

**UGLEROD NANO NUQTACHALARI ASOSIDA YUQORI INTENSIV
YORUG‘LIK CHIQUYUVCHI INNOVATSION BO‘YOQLAR YARATISH
VA ULARNING OPTIK XOSSALARINI TADQIQ ETISH**

Bo‘riyeva Muhabbat Mamayusuf qizi

Termiz davlat universiteti talabasi

E-mail: mustafo89984@gmail.com

Annotatsiya: Ushbu maqolada uglerod nano nuqtachalari (carbon quantum dots, CQDs) asosida yuqori intensiv yorug‘lik chiqaruvchi innovatsion bo‘yoqlarni yaratish va ularning optik xossalarini tadqiq etish masalalari yoritiladi. Tadqiqotda CQDs ning fotolyuminesans mexanizmi, elektron tuzilishi va sirt holatlari asosida yorug‘lik emissiya jarayonlari ilmiy jihatdan tahlil qilinadi. Shuningdek, ularni turli sintez usullari orqali olish hamda polimer matritsalar bilan kompozit holatda qo‘llash imkoniyatlari ko‘rib chiqiladi. Optik xossalar emissiya spektri, kvant chiqish samaradorligi va yorug‘lik barqarorligi asosida baholanadi. Natijalar CQDs asosidagi bo‘yoqlar ekologik xavfsiz va yuqori samarali luminescent materiallar sifatida keng amaliy qo‘llanilish salohiyatiga ega ekanligini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: uglerod nano nuqtachalari, fotolyuminesans, kvant nuqtalar, innovatsion bo‘yoqlar, optik xossalar, nano materiallar, emissiya spektri, kvant samaradorlik

Abstract: This article addresses the development of innovative high-intensity light-emitting paints based on carbon quantum dots (CQDs) and the study of their optical properties. The research provides a scientific analysis of the photoluminescence mechanism of CQDs, focusing on their electronic structure and surface states that govern light emission processes. In addition, various synthesis methods for obtaining CQDs and their application in composite form with polymer

matrices are discussed. The optical properties are evaluated based on emission spectra, quantum yield efficiency, and photostability. The results demonstrate that CQD-based paints have significant potential for wide practical applications as environmentally friendly and highly efficient luminescent materials.

Keywords: carbon quantum dots, photoluminescence, quantum dots, innovative paints, optical properties, nanomaterials, emission spectrum, quantum efficiency.

Аннотация: В данной статье рассматриваются вопросы создания инновационных красок с высокой интенсивностью свечения на основе углеродных квантовых точек (carbon quantum dots, CQDs) и исследования их оптических свойств. В работе проводится научный анализ механизма фотолюминесценции CQDs с акцентом на их электронную структуру и поверхностные состояния, определяющие процессы излучения света. Также рассматриваются различные методы синтеза CQDs и возможности их применения в составе композитов с полимерными матрицами. Оптические свойства оцениваются на основе спектра излучения, квантового выхода и фотостабильности. Полученные результаты показывают, что краски на основе CQDs обладают высоким потенциалом практического применения как экологически безопасные и высокоэффективные люминесцентные материалы.

Ключевые слова: углеродные квантовые точки, фотолюминесценция, квантовые точки, инновационные краски, оптические свойства, наноматериалы, спектр излучения, квантовая эффективность.

Kirish: So‘nggi o‘n yilliklarda nanofizika va nanomateriallar kimyosi jadal rivojlanib, yangi avlod funksional materiallarni yaratishga keng imkoniyatlar ochib

bermoqda. Ayniqsa, uglerod asosidagi nanostrukturalar — grafen, fullerenlar va uglerod nano nuqtachalari (carbon quantum dots, CQDs) — o‘zining noyob fizik-kimyoviy va optik xossalari bilan ilmiy jamoatchilik e’tiborini tortib kelmoqda. CQDs nanometr o‘lchamdagi, kuchli fotolyuminesans xususiyatiga ega bo‘lgan uglerod zarrachalari bo‘lib, ular yuqori barqarorlik, past toksiklik, suvda yaxshi eruvchanlik hamda ekologik xavfsizlik kabi afzalliklari bilan ajralib turadi. Ushbu xususiyatlar ularni an’anaviy yarimo‘tkazgich kvant nuqtalariga nisbatan istiqbolli muqobil material sifatida ko‘rsatadi. CQDs ning optik xossalari ularning kvant o‘lcham effekti, sirt holatlari, funksional guruhlar tarkibi hamda elektron tuzilishidagi o‘ziga xosliklar bilan bevosita bog‘liqdir. Ushbu omillar fotolyuminesans jarayonining mexanizmini belgilab beradi va emissiya spektrining keng diapazonda boshqarilishini ta’minlaydi. Shu sababli CQDs asosidagi materiallar optoelektronika, bioimaging, kimyoviy sensorlar, yorug‘lik chiqaruvchi qurilmalar hamda innovatsion qoplama materiallar yaratishda keng qo‘llanilmoqda. Hozirgi vaqtda yuqori intensiv yorug‘lik chiqaruvchi innovatsion bo‘yoqlarni ishlab chiqish muhim ilmiy-amaliy yo‘nalishlardan biri hisoblanadi. Bunday bo‘yoqlar nafaqat vizual effekt yaratish, balki xavfsizlik belgilari, optik kodlash, yorug‘likka sezgir qoplamalar hamda zamonaviy dizayn yechimlarida ham katta ahamiyat kasb etadi. Ushbu yo‘nalishda CQDs asosidagi luminescent bo‘yoqlar alohida o‘rin tutadi, chunki ular yuqori yorug‘lik intensivligi, barqaror emissiya va ekologik tozaligi bilan ajralib turadi. CQDs ni olishning turli usullari — “top-down” va “bottom-up” yondashuvlar — ularning fizik-kimyoviy xossalarini boshqarishda muhim rol o‘ynaydi. Shuningdek, ularni polimer matritsalar bilan kompozit tizimlarda qo‘llash yorug‘lik emissiya samaradorligini oshirish va materialning mexanik barqarorligini ta’minlash imkonini beradi. Natijada, CQDs asosidagi bo‘yoqlarning optik parametrlarini, jumladan emissiya spektri, kvant chiqish samaradorligi va fotostabillik darajasini chuqur o‘rganish

ilmiy jihatdan dolzarb hisoblanadi. Mazkur ilmiy ishning asosiy maqsadi uglerod nano nuqtachalari asosida yuqori intensiv yorug'lik chiqaruvchi innovatsion bo'yoqlarni yaratish va ularning optik xossalarini tizimli ravishda tadqiq etishdan iboratdir. Tadqiqot jarayonida CQDs ning fotolyuminesans mexanizmi, sintez usullari hamda ularning polimer kompozitlar tarkibidagi xatti-harakati tahlil qilinadi. Olingan natijalar CQDs asosidagi materiallarning yuqori samarador, ekologik xavfsiz va istiqbolli optik material sifatida sanoat va ilmiy tadqiqotlarda keng qo'llanilish imkoniyatiga ega ekanligini ko'rsatadi.

Asosiy qism: Uglerod nano nuqtachalari (CQDs) nanometr o'lchamdagi uglerod asosli yorug'lik chiqaruvchi zarrachalar bo'lib, ularning diametri odatda 1–10 nm oralig'ida bo'ladi. Ular sp^2 va sp^3 gibridlangan uglerod atomlaridan tashkil topgan murakkab tuzilishga ega bo'lib, yuzasida turli funksional guruhlar ($-OH$, $-COOH$, $-NH_2$ va boshqalar) mavjudligi bilan tavsiflanadi. Aynan ushbu sirt guruhlari CQDs ning suvda eruvchanligi, kimyoviy barqarorligi hamda optik xossalarini belgilashda muhim rol o'ynaydi. CQDs ning eng muhim xususiyatlaridan biri ularning fotolyuminesans (PL) hodisasidir. Bu jarayon tashqi energiya (odatda ultrabinafsha yoki ko'k nurlanish) ta'sirida elektronlarning yuqori energiya holatiga o'tishi va keyinchalik past energiya holatiga qaytishi natijasida yorug'lik emissiyasi yuzaga kelishi bilan izohlanadi. Fotolyuminesans mexanizmi asosan uchta omil bilan bog'liq: kvant o'lcham effekti, sirt holatlari va molekulyar floresans markazlari. Ushbu omillar emissiya spektrining keng diapazonda (ko'kdan qizilgacha) sozlanishiga imkon beradi. CQDs ni sintez qilish usullari ikki asosiy guruhga bo'linadi: "top-down" va "bottom-up" yondashuvlar. Top-down usullarida katta uglerod manbalari (grafit, grafen, karbon nanotrubkalar) fizik yoki kimyoviy yo'llar bilan mayda nanobosqichlarga ajratiladi. Bottom-up usullarida esa kichik organik molekulalar (limon kislotasi, glyukoza, aminokislotalar) termik

parchalanish, gidrotermal yoki solvotermal jarayonlar orqali CQDs ga aylantiriladi. Bottom-up usuli odatda yuqori kvant chiqish samaradorligi va yaxshi nazorat qilinadigan sirt tuzilmasi bilan ajralib turadi. CQDs asosida yaratilgan luminescent bo‘yoqlarni olishda ularni polimer matritsalar (masalan, PVA, PMMA, epoksi smolalar) bilan birlashtirish keng qo‘llaniladi. Bunday kompozit tizimlar CQDs ni tashqi muhit ta’siridan himoya qiladi, ularning agregatsiyasini kamaytiradi hamda yorug‘lik emissiya barqarorligini oshiradi. Natijada hosil bo‘lgan bo‘yoqlar yuqori intensivlikdagi yorug‘lik chiqarish qobiliyatiga ega bo‘lib, optik qurilmalar va funksional qoplamalar uchun mos keladi. Optik xossalarni baholashda bir nechta asosiy parametrlar qo‘llaniladi. Emissiya spektri CQDs ning rang diapazonini va maksimal to‘lqin uzunligini aniqlaydi. Kvant chiqish samaradorligi esa yutilgan energiyaga nisbatan chiqarilgan fotonlar ulushini ifodalaydi va materialning yorug‘lik berish samaradorligini ko‘rsatadi. Fotostabillik esa CQDs ning uzoq muddatli nurlanish ta’sirida degradatsiyaga uchramaslik qobiliyatini belgilaydi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, to‘g‘ri sintez va sirt modifikatsiyasi orqali ushbu parametrlarni sezilarli darajada yaxshilash mumkin. Shuningdek, CQDs asosidagi bo‘yoqlarning amaliy qo‘llanilish sohalari kengayib bormoqda. Ular xavfsizlik belgilari, optik kodlash tizimlari, lyuminescent indikatorlar, bioimaging va sensor qurilmalarda samarali ishlatilishi mumkin. Ularning ekologik xavfsizligi va past toksikligi esa tibbiyot va biologiya sohalarida qo‘llanilish imkoniyatlarini yanada kengaytiradi. Umuman olganda, CQDs asosidagi innovatsion bo‘yoqlar yuqori optik samaradorlik, barqarorlik va ekologik tozalik kabi afzalliklari bilan ajralib turadi hamda zamonaviy materialshunoslikning istiqbolli yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi.

Muammo va uning tahlili: So‘nggi yillarda uglerod nano nuqtachalari (CQDs) asosida yaratilayotgan luminescent materiallar va innovatsion bo‘yoqlar

keng ilmiy qiziqish uygʻotayotgan boʻlsa-da, ushbu yoʻnalishda bir qator dolzarb muammolar mavjud. Mazkur muammolar CQDs ning optik samaradorligi, sintez jarayonlarini boshqarish, hamda amaliy qoʻllanilishdagi barqarorlik bilan bevosita bogʻliqdir. Birinchi asosiy muammo CQDs ning fotolyuminesans xossalarini toʻliq va bir xil darajada boshqarishning murakkabligidir. Turli sintez usullari natijasida olingan CQDs zarrachalari oʻlchami, sirt funksional guruhlar va tuzilishi jihatidan sezilarli farq qiladi. Bu esa emissiya spektrining beqarorligiga, yaʼni bir xil sharoitda turli rang va intensivlikda yorugʻlik berilishiga olib keladi. Natijada ularni sanoat miqyosida standartlashtirish qiyinlashadi. Ikkinchi muammo kvant chiqish samaradorligining (quantum yield) yetarlicha yuqori va barqaror emasligidir. Ayrim CQDs namunalari yuqori PL intensivlikka ega boʻlsa-da, koʻplab hollarda bu koʻrsatkich past yoki tashqi omillar (harorat, pH, oksidlanish darajasi) taʼsirida tez oʻzgaradi. Bu esa ularning amaliy optik qurilmalarda uzoq muddat ishlatilishini cheklaydi. Uchinchi muhim masala CQDs ning agregatsiyalanish (yigʻilib qolish) tendensiyasidir. Nanomateriallar oʻzaro Van-der-Vaals kuchlari taʼsirida birikib, yirik agregatlar hosil qilishi mumkin. Bu holat ularning faol sirt maydonini kamaytiradi va fotolyuminesans samaradorligini pasaytiradi. Shu sababli ularni polimer matritsalar bilan bir xil darajada barqaror dispersiya qilish dolzarb muammo hisoblanadi. Toʻrtinchi muammo — uzoq muddatli fotostabillikning yetarli darajada taʼminlanmaganligidir. Kuchli yorugʻlik yoki ultrabinafsha nurlanish taʼsirida CQDs yuzasidagi funksional guruhlar degradatsiyaga uchrashi mumkin, bu esa emissiya intensivligining pasayishiga olib keladi. Ayniqsa, tashqi muhitda qoʻllaniladigan boʻyoqlar uchun bu juda muhim cheklov hisoblanadi. Shuningdek, sintez jarayonlarining murakkabligi va takrorlanuvchan natijalar olishdagi qiyinchiliklar ham mavjud. Turli laboratoriyalarda qoʻllaniladigan sharoitlar (harorat, vaqt, reagentlar nisbati) oʻzgarishi CQDs ning optik xossalariga bevosita taʼsir qiladi. Bu esa ilmiy

natijalarni solishtirish va standart model yaratishni qiyinlashtiradi. Umuman olganda, CQDs asosidagi innovatsion bo‘yoqlar istiqbolli materiallar bo‘lsa-da, ularning keng sanoat va amaliy qo‘llanilishi yuqoridagi muammolarni hal etishni talab qiladi. Shu bois, kelgusidagi tadqiqotlar asosan CQDs ning sintez jarayonini optimallashtirish, sirtini barqarorlashtirish va optik xossalarini boshqarish mexanizmlarini chuqur o‘rganishga qaratilishi lozim.

Tadqiqot metodologiyasi: Mazkur tadqiqotda uglerod nano nuqtachalari (CQDs) asosida yuqori intensiv yorug‘lik chiqaruvchi innovatsion bo‘yoqlarni yaratish va ularning optik xossalarini o‘rganish uchun kompleks ilmiy-metodik yondashuv qo‘llanildi. Tadqiqot jarayoni CQDs ni sintez qilish, ularni polimer matritsalariga kiritish, hamda olingan kompozit tizimlarning optik xossalarini tahlil qilish bosqichlaridan iborat bo‘ldi. Birinchi bosqichda CQDs ni olish uchun “bottom-up” yondashuvi asosida gidrotermal sintez usuli tanlandi. Ushbu usulda organik prekursorlar (masalan, limon kislotasi va karbamid) ma’lum nisbatda distillangan suvda eritilib, yuqori harorat va bosim sharoitida avtoklavda qayta ishlanadi. Reaksiya natijasida hosil bo‘lgan mahsulotlar sovutiladi, keyin esa filtratsiya va dializ jarayonlari orqali tozalanadi. Bu bosqichda zarracha o‘lchami va sirt funksional guruhlarini nazorat qilishga alohida e’tibor qaratildi. Ikkinchi bosqichda olingan CQDs polimer matritsalar bilan kompozit holatga keltirildi. Bunda PVA (polivinil spirt) yoki PMMA (polimetilmetakrilat) kabi polimerlar eritma holatiga keltirilib, CQDs bilan bir xil muhitda aralashtirildi. Hosil bo‘lgan aralashma quyish yoki spin-kasting usuli yordamida yupqa plyonkalar shaklida tayyorlandi. Bu jarayon CQDs ning bir tekis taqsimlanishini va agregatsiyalanishini kamaytirishni ta’minladi. Uchinchi bosqichda tayyorlangan materiallarning optik xossalari tahlil qilindi. Fotolyuminesans spektrlari spektrofotometr yordamida turli qo‘zg‘alish to‘lqin uzunliklarida o‘lchandi.

Emissiya spektri, maksimal intensivlik va spektral siljish (Stokes shift) kabi parametrlar qayd etildi. Kvant chiqish samaradorligi standart moddalar bilan taqqoslash usuli orqali aniqlandi. Shuningdek, fotostabillikni baholash uchun namunalar ma'lum vaqt davomida UV nurlanish ostida ushlab turilib, emissiya intensivligining o'zgarishi kuzatildi. Bundan tashqari, materiallarning tuzilishini o'rganish uchun qo'shimcha fizik-kimyoviy tahlil usullari qo'llanildi. Ularga transmissiya elektron mikroskopiyasi (TEM), infraqizil spektroskopiya (FTIR) va rentgen difraksiyasi (XRD) kiradi. Ushbu usullar CQDs ning o'lchami, kristall tuzilishi va sirt funksional guruhlarini aniqlash imkonini berdi. Umuman olganda, qo'llanilgan metodologiya CQDs asosidagi luminescent bo'yoqlarning sintezi va ularning optik xossalarini kompleks baholashga yo'naltirilgan bo'lib, olingan natijalarning ilmiy ishonchliligini ta'minlaydi.

Tadqiqot natijalari va muhokama: Tadqiqot davomida uglerod nano nuqtachalari (CQDs) asosida yuqori intensiv yorug'lik chiqaruvchi innovatsion bo'yoqlar sintez qilindi va ularning optik xossalari kompleks ravishda o'rganildi. Olingan natijalar CQDs ning fotolyuminesans xususiyatlari sintez sharoitlari, zarracha o'lchami hamda sirt funksional guruhlar tarkibiga kuchli bog'liqligini ko'rsatdi. Spektrofluorimetrik o'lchovlar CQDs keng emissiya diapazoniga ega ekanligini tasdiqladi. Qo'zg'alish to'lqin uzunligi o'zgargan sari emissiya spektrining siljishi kuzatildi, bu esa ularning sozlanadigan yorug'lik chiqarish (tunable emission) xususiyatini namoyon etdi. Eng yuqori fotolyuminesans intensivligi optimal sintez sharoitida olingan namunalarda qayd etildi, bu esa zarrachalarning bir xil dispersiyasi va faol sirt holatlari bilan izohlanadi. Kvant chiqish samaradorligi natijalari polimer matritsa bilan biriktirilgan kompozitlarda sezilarli darajada yuqori ekanligini ko'rsatdi. Ayniqsa PVA asosidagi tizimlarda emissiya barqarorligi va yorug'lik intensivligi yaxshilanganligi aniqlandi. Bu holat

CQDs ning agregatsiyalanishining kamayishi va energiya yo‘qotish jarayonlarining cheklanishi bilan bog‘liq. Fotostabillik tahlillari CQDs asosidagi bo‘yoqlar UV nurlanish ta’sirida ham nisbatan barqaror emissiya xususiyatini saqlab qolishini ko‘rsatdi. Shunga qaramay, uzoq muddatli nurlanish natijasida ayrim namunalarida intensivlikning biroz pasayishi kuzatildi, bu sirt funksional guruhlarining qisman degradatsiyasi bilan izohlanadi. FTIR va TEM tahlillari CQDs ning nanometr o‘lchamdagi sferik tuzilishga ega ekanligini hamda yuzasida gidroksil va karboksil guruhlar mavjudligini tasdiqladi. Ushbu funksional guruhlar materialning suvda eruvchanligini va polimerlar bilan mustahkam bog‘lanishini ta’minladi. XRD tahlillari esa CQDs qisman amorf tuzilishga ega ekanligini ko‘rsatdi. Muhokama jarayonida CQDs ning optik xossalari asosan sirt holatlari va elektron tuzilishdagi lokal energiya darajalari bilan belgilanishi aniqlandi. Emissiya jarayonida sirtga bog‘langan holatlar asosiy rol o‘ynab, keng spektrli yorug‘lik chiqishini ta’minlaydi. Polimer matritsa esa materialning mexanik barqarorligini oshiribgina qolmay, optik emissiya barqarorligini ham mustahkamlaydi. Shu bilan birga, sintez jarayonining sezgirligi, zarracha o‘lchamining to‘liq bir xil emasligi va uzoq muddatli fotodegradatsiya kabi muammolar mavjudligi aniqlandi. Bu holatlar kelgusida materiallarni yanada optimallashtirish zarurligini ko‘rsatadi. Natijalar CQDs asosidagi bo‘yoqlar yuqori optik samaradorlik, barqaror emissiya va ekologik xavfsizlikka ega istiqbolli materiallar ekanligini tasdiqlaydi hamda ularning amaliy qo‘llanilish sohalarini kengaytirish mumkinligini ko‘rsatadi.

Xulosa: Mazkur tadqiqotda uglerod nano nuqtachalari (CQDs) asosida yuqori intensiv yorug‘lik chiqaruvchi innovatsion bo‘yoqlarni yaratish va ularning optik xossalarini o‘rganish amalga oshirildi. O‘rganishlar davomida CQDs ning fotolyuminesans xususiyatlari ularning sintez sharoitlari, zarracha o‘lchami va sirt

funksional guruhlari bilan chambarchas bog‘liqligi aniqlandi. Gidrotermal “bottom-up” usulida olingan CQDs yuqori barqarorlik va yaxshi emissiya xossalarini namoyon etdi. Polimer matritsalar (xususan PVA va PMMA) bilan hosil qilingan kompozit tizimlar CQDs ning agregatsiyalanishini kamaytirib, ularning kvant chiqish samaradorligi va yorug‘lik intensivligini sezilarli darajada oshirdi. Spektral tahlillar CQDs ning keng diapazonda sozlanadigan emissiya xususiyatiga ega ekanligini tasdiqladi, bu esa ularning optoelektronika va funksional qoplama materiallarida qo‘llanilish imkoniyatlarini kengaytiradi. Shu bilan birga, fotostabillikning cheklanganligi, sintez jarayonining sezgirliги va zarracha o‘lchamining to‘liq bir xil emasligi kabi muammolar mavjudligi qayd etildi. Ushbu muammolarni bartaraf etish CQDs asosidagi materiallarning sanoat miqyosida qo‘llanilishini yanada kengaytirishga xizmat qiladi. Natijalar CQDs asosidagi bo‘yoqlar ekologik xavfsiz, yuqori samarali va istiqbolli luminescent materiallar ekanligini tasdiqlaydi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Baker, S. N., & Baker, G. A. (2010). Luminescent carbon nanodots: Emergent nanolights. *Angewandte Chemie International Edition*, 49(38), 6726–6744.
2. Lim, S. Y., Shen, W., & Gao, Z. (2015). Carbon quantum dots and their applications. *Chemical Society Reviews*, 44(1), 362–381.
3. Sun, Y. P., Zhou, B., Lin, Y., Wang, W., Fernando, K. A. S., et al. (2006). Quantum-sized carbon dots for bright photoluminescence. *Journal of the American Chemical Society*, 128(24), 7756–7757.
4. Hola, K., Zhang, Y., Wang, Y., et al. (2014). Carbon dots—Emerging light emitters for bioimaging and optoelectronics. *Nano Today*, 9(5), 590–603.

5. Li, H., Kang, Z., Liu, Y., & Lee, S. T. (2012). Carbon nanodots: synthesis, properties and applications. *Journal of Materials Chemistry*, 22, 24230–24253.
6. Wang, Y., Hu, A. (2014). Carbon quantum dots: synthesis, properties and applications. *Journal of Materials Chemistry C*, 2, 6921–6939.
7. Xu, X., Ray, R., Gu, Y., et al. (2013). Electrophoretic analysis of fluorescent carbon nanodots. *Journal of the American Chemical Society*, 135(46), 17631–17634.
8. Ding, C., Zhu, A., Tian, Y. (2014). Functional surface states of carbon dots. *Accounts of Chemical Research*, 47(2), 20–30.
9. Zhao, A., Chen, Z., et al. (2015). Recent advances in carbon dots. *Nanoscale*, 7, 6199–6219.
10. Wang, F., Xie, Z., Zhang, H., Liu, C. (2011). Highly luminescent carbon quantum dots. *Advanced Materials*, 23(31), 390–395.