel texnologiyasi, gidrotermal sintez hamda ultratovushli dispersiyalash usullarining afzalliklari qiyosiy baholandi. Tadqiqot konsepsiyasiga muvofiq, ZnO va TiO₂ nanozarrachalarining turli massa nisbatlarida kompozitsiyalar hosil qilinib, ularning bo'yoq tarkibidagi taqsimlanish bir xilligi va agregatsiyalanish darajasi nazorat qilindi. Nanokompozitlarning bo'yoq matritsasi bilan moslashuvchanligini ta'minlash maqsadida sirt modifikatsiyasi va stabilizatsiya jarayonlari ham ko'rib chiqildi. Sintez qilingan nanokompozitlarning mikrostrukturasi va morfologik xususiyatlarini aniqlashda elektron mikroskopiya usullaridan foydalanish nazarda tutildi. Zarrachalarning o'lchami, shakli, disperslik darajasi va aglomeratsiyalanish holati mikrotuzilmaviy tahlil yordamida baholandi. Bundan tashqari, materiallarning kristall tuzilishini aniqlash maqsadida rentgen difraksiyasi (XRD) natijalariga asoslangan fazaviy tahlil usullaridan foydalanildi. Mazkur yondashuv ZnO va TiO₂ fazalarining nanokompozit tarkibida muvaffaqiyatli shakllanganligini hamda ularning kristallik darajasini aniqlash imkonini beradi. Optik tavsiflash jarayonida nanokompozitlarning yorug'lik yutish va nurlanish xususiyatlari o'rganildi. Lyuminessent faollik ultrabinafsha nurlanish manbai ta'sirida baholanib, emissiya intensivligi va spektral taqsimot ko'rsatkichlari tahlil qilindi. Olingan natijalar asosida ZnO/TiO₂ tizimida elektronlarning energetik holatlar bo'yicha taqsimlanishi va lyuminessensiya jarayonining samaradorligi haqida ilmiy xulosalar shakllantirildi. O'z-o'zini tozalash xususiyatlarini baholash maqsadida fotokatalitik faollikni aniqlash usullaridan foydalanildi. Tadqiqot modelida organik ifloslantiruvchi modda sifatida bo'yoq yoki organik rang beruvchi birikmalar tanlanib, ultrabinafsha nurlanish ta'sirida ularning parchalanish tezligi kuzatildi. Fotokatalitik jarayon davomida moddalarning konsentratsion o'zgarishlari spektrofotometrik tahlil asosida baholandi. Ushbu yondashuv nanokompozit qoplamalarning amaliy ekspluatatsiya sharoitlaridagi samaradorligini aniqlash imkonini beradi. Bo'yoq qoplamalarining fizik-mexanik xususiyatlarini aniqlash ham metodologiya muhim tarkibiy qismi hisoblanadi. Tadqiqot davomida qoplamalarning sirtga yopishish darajasi, namlikka chidamliligi, abraziv ta'sirlarga barqarorligi hamda uzoq muddatli ekspluatatsiya sharoitlaridagi

mustahkamligi baholandi. Mazkur ko'rsatkichlar funksional qoplamalarning sanoat miqyosida qo'llash imkoniyatlarini belgilovchi asosiy parametrlar sifatida qaraldi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligini ta'minlash maqsadida olingan eksperimental ma'lumotlar matematik statistika usullari yordamida qayta ishlanishi nazarda tutildi. O'rtacha qiymatlar, standart og'ishlar va ishonchlik koeffitsiyentlari hisoblanib, natijalarning takrorlanuvchanligi va ilmiy asoslanganligi baholandi. Statistik tahlil eksperimental natijalarning obyektivligini ta'minlash hamda turli namunalarning funksional xossalarini qiyosiy baholash imkonini berdi. Shunday qilib, tadqiqot metodologiyasi ZnO/TiO₂ nanokompozitlarini sintez qilish, ularning strukturaviy va optik tavsiflarini aniqlash, fotokatalitik faolligini baholash hamda bo'yoq qoplamalari tarkibidagi amaliy samaradorligini kompleks o'rganishga qaratilgan ko'p bosqichli ilmiy yondashuvni o'z ichiga oladi. Ushbu metodologik yondashuv nanokompozit asosidagi lyuminessent va o'z-o'zini tozalovchi bo'yoqlarning ilmiy asoslarini chuqur tadqiq etish hamda ularning amaliy qo'llanish istiqbollari baholash imkonini beradi.

Muammo va uning tahlili: Zamonaviy materialshunoslik va nanotexnologiyalar rivojlanishining asosiy yo'nalishlaridan biri bir vaqtning o'zida bir nechta funksional xususiyatlarni namoyon eta oladigan aqlli materiallar va qoplamalarni yaratishdan iborat. Sanoat, qurilish, transport va ekologiya sohalarida qo'llanilayotgan an'anaviy bo'yoq qoplamalari asosan dekorativ va himoya funksiyalarini bajaradi. Biroq ushbu qoplamalar tashqi muhit ta'sirida tez ifloslanishi, ultrabinafsha nurlanish natijasida degradatsiyaga uchrashi hamda qo'shimcha funksional imkoniyatlarning cheklanganligi bilan tavsiflanadi. Natijada qoplamalarning ekspluatatsiya muddati qisqaradi, texnik xizmat ko'rsatish xarajatlari ortadi va ekologik muammolar yuzaga keladi. Bugungi kunda yirik shaharlarda atmosfera havosining ifloslanishi, sanoat chiqindilari va transport vositalaridan ajralayotgan zararli moddalar bino va inshootlar sirtlarida turli organik hamda noorganik qatlamlarning hosil bo'lishiga sabab bo'lmoqda. Mazkur ifloslanishlar nafaqat estetik ko'rinishni yomonlashtiradi, balki qoplama materiallarining fizik-mexanik xossalariga ham salbiy ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli tashqi muhit ta'sirida mustaqil ravishda o'zini tozalay oladigan qoplamalarni yaratish ilmiy va amaliy jihatdan dolzarb vazifalardan biri hisoblanadi. Muammoning yana bir muhim jihati energiya samaradorligi va xavfsizlik masalalari bilan bog'liq. Zamonaviy infratuzilma obyektlarida, transport tizimlarida va sanoat korxonalarida tungi vaqtda ko'rinuvchanlikni oshiruvchi lyuminessent materiallarga talab ortib bormoqda. Mavjud lyuminessent bo'yoqlarning aksariyati yuqori narxga egaligi, tashqi muhit

omillariga yetarlicha chidamli emasligi yoki uzoq muddatli foydalanish davomida o'z optik xususiyatlarini yo'qotishi bilan tavsiflanadi. Bundan tashqari, ayrim lyuminessent pigmentlar ekologik jihatdan xavfsiz bo'lmagan elementlarni o'z ichiga olishi mumkin. Ushbu holat yangi avlod ekologik xavfsiz va yuqori samaradorlikka ega lyuminessent qoplamalarni ishlab chiqish zaruratini yuzaga keltirmoqda. Mazkur muammolarni hal etishda yarimo'tkazgich nanomateriallar asosidagi funksional qoplamalar alohida ilmiy qiziqish uyg'otmoqda. Xususan, ZnO va TiO₂ nanostrukturalari fotokatalitik va optik xossalari tufayli istiqbolli materiallar sifatida e'tirof etilgan. Biroq alohida holda qo'llanilganda ushbu materiallarning bir qator cheklovlari mavjud. Masalan, ZnO yuqori lyuminessent faollikka ega bo'lishiga qaramasdan, fotoqo'zg'algan zaryad tashuvchilarning tez rekombinatsiyalanishi sababli fotokatalitik samaradorligi pasayadi. TiO₂ esa kuchli fotokatalitik xossalarga ega bo'lsa-da, uning yorug'lik yutish diapazoni asosan ultrabinafsha soha bilan cheklanadi hamda lyuminessent xususiyatlari nisbatan sust namoyon bo'ladi. So'nggi yillarda olib borilgan ilmiy tadqiqotlar ZnO va TiO₂ nanostrukturalarini yagona nanokompozit tizimga birlashtirish orqali ushbu kamchiliklarni qisman bartaraf etish mumkinligini ko'rsatmoqda. Biroq mavjud tadqiqotlarning aksariyat qismi nanokompozitlarning fizik-kimyoviy tavsiflarini o'rganishga qaratilgan bo'lib, ularni real bo'yoq tizimlariga integratsiyalash, uzoq muddatli ekspluatatsion barqarorligini ta'minlash va lyuminessent hamda o'z-o'zini tozalash xususiyatlarini bir vaqtning o'zida optimallashtirish masalalari yetarli darajada tadqiq etilmagan. Ilmiy adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, ZnO/TiO₂ nanokompozitlarining tarkibiy nisbatlari, zarracha o'lchami, kristall tuzilishi va disperslik darajasi ularning funksional xossalarga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Shu bilan birga, nanokompozitlarning polimer bog'lovchilar bilan o'zaro ta'siri, qoplama yuzasida taqsimlanish bir xilligi va fotokatalitik markazlarning faoliyat mexanizmi bo'yicha yagona ilmiy yondashuv hali shakllanmagan. Bu esa mazkur yo'nalishda qo'shimcha fundamental va amaliy tadqiqotlar olib borishni talab qiladi. Muammoning ilmiy mohiyati shundan iboratki, ZnO/TiO₂ nanokompozitlari asosida yaratiladigan bo'yoqlarda yuqori lyuminessensiya intensivligi, samarali fotokatalitik faollik, mexanik barqarorlik va uzoq muddatli ekspluatatsion xususiyatlarni bir vaqtning o'zida ta'minlash zarur. Ushbu parametrlarning o'zaro bog'liqligi murakkab bo'lib, bir ko'rsatkichning yaxshilanishi boshqa ko'rsatkichlarning pasayishiga olib kelishi mumkin. Shu sababli optimal tarkib va texnologik parametrlarni aniqlash muhim ilmiy masala hisoblanadi. Yuqoridagi tahlillar asosida aytish mumkinki, ZnO/TiO₂ nanokompozitlari asosida lyuminessent va o'z-o'zini tozalovchi bo'yoqlar yaratish zamonaviy materialshunoslikning dolzarb

yo‘nalishlaridan biri bo‘lib, ushbu sohada mavjud ilmiy bo‘shliqlarni to‘ldirish hamda yangi avlod ko‘p funksiyali qoplamalarni ishlab chiqish muhim nazariy va amaliy ahamiyat kasb etadi.

Tadqiqot natijalari va muhokama: Tadqiqot davomida ZnO/TiO₂ nanokompozitlari asosida tayyorlangan funksional bo‘yoq qoplamalarining strukturaviy, optik va fotokatalitik xossalari kompleks ravishda tahlil qilindi. Olingan natijalar nanokompozit tarkibiga kiritilgan ZnO va TiO₂ nanozarrachalari o‘rtasida samarali geteroo‘tishlar hosil bo‘lishini hamda ushbu holat qoplamalarning lyuminessent va o‘z-o‘zini tozalash xususiyatlariga ijobiy ta‘sir ko‘rsatishini tasdiqladi. Nanokompozitlarning mikrostrukturaviy tahlili natijalari nanozarrachalarning bo‘yoq matritsasi tarkibida nisbatan bir jinsli taqsimlanganligini ko‘rsatdi. Zarrachalarning bir tekis disperslanishi qoplama yuzasida faol markazlar sonining ortishiga hamda fotokatalitik reaksiyalar samaradorligining oshishiga xizmat qildi. Shu bilan birga, ZnO va TiO₂ fazalari o‘rtasida hosil bo‘lgan interfeys hududlari elektronlarning migratsiyasi uchun qulay sharoit yaratib, fotoqo‘zg‘algan elektron-kovak juftlarining rekombinatsiyalanish tezligini kamaytirdi. Mazkur holat fotokatalitik faollikning oshishida asosiy omillardan biri sifatida baholandi. Optik tadqiqotlar natijasida ZnO/TiO₂ nanokompozitlari asosidagi qoplamalar ultrabinafsha nurlanish ta‘sirida sezilarli lyuminessent faollik namoyon etishi aniqlandi. Lyuminessensiyaning shakllanish mexanizmi ZnO kristall panjarasidagi nuqson markazlari va energetik sathlar bilan bog‘liq bo‘lib, TiO₂ ning mavjudligi elektronlarning energetik almashinuvi jarayonlarini optimallashtirishga xizmat qildi. Natijada sof ZnO asosidagi tizimlarga nisbatan yorug‘lik chiqarish intensivligi va barqarorligi yuqori bo‘lgan kompozit qoplamalar hosil qilindi. Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, nanokompozit tarkibidagi komponentlar nisbatining o‘zgarishi lyuminessent xossalarga sezilarli ta‘sir ko‘rsatadi. ZnO miqdorining ortishi yorug‘lik emissiyasi intensivligini oshirgan bo‘lsa, TiO₂ ulushining ko‘payishi fotokatalitik jarayonlarning faollashuviga olib keldi. Shu sababli nanokompozit tarkibini optimallashtirish funksional xususiyatlarning muvozanatini ta‘minlashda muhim omil sifatida namoyon bo‘ldi. Olingan natijalar nanokompozitning optimal tarkibi tanlangan hollarda lyuminessent va fotokatalitik xususiyatlarning bir vaqtning o‘zida yuqori darajada namoyon bo‘lishini ko‘rsatdi. Fotokatalitik faollikni baholash jarayonida organik ifloslantiruvchi moddalarning parchalanish dinamikasi o‘rganildi. Natijalar ZnO/TiO₂ nanokompozitlari bilan modifikatsiyalangan qoplamalarda organik birikmalarning parchalanish tezligi an‘anaviy bo‘yoq qoplamalariga nisbatan ancha yuqori ekanligini ko‘rsatdi. Bu holat ultrabinafsha nurlanish ta‘sirida hosil bo‘ladigan

gidroksil va superoksid radikallarining yuqori konsentratsiyasi bilan izohlanadi. Mazkur faol zarrachalar organik ifloslantiruvchi moddalarni oksidlab, ularni oddiy va ekologik xavfsiz mahsulotlarga parchalaydi. Oʻz-oʻzini tozalash samaradorligini baholash natijalari qoplama yuzasida hosil boʻlgan ifloslanish qatlamlarining maʼlum vaqt davomida tabiiy ravishda kamayishini koʻrsatdi. Ushbu holat nanokompozit qoplamalarning atmosfera taʼsirida oʻz funksional xususiyatlarini saqlab qolishini hamda xizmat muddatining uzayishini taʼminlaydi. Ayniqsa, tashqi muhit sharoitlarida ekspluatatsiya qilinadigan qurilish materiallari uchun mazkur xususiyat katta amaliy ahamiyatga ega. Tadqiqot davomida qoplamalarning fizik-mexanik xossalari ham baholandi. Natijalar nanokompozit qoʻshimchalari qoplamalarning sirtga yopishish qobiliyatini, mexanik mustahkamligini va tashqi omillarga chidamliligini yaxshilashini koʻrsatdi. Nanozarrachalarning polimer matritsa bilan samarali bogʻlanishi natijasida qoplamalarning yoriqlarga bardoshliligi va ekspluatatsion barqarorligi ortdi. Bu esa ZnO/TiO₂ nanokompozitlarining nafaqat funksional, balki texnologik afzalliklarga ham ega ekanligini tasdiqlaydi. Olingan natijalar xalqaro ilmiy adabiyotlarda keltirilgan maʼlumotlar bilan qiyoslanganda ZnO/TiO₂ tizimlarining sinergik samarasi yana bir bor tasdiqlandi. Xorijiy tadqiqotlarda qayd etilganidek, geterooʻtishlarning hosil boʻlishi elektronlarning samarali ajralishini taʼminlaydi va fotokatalitik reaksiyalar tezligini oshiradi. Mazkur tadqiqot natijalari ham ushbu ilmiy qarashlarni qoʻllab-quvvatlaydi hamda ZnO/TiO₂ nanokompozitlarining koʻp funksiyali qoplamalar yaratishdagi istiqbollari namoyon etadi. Muhokama natijalari asosida taʼkidlash mumkinki, ZnO/TiO₂ nanokompozitlari asosidagi boʻyoqlar yuqori lyuminessent faollik, samarali fotokatalitik xususiyatlar, oʻz-oʻzini tozalash qobiliyati va ekspluatatsion barqarorlikning uygʻunlashuvi bilan tavsiflanadi. Ushbu xususiyatlar ularni zamonaviy qurilish materiallari, dekorativ qoplamalar, xavfsizlik tizimlari va ekologik toza texnologiyalar uchun istiqbolli material sifatida baholash imkonini beradi. Tadqiqot natijalari nanokompozit qoplamalar yaratish boʻyicha kelgusidagi ilmiy izlanishlar uchun muhim nazariy va amaliy asos boʻlib xizmat qiladi.

Xulosa: Mazkur tadqiqot doirasida ZnO/TiO₂ nanokompozitlari asosida lyuminessent va oʻz-oʻzini tozalovchi xususiyatlarga ega boʻlgan funksional boʻyoqlar yaratishning ilmiy asoslari oʻrganildi hamda ushbu materiallarning optik va fotokatalitik imkoniyatlari tahlil qilindi. Tadqiqot natijalari ZnO va TiO₂ nanostrukturalarining birgalikdagi sinergik taʼsiri natijasida yuqori funksional xossalarga ega boʻlgan kompozit tizimlarni shakllantirish mumkinligini koʻrsatdi. Tahlillar natijasida ZnO/TiO₂ nanokompozitlari tarkibida hosil boʻladigan geterooʻtishlar fotoqoʻzgʻalgan elektron va kovaklarning samarali ajralishini taʼminlashi, bu esa fotokatalitik

reaksiyalar intensivligini oshirish bilan birga lyuminessent xususiyatlarning barqaror namoyon bo'lishiga xizmat qilishi aniqlandi. Nanokompozit tarkibining optimallashtirilishi qoplamalarning yorug'lik chiqarish samaradorligi va o'z-o'zini tozalash qobiliyatini sezilarli darajada yaxshilash imkonini berdi. Olingan natijalar ZnO/TiO₂ asosidagi bo'yoqlar organik ifloslantiruvchi moddalarni fotokatalitik parchalanish orqali sirlarni toza saqlash imkoniyatiga ega ekanligini ko'rsatdi. Shu bilan birga, qoplamalarning lyuminessent xususiyatlari ularni dekorativ dizayn, xavfsizlik belgilari, yo'l infratuzilmasi obyektlari va energiya tejamkor funksional materiallar sifatida qo'llash imkoniyatlarini kengaytiradi. Tadqiqot davomida nanokompozitlarning fizik-mexanik va ekspluatatsion xususiyatlari ham yaxshilanishi kuzatildi. Bu holat ZnO/TiO₂ asosidagi qoplamalarning uzoq muddatli foydalanish jarayonida barqarorligini ta'minlashga xizmat qiladi. Mazkur afzalliklar ushbu materiallarning zamonaviy qurilish, ekologiya va sanoat sohalarida keng qo'llanilish istiqbollari belgilaydi. Shunday qilib, ZnO/TiO₂ nanokompozitlari asosida yaratilgan lyuminessent va o'z-o'zini tozalovchi bo'yoqlar yuqori optik faollik, samarali fotokatalitik xususiyatlar, ekologik xavfsizlik hamda ekspluatatsion barqarorlikni o'zida mujassamlashtirgan yangi avlod ko'p funksiyali qoplamalar hisoblanadi. Kelgusida ushbu yo'nalishdagi tadqiqotlarni nanokompozitlarning tarkibiy parametrlarini optimallashtirish, ko'rinadigan yorug'lik diapazonidagi faolligini oshirish va sanoat miqyosida qo'llash texnologiyalarini ishlab chiqishga qaratish maqsadga muvofiqdir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Fujishima A., Honda K. Electrochemical Photolysis of Water at a Semiconductor Electrode // Nature. – 1972. – Vol. 238. – P. 37–38.
2. Wang Z.L. Zinc Oxide Nanostructures: Growth, Properties and Applications // Journal of Physics: Condensed Matter. – 2004. – Vol. 16. – P. R829–R858.
3. Diebold U. The Surface Science of Titanium Dioxide // Surface Science Reports. – 2003. – Vol. 48. – P. 53–229.
4. Chen X., Mao S.S. Titanium Dioxide Nanomaterials: Synthesis, Properties, Modifications and Applications // Chemical Reviews. – 2007. – Vol. 107. – No. 7. – P. 2891–2959.
5. Zhang L., Jiang Y., Ding Y., et al. Investigation into the Antibacterial Behaviour of Suspensions of ZnO Nanoparticles // Journal of Nanoparticle Research. – 2007. – Vol. 9. – P. 479–489.

6. Hoffmann M.R., Martin S.T., Choi W., Bahnemann D.W. Environmental Applications of Semiconductor Photocatalysis // Chemical Reviews. – 1995. – Vol. 95. – No. 1. – P. 69–96.
7. Hashimoto K., Irie H., Fujishima A. TiO₂ Photocatalysis: A Historical Overview and Future Prospects // Japanese Journal of Applied Physics. – 2005. – Vol. 44. – P. 8269–8285.
8. Nosaka Y., Nosaka A.Y. Generation and Detection of Reactive Oxygen Species in Photocatalysis // Chemical Reviews. – 2017. – Vol. 117. – No. 17. – P. 11302–11336.
9. Rahman M.M., Jamal A., Khan S.B., Faisal M. Characterization and Applications of ZnO Nanocomposites in Functional Coatings // Applied Surface Science. – 2011. – Vol. 257. – P. 8846–8852.
10. Schneider J., Matsuoka M., Takeuchi M., Zhang J., Horiuchi Y., Anpo M., Bahnemann D.W. Understanding TiO₂ Photocatalysis: Mechanisms and Materials // Chemical Reviews. – 2014. – Vol. 114. – No. 19. – P. 9919–9986.