

UDK: 535.374

Shaymardanov Zafar Shapaatovich

Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti, katta ilmiy xodim
tel: +998972631078, Email: zshaymardanov@mail.ru

Urolov Shamsidin Zayniddinovich

Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti, katta ilmiy xodim
Email: shz.urolov@gmail.com

Jalolov Rivojiddin Ruhitdin o'g'li

Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti, katta ilmiy xodim
Email: rr_jalolov@iplt.uz

Rustamova Bahora Normurod qizi

Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti, katta ilmiy xodim
Email: rustamovab777@gmail.com

Abdullayeva Muyassar Zohidjon qizi

Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti,
magistratura talabasi

Email: muyassar3900@gmail.com

ZnO NANOSTRUKTURALARINING OPTIK VA ELEKTRON

XOSSALARIGA KRISTALLOGRAFIK NUQSONLARNING TA'SIRI

Annotatsiya

Ushbu tadqiqot ishida past haroratda kimyoviy cho'ktirish usulida kvars shisha plastinkalar yuzasida o'stirilgan rux oksidi (ZnO) nanokristallarining fotoluminessensiya (FL) spektriga va elektr qarshiligiga yuqori haroratda qizdirishning ta'siri o'rganilgan. Tadqiqotlar ko'rsatdiki, nanokristallarning FL spektri ~384 nm va ~564 nm to'lqin uzunliklarida joylashgan nurlanish polosalaridan iborat. FL spektrining ~384 nm to'lqin uzunligida joylashgan nurlanish polosalari erkin eksitonlar rekombinatsiyasi yoki zonalar yaqinidagi o'tishlar hisobiga, ~564 nm to'lqin uzunliklarida joylashgan nurlanish polosasi esa ZnO ning xususiy defektlari yoki ularning komplekslari tufayli paydo bo'ladi. ZnO nanokristallarini 200°C haroratda 1 soat qizdirilganda xususiy nuqsonlarga yoki ularning komplekslariga tegishli bo'lgan ~564 nm to'lqin uzunliklarida joylashgan nurlanish polosasining yo'qolishi, namunalarning kristal panjarasidagi defektlar konsentratsiyasining minimal bo'lishini va ularning optik sifati yaxshilanishi spektral fotoluminessent usulda aniqlandi. Bundan yuqori haroratlar (350°C, 500°C, 650°C)da qizdirish nanokristallarda kislorod vakansiyalari va strukturaviy

nuqsonlar paydo bo'lishiga olib keldi. ZnO nanokristallarining elektr qarshiligi nanokristallardagi xususiy nuqsonlar konsentratsiyasiga va turiga bog'liqligi aniqlandi.

Kalit so'zlar: Fotolyuminessensiya spektri, ZnO nanokristallari, strukturaviy nuqsonlar, kislorod vakansiyalari, nurlanish polosasi

UDC 535.374

Shaymardanov Zafar Shapaatovich

Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, PhD

tel: +998972631078, Email: zshaymardanov@mail.ru

Urolov Shamsidin Zayniddinovich

Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, PhD

Email: shz.urolov@gmail.com

Jalolov Rivojiddin Ruhitdin o'g'li

Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, PhD

Email: rr_jalolov@iplt.u

Rustamova Bahora Normurod kizi

Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, PhD

Email: rustamovab777@gmail.com

Abdullayeva Muyassar Zohidjon kizi

National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek,
master's student

Email: muyassaar3900@gmail.com

EFFECT OF CRYSTALLOGRAPHIC DEFECTS ON THE OPTICAL AND ELECTRONIC PROPERTIES OF ZnO NANOSTRUCTURES

Abstract

In this study, the effect of high-temperature annealing on the photoluminescence (PL) spectrum and electrical resistance of zinc oxide (ZnO) nanocrystals grown on quartz glass plates by low-temperature chemical bath deposition method was studied. Studies have shown that photoluminescence spectrum of nanocrystals consists of emission bands located at wavelengths of ~384 nm and ~564 nm. The emission bands of the PL spectrum located at ~384 nm appear due to the recombination of free exciton or near-band edge transitions, and the emission band located at wavelengths of ~564 nm appears due to native defects of ZnO or their complexes. When ZnO nanocrystals were annealed at 200°C for 1 hour, the

disappearance of the emission band at ~564 nm wavelengths, which corresponded to native defects or their complexes, the minimum concentration of defects in the crystal lattice of the samples, and the improvement of their optical quality were detected by the spectral photoluminescence method. Annealing at higher temperatures (350°C, 500°C and 650°C) led to the appearance of oxygen vacancies and structural defects in the nanocrystals. It was found that the electrical resistance of ZnO nanocrystals depends on the concentration and type of intrinsic defects in the nanocrystals.

Keywords: Photoluminescence spectrum, ZnO nanocrystals, structural defects, oxygen vacancies, emission band.

УДК: 535.374

Шаймарданов Зафар Шапаатович
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий,
старший научный сотрудник
tel: +998972631078, Email: zshaymardanov@mail.ru

Уролов Шамсиддин Зайнутдинович
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий, с
тарший научный сотрудник
Email: shz.urolov@gmail.com

Джалолов Ривожиддин Рухитдин угли
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий,
старший научный сотрудник
Email: rr_jalolov@iplt.u

Рустамова Бахора Нурмурод кызы
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий,
старший научный сотрудник
Email: rustamovab777@gmail.com

Абдуллаева Муяссар Зохиджан кызы
Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека,
магистрант
Email: muyassaar3900@gmail.com

**ВЛИЯНИЕ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ НА
ОПТИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУР
ZnO**

Аннотация

В данной работе исследовалось влияние высокотемпературного нагрева на спектр фотолюминесценции (ФЛ) и электрическое сопротивление нанокристаллов оксида цинка (ZnO), выращенных на поверхности кварцевых стеклянных пластин методом низкотемпературного химического осаждения. Исследования показали, что спектр ФЛ нанокристаллов состоит из полос излучения, расположенных на длинах волн ~ 384 нм и ~ 564 нм. Полосы излучения на длине волны ~ 384 нм в спектре ФЛ возникают за счет рекомбинации свободных экситонов или переходов вблизи зон, тогда как полоса излучения на длине волны ~ 564 нм возникает за счет собственных дефектов ZnO или их комплексов. При нагреве нанокристаллов ZnO до 200°C в течение 1 часа методом спектральной фотолюминесценции было определено исчезновение полосы излучения на длине волны ~ 564 нм, связанной со специфическими дефектами или их комплексами, минимальная концентрация дефектов в кристаллической решетке образцов и улучшение их оптического качества. Нагревание при более высоких температурах (350°C , 500°C , 650°C) приводило к образованию кислородных вакансий и структурных дефектов в нанокристаллах. Было установлено, что электрическое сопротивление нанокристаллов ZnO зависит от концентрации и типа конкретных дефектов в нанокристаллах.

Ключевые слова: Спектр фотолюминесценции, нанокристаллы ZnO, структурные дефекты, кислородные вакансии, полоса излучения.

Kirish

Bugungi kunda rux oksidi (ZnO) nanomateriallari o'zining mukammal kristallik sifati va noyob elektrooptik xususiyatlari sabab optoelektronika texnologiyalari uchun istiqbolli material sifatida katta qiziqishlarga sabab bo'lmoqda. ZnO taqiqlangan zona kengligi xona xaroratida 3.37 eV, erkin eksitonining bog'lanish energiyasi 60 meV bo'lgan keng zonali yarimo'tkazgich materialdir [1]. Yarimo'tkazgich materiallarning optik xususiyatlari ichki va tashqi ta'sirlarga

kuchli bog'liqdir. O'tkazuvchanlik zonasidagi elektronlar bilan valentlik zonasidagi kovaklar o'rtasidagi ichki optik o'tishlar, aniqrog'i, Kulon o'zaro ta'sirlashuvidan kelib chiqadigan eksitonik effektlar yarimo'tkazgich materiallarning optik xossalarida muhim ahamiyatga ega. Tashqi xususiyatlar kirishmalar yoki nuqsonlar bilan bog'liq bo'lib, ular odatda taqiqlangan sohada o'zining diskret elektron sathlarini hosil qiladi va natijada, bu sathlar optik o'tish jarayonlariga ta'sir o'tkazishi mumkin.

Nanostrukturalarning optik xossalarini tadqiq etishda fotolyuminessent spektroskopiya namunaga zarar yetkazmagan holda, nanostrukturalarning optik sifatini va ulardagi nuqtaviy defektlarni, shu jumladan, materiallarning tashqi va ichki nuqsonlarini aniqlashda yuqori sezgirlikka ega bo'lgan ishonchli uslubdir. Odatda, ZnO nanostrukturalarida xona temperaturasidagi fotolyuminessensiya (FL) spektrlarida ultrabinafsha (UB) va ko'zga ko'rinuvchi sohalarda ikki qismdan tashkil topgan nurlanish polosalari kuzatiladi. Ultrabinafsha (UB) sohada yuqori intensivlikka ega tor nurlanish polosasi 382- 390 nm to'lqin uzunligida joylashgan polosasi ZnO ning zonalarida yaqinidagi optik o'tishlar yoki erkin eksitonlar rekombinatsiyasi natijasida paydo bo'ladi [2,3]. Spektrning ko'zga ko'rinuvchi sohada joylashgan nurlanish polosasi esa 400-700 nm to'lqin uzunligida joylashgan bo'lib, bu nurlanish polosalari o'tkazuvchanlik zonasidan taqiqlangan zonadagi kristallografik nuqsonlarga tegishli sathlarga o'tishda yoki nuqsonlarga tegishli sathdan valent zonaga o'tishda yuzaga keladigan nurlanish hisoblanadi. Ko'zga ko'rinuvchi sohada joylashgan nurlanish polosasining kelib chiqishini tushuntiruvchi ko'plab farazlar mavjud, ammo ilmiy adabiyotlarda bu borada yagona nuqtai nazar mavjud emas [4,5]. Kislorodga boy muhitlarda sintez qilingan ZnO nanostrukturalarining FL spektrlarida sariq-to'qsariq nurlanish polosasi kuzatilgani juda ko'plab tadqiqotchilar tomonidan qayd qilib o'tilgan. Ushbu nurlanish polosasi nanostrukturalarni sintez qilish usuli va sharoitlariga ko'ra 560-600 nm to'lqin uzunliklari orasida kuzatilishi mumkin [6,7,8]. ZnO ning xususiy nuqsonlari ichida kristal panjara tugunlari orasida joylashgan ortiqcha kislorod atomlari sariq-to'qsariq nurlanish polosasini vujudga kelishiga sabab

bo'lishi ko'plab tadqiqotchilar tomonidan keltirilgan [9,10]. Shuningdek, First principle metodi asosida hisoblangan ZnO ning elektron zona tuzilishida ning hosil qilgan sathi o'tkazuvchanlik zonasi minimumidan taxminan 2,28 eV pastda joylashadi va buning natijasida elektronlarning o'tkazuvchanlik zonasidan taqiqlangan zonadagi ga tegishli sathga o'tishi sariq-to'qsariq nurlanish polosasini hosil qiladi [11,12]. Biroq, ushbu sariq-to'q sariq nurlanish polosasining tabiatini o'rganishga bag'ishlangan qator tadqiqotlar olib borilganiga qaramasdan, bu borada aniq to'xtamga kelinmagan. Quyosh batareyalari, tekis panelli displeylar, yorug'lik diodlari va shu kabi bir qator optoelektron qurilmalar uchun kamxarj optik jixatdan shaffof o'tkazuvchan yupqa oksid plyonkalariga bo'lgan extiyoj kundan-kunga ortib bormoqda. Hozirgi kunda qalay kiritilgan indiy oksidi (ITO) yuqori elektr o'tkazuvchanligi va optik jixatdan shaffofligi tufayli eng keng tarqalgan hisoblanadi. Biroq, ITO ishlab chiqarishda indiyning yuqori narxi, zaharliligi va tanqisligi uning imkoniyatlarini cheklaydi. Muqobil materiallar orasida ZnO nisbatan arzonligi, ta'qiqlangan zona energiyasi kattaligi va boshqa noyob elektrooptik xususiyatlari sababli shaffof o'tkazuvchan oksid yupqa plyonkalari uchun istiqbolli materialdir. Shu sababdan turli nuqsonlarning ZnO nanostrukturalarining elektron xossalriga ta'sirini tadqiq qilish muhim ahamiyat kasb etadi. A.Velázquez-Nevárez va boshqalar [11] tomonidan izoprapanolli eritma yordamida hosil qilingan ZnO yupqa plyonkalariga yuqori haroratlarda termoishlov berish natijasida elektr qarshiligining o'zgarishi tadqiq qilingan. ZnO yupqa plyonkasiga termoishlov berish temperaturasi 400°C dan 800°C gacha ortganda uning elektr qarshiligi 7,1 $\Omega \cdot \text{sm}$ dan 1641,7 $\Omega \cdot \text{sm}$ gacha ortgani kuzatilgan. Ammo, ZnO nonokristallariga termoishlov berish natijasida nuqsonlarni modifikatsiya qilish va ularning elektr qarshiligiga ta'siri tadqiq qilinmagan muammolardan biridir.

Ushbu ishda past haroratli gidrotermal usulda ITO tagliklarda sintez qilingan ZnO nanokristallarining FL xossalriga va elektr qarshiligiga yuqori haroratda qizdirishning ta'siri tadqiq etilgan.

Eksperimental qism

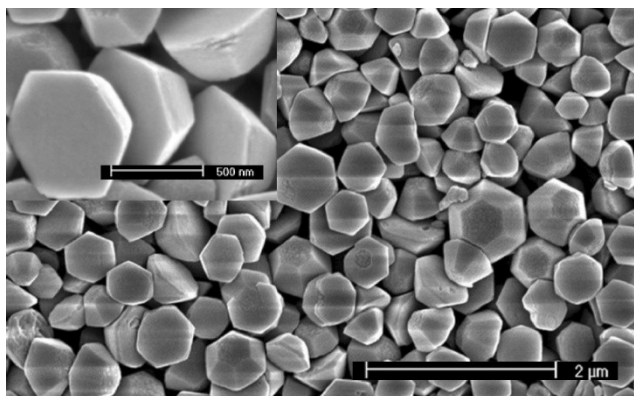
Past haroratda suvli eritmalarda ZnO nanostrukturalarini sintez qilishda yuqori tozalikdagi $\text{ZnC}_4\text{H}_6\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 99,99% kimyoviy reaktivlardan foydalanildi. Bu sintez qilingan namunalarning kristal strukturasi kirishma moddalar miqdorining minimal bo'lishini ta'minlaydi. ZnO nanokristallarini sintez qilishda kimyoviy cho'ktirish usulidan foydalanildi. Dastlab tagliklar sifatida qo'llaniluvchi ITO qoplangan kvars shisha plastinkalar ($10 \times 10 \times 0,5$ mm) ultra tovushli vannada etil spirti, atseton va distillangan suv yordamida navbat bilan tozalandi. Bunda tagliklar yuzasiga o'rnashib qolgan tozalovchi suyuqlikning qoldiqlari to'liq parlanib ketadi. Tozalash jarayonidan keyin kvars shisha plastinkalarning ishchi yuzasining tozalik darajasi optik mikroskop yordamida tekshirildi. Shundan so'ng shisha kolbada 0.6586 g $\text{ZnC}_4\text{H}_6\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ning CH_4O dagi eritmasi tayyorlandi.

Eritma ~15 minut davomida magnetik meshalka yordamida intensiv aralashtirilib shaffof suyuqlik holiga keltirildi va unga 10 ml miqdorda deionlashtirilgan suv qo'shib 10 minut magnetik meshalka yordamida intensiv aralashtirildi. Shisha kolbaning asosiga avvaldan tozalangan tagliklar gorizontol holatda joylashtirildi. Keyin kolba zich qilib yopilib, issiqlikka chidamli slindrik idishga joylashtirilib, maxsus pechda 63°C doimiy haroratda 24 soat davomida ZnO nanokristallari sintez qilindi. ZnO nanokristallarining FL spektrlari impulsli azot lazeri ($\lambda = 337,1$ nm, $\tau = 6$ ns, $P = 15$ kVt) yordamida uyg'otildi. FL spektrlari MDR-23 monoxromatori asosida yig'ilgan eksperimental qurilmadan foydalanib qayd qilindi. ZnO nanokristallarining morfologik xossalari skanlovchi elektron mikroskopda (SEM) (PHILIPS XL-30) tadqiq qilindi.

Natijalar va muhokamalar

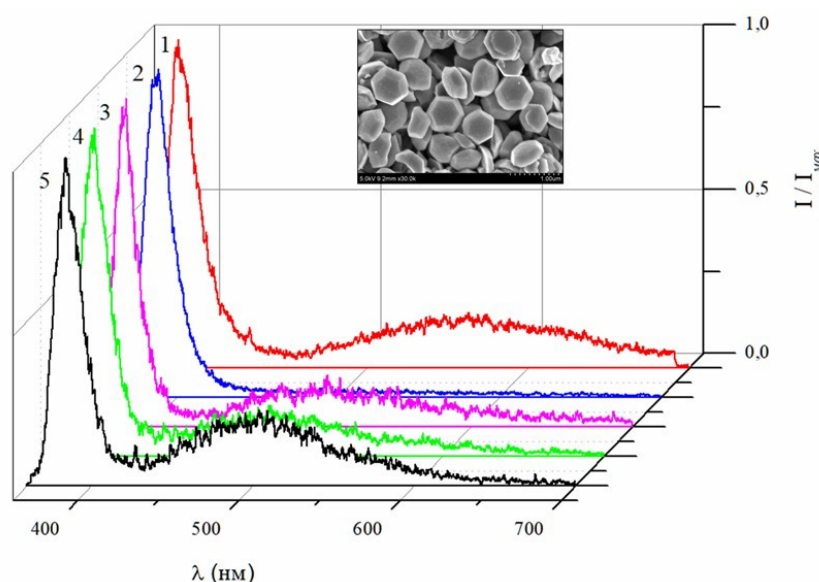
Yuqori haroratlarda sintez qilingan nanostrukturalardan farqli ravishda suvli eritmalarda sintez qilingan rux oksidi nanostrukturalarining kristal strukturasi nuqsonlar kuzatiladi. Bu kristal nuqsonlarning tabiatini o'rganish va ularga tashqi omillarning ta'sirlarini o'rganish dolzarb ilmiy masalalardan hisoblanadi. 1-rasmda kimyoviy cho'ktirish usulida sintez qilingan nanokristallarining skanlovchi

elektron mikroskopda olingan tasviri keltirilgan. SEM tasvirlardan ZnO nanokristallarining o'lchamlari 400-700 nm va ularning morfologiyasi olti burchakli kesik piramida shaklida ekanligini ko'rish mumkin.



1-rasm. ZnO nanokristallarining skanlovchi elektron mikroskopda olingan tasviri

ZnO nanostrukturalarini suvli eritmalarida sintez qilish past haroratlarda olib borilgani uchun nanostrukturalarning xossalariga ta'sir etuvchi eng muhim omil bu yuqori haroratda termoishlov berishdir. ZnO nanokristallarining FL xossalariga yuqori haroratlarda mufel pechida qizdirishning ta'siri tadqiq etildi. Sintez qilingan nanokristallarining FL spektrida ham ~ 384 nm va ~ 564 nm to'liq uzunliklarida joylashgan nurlanish polosalari kuzatildi (2- rasm, 1-egri chiziq).



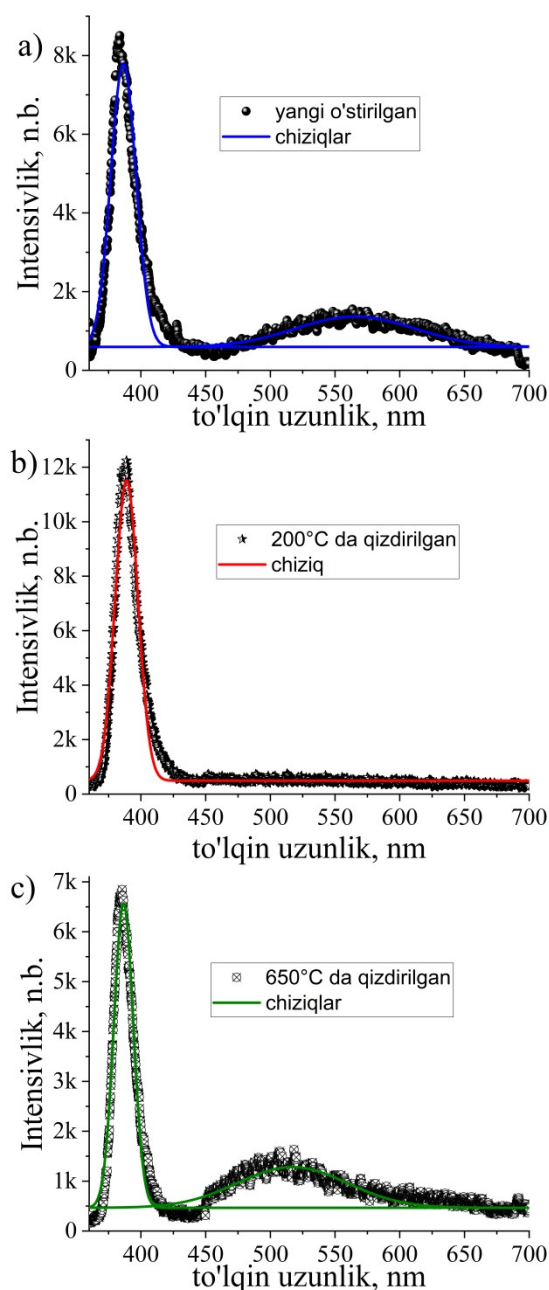
2- rasm. ZnO nanokristallarining turli haroratlarda 1 soat qizdirilgandan keyingi FL spektrlari: 1) yangi o'stirilgan, 2) 200°C da, 3) 350°C da, 4) 500°C da va 5) 650°C da qizdirilgan namuna

Adabiyotlar taxliliga ko'ra, ZnO nanostrukturalari FL spektridagi ~384 nm to'liq uzunligida joylashgan nurlanish polosasi erkin eksitonlar rekombinatsiyasi yoki zonalar yaqinidagi o'tishlar hisobiga paydo bo'ladi [6,7].

Nanostrukturalarni sintez qilishda begona kirishmalar bo'lmaganligi uchun 560-570 nm (2.18-2.21 eV) to'liq uzunligidagi keng nurlanish polosasini ZnO ning xususiy defektlari yoki ularning komplekslari bilan bog'lash mumkin. Ko'p hollarda, bu nurlanish polosasi kislorod atomlariga boy muhitda yoki past haroratda suvli eritmalarida sintez qilingan ZnO nanostrukturalarining FL spektrlarida kuzatiladi va kristal panjara tugunlari orasida joylashgan ortiqcha kislorod atomlari (O_i^{-2}) yoki ularning komplekslariga taalluqli degan nazariya ilgari suriladi [6,7,13,14]. First principle metodi asosida olingan natijalarga ko'ra, ning neytral holatdan bir karra manfiy zaryadlangan holat ga o'tishi valent zona maksimumidan 0,46 eV yuqorida joylashadi. Bir karra manfiy zaryadlangan holatdan ikki karra manfiy zaryadlangan holat ga o'tishi esa valent zona maksimumidan ~0,9-1,2 eV yuqorida joylashadi [1, 15]. Ushbu ishlarda keltirilgan nazariy hisob-kitoblar asosida aytish mumkinki, uyg'otilgan elektron o'tkazuvchanlik zonasidan O_i^{-2} ga tegishli sathga o'tishi natijasida ZnO nanostrukturalarining FL spektrida maksimumi ~570 nm (2,18 eV) da joylashgan nurlanish polosasi paydo bo'ladi. Bu gipoteza [16] ishda mualliflar tomonidan qo'llab quvvatlangan bo'lib, ZnO ning yupqa plyonkalarida akseptor tipidagi nuqsonlar konsentratsiyasining ortishi to'q sariq nurlanish polosasi intensivligining ortishiga olib kelishi bayon qilingan. ZnO nanostrukturalarining FL spektridagi UB sohadagi nurlanish polosasi intensivligi ning nuqsonlarga tegishli bo'lgan ko'rinuvchi sohadagi nurlanish polosasi intensivligi ga nisbati ZnO nanostrukturalarining sifat ko'rsatkichidir. Hona haroratida olingan ZnO nanokristallarining FL spektri uchun ekanligi (2- rasm, 1-egri chiziq) sintez qilingan nanokristallar ancha mukammal struktura ega ekanligini ko'rsatadi. Tadqiqotlar ko'rsatdiki, ZnO nanokristallarini mufel pechida 200°C haroratda 1 soat qizdirishdan keyin ularning FL spektridagi UB nurlanish polosasining yarimkengligi kamayib, ~570 nm to'liq uzunligida joylashgan nurlanish polosasi

yo‘qoladi (2- rasm, 2-egri chiziq). Haroratning ortib borishi bilan ~ 510 nm to‘lqin uzunligida joylashgan nurlanish polosasi paydo bo‘lishi kuzatildi (2- rasm, 3,4,5-egri chiziqlar).

FL spektrlaridagi nurlanish polosalaridagi o‘zgarishlarni yanada yaqqol ko‘rinishi uchun ularni Gauss tashkil etuvchilariga ajratish mumkin.

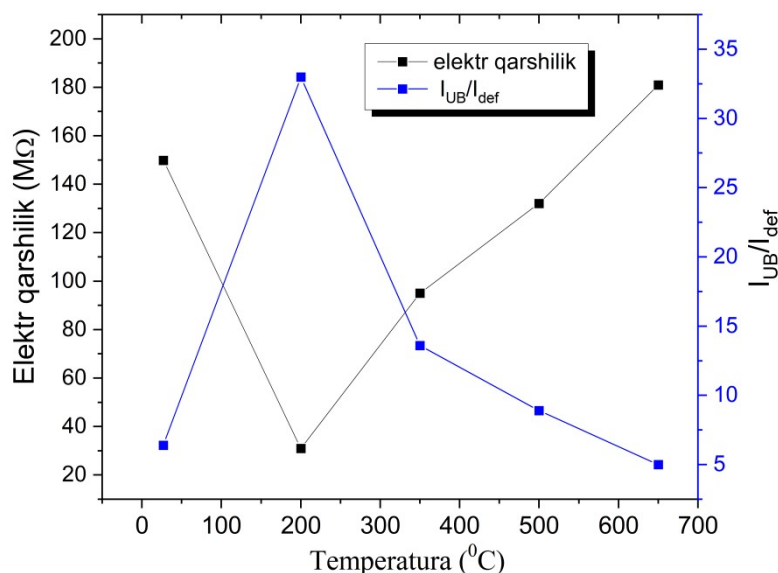


3- rasm. ZnO nanokristallarining turli haroratlarda 1 soat qizdirilgandan keyingi FL spektrlarining Gauus komponentalari: a) yangi o‘stirilgan, b) 200°C da, c) 650°C da qizdirilgan namunalar

3- rasmda ZnO nanokristallarining yangi o'stirilgan (a), $\sim 200^{\circ}\text{C}$ da (b) va $\sim 650^{\circ}\text{C}$ da (c) 1 soat qizdirilgandan keyingi FL spektrlarining Gauss komponentalari keltirilgan. Rasmdan yangi o'stirilgan ZnO nanokristallarining FL spektri UB va ko'rinuvchi sohalarda joylashgan ikkita Gauss tashkil etuvchilaridan iborat ekanligini ko'rishimiz mumkin (3- (a) rasm). Nanokristallarning FL spektridagi bu o'zgarishlar ZnO nanokristallarini mufel pechida $\sim 200^{\circ}\text{C}$ da 1 soat qizdirish natijasida ko'rinuvchi sohadagi nurlanish polosasining yo'qolishi (3- (b) rasm), ularning kristal strukturasidagi ortiqcha kislorod atomlari kristal panjarani tark etishidan va ularning konsentratsiyasi minimal bo'lishidan dalolat beradi. Mufel pechida $\sim 200^{\circ}\text{C}$ da qizdirilgan ZnO nanokristallari FL spektrining UB sohadagi nurlanish polosasi intensivligining nuqsonlarga tegishli bo'lgan nurlanish polosasi intensivligiga nisbati ga teng bo'ldi. Ushbu nisbat va FL spektridagi o'zgarishlar ZnO nanokristallarini ochiq havoda $\sim 200^{\circ}\text{C}$ da ~ 1 soat qizdirish natijasida ulardagi kristal nuqsonlar miqdori keskin kamayishini ko'rsatadi. Nanokristallar 650°C haroratda 1 soat qizdirilgandan keyin ularning FL spektridagi UB nurlanish polosasining yarimkengligi kamayishi bilan birga $\sim 510\text{ nm}$ ($2,43\text{ eV}$) to'lqin uzunligida yashil nurlanish polosasi paydo bo'lganligini yaqqol ko'rish mumkin (3- (c) rasm,). FL spektridagi UB va yashil nurlanish polosalari intensivliklari nisbati ~ 13.6 ga teng. ZnO nanostrukturalarining FL spektrida kuzatiladigan yashil nurlanish polosasining yuzaga kelishiga bag'ishlangan bir qator gipotezalar mavjud. [17] ishda ZnO parashoklarining optik xossalari elektron-paramagnetik-rezonans (EPR), absorbsion va fotolyuminessent spektroskopiya usullari yordamida tadqiq etilganda FL spektrida $\sim 510\text{ nm}$ ($2,43\text{ eV}$) to'lqin uzunligida yashil nurlanish polosasi kuzatilgan. Mualliflar EPR va fotolyuminessent spektroskopiya natijalaridan kelib chiqib, ushbu nurlanish polosasini bir karra musbat zaryadlangan kislorod vakansiyasi bilan bog'lashgan. Ushbu gipotezaga mos tahlillar [18] tadqiqot ishida ham keltirilgan. Tadqiqotlarda ZnO nanostrukturalarining optik xossalari EPR va fotolyuminessent spektroskopiya usullarida o'rganilgan bo'lib, mualliflar EPR spektridagi $G \sim 1.96$ pik va FL spektrida 506 nm ($2,45\text{ eV}$) da yashil nurlanish polosasi kuzatilganligini bayon

qilishgan. Tadqiqot natijalari asosida yashil nurlanish polosasi kislorod atomlariga boy bo'lmagan muhitlarda sintez qilingan yoki yuqori haroratda qizdirilgan ZnO nanostrukturalarining FL spektrida kuzatilishini va bu nurlanish kislorod vakansiyalari bilan bog'liq ekanligini xulosa qilishgan [17,18]. Nanokristallarga 350°C va 650°C haroratda 1 soat termoishlov berilgandan keyin qayd qilingan FL spektrlarida UB nurlanish polosasi o'zgarmasdan qolib, yashil nurlanish polosasining intensivligi ortishi kuzatildi. FL spektridagi UB va yashil nurlanish polosalari intensivliklari nisbati kamayib, mos ravishda 8.9 va 5 qiymatlarni qabul qildi. Nisbatning kamayishi nanokristallarni qizdirish harorati ortishi bilan ularning kristal strukturasidagi kislorod vakansiyalarining konsentratsiyasi ortishi bilan bog'liq deyish mumkin.

ZnO nanokristallarini mufel pechida turli xaroratlarda qizdirish natijasida ulardagi nuqsonlar konsentratsiya va turi o'zgarishi ta'sirida namunalar qabul qilgan elektr qarshiliklariga bog'liqligi o'rganildi. ZnO nanokristallari elektr qarshiligi va ularning FL spektridagi UB nurlanish polosasi intensivligining nuqsonlarga tegishli bo'lgan nurlanish polosasi intensivligiga nisbati I_{UB}/I_{def} ning qizdirish temperaturasi bog'liqligi 4-rasmda keltirilgan.



4- rasm. Kimyoviy cho'ktirish usulida sintez qilingan ZnO nanokristallari elektr qarshiligi va ularning FL spektridagi UB nurlanish polosasi intensivligining nuqsonlarga tegishli bo'lgan nurlanish polosasi intensivligiga nisbati ning qizdirish temperaturasi bog'liqligi

Grafikdan ko‘rinadiki, ZnO nanokristallarining elektr qarshiligi nanokristallarga termoshlov beriladigan temperaturaga nochiqli bog‘liqdir. ZnO nanokristallarining elektr qarshiligi qizdirish temperaturasi bog‘liqligini ikki qismga ajrtish mumkin. Birinchisi, nanokristallarga 200°C haroratgacha termoshlov berilgan qism. Bu qismda nanokristallarning elektr qarshiligi qizdirish temperaturasi teskari chiziqli bog‘liq bo‘lib, qizdirish harorati ortib borishi bilan nanokristallarning elektr qarshiligi kamayib bordi va 200°C haroratda eng minimum qiymatga ega bo‘ldi. Ikkinchisi, nanokristallarga 200°C haroratdan yuqori temperaturalarda termoshlov berilgan qism. Bu qimda esa nanokristallarning elektr qarshiligi qizdirish temperaturasi chiziqli bog‘liq bo‘lib, termoshlov berish harorati ortib borishi bilan nanokristallarning elektr qarshiligi ortib bordi. ning qiymati dastlab ZnO nanokristallari qizdirish haroratining ortishi bilan chiziqli ravishda ortib boradi va o‘zining maksimal qiymatiga 200°C temperaturada qizdirilgan namunalarda erishdi. So‘ngra, qizdirish xaroratining ortib borishi bilan namunaning optik sifat ko‘rsatkichi) ham kamayib bordi. Grafikdan namunaning elektr qarshiligi uning optik sifat ko‘rsatkichiga teskari nisbatda bog‘langanligi ko‘rinadi. Ma’lumki, namunaning optik jixatdan sifat ko‘rsatkichi nanokristallardagi nuqsonlar konsentratsiyasi va turiga bog‘liqdir. Shu jihatdan namunada nuqsonlarning paydo bo‘lishi va ularning konsentratsiyasining ortishi namunaning optik sifat ko‘rsatkichini pasayishiga va elektr qarshiligining ortishiga sabab bo‘ladi.

Xulosa

Past haroratda suvli eritmalarida kimyoviy cho‘ktirish va gidrotermal usulda ZnO nanokristallari sintez qilindi. Elektron mikroskopiya tahlillari ko‘rsatdiki, nanokristallar o‘lchamlari 400-700 nm atrofida bo‘lib, geksogonal tuzilishga ega. ZnO nanokristallari ochiq havoda 200°C haroratda 1 soat qizdirilganda ularning kristal panjarasidagi nuqsonlar konsentratsiyasi minimal bo‘ladi va ularning optik sifati yaxshilanadi. 200°C dan yuqori haroratlarda qizdirish nanokristallarda kislorod vakansiyalari va srtukturaviy defektlar paydo bo‘lishiga olib keladi. ZnO

nanokristallarining elektr qarshiligi nanokristallardagi xususiy strukturaviy nuqsonlar konsentratsiyasiga va turiga bog'liqligi aniqlandi.

Minnatdorchilik

Ushbu maqoladagi olingan natijalar O'zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasining fundamental tadqiqotlarni bazaviy moliyalashtirish dasturi bo'yicha amalga oshirilgan.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Özgür Ü., Alivov Ya.I., Liu C., Teke A., Reshchikov M.A., Doğan S., Avrutin V., Cho S.-J., Morkoç H. *A comprehensive review of ZnO materials and devices*. J. Appl. Phys. 2005. Vol. **98**. 041301.
2. K.H. Tam, C.K. Cheung, Y.H. Leung, A.B. Djurišić, C.C. Ling, C.D. Beling, S. Fung, W.M. Kwok, W.K. Chan, D.L. Phillips, L. Ding, W.K. Ge. *Defects in ZnO Nanorods Prepared by a Hydrothermal Method*. // J. Phys. Chem. B110 (**42**) (2006) 20865–20871.
3. S. Kurbanov, G. Panin, T.W. Kim and T.W. Kang. *Thermo- and Photo-annealing of ZnO Nanocrystals*. // Japanese Journal of Applied Physics. Vol. **46**, No. 7A, 2007, pp. 4172–4174.
4. Willander M.; Nur O.; Sadaf J.R.; Qadir M.I.; Zaman S.; Zainelabdin A.; Bano N.; Hussain I. *Luminescence from zinc oxide nanostructures and polymers and their hybrid devices*. // Materials. 2010. **3**. 2643–2667.
5. Djurisić A.B., Ng A.M.C., Chen X.Y. Review. *ZnO nanostructures for optoelectronics: Material properties and device applications*. // Prog. Quant. Electron. 2010. V. **34**. pp. 191–259.
6. S. Kurbanov, G. Panin, Tae Won Kang and Tae Whan Kim. *Modulation of Excitonic Emission from ZnO Nanocrystals by Visible Light Illumination* // Japanese Journal of Applied Physics. Vol. **47**, No. 5, 2008, pp. 3760–3762.
7. S.S. Kurbanov, G.N. Panin, T.W. Kim, T.W. Kang. *Strong violet luminescence from ZnO nanocrystals grown by the low- temperature chemical solution deposition*. // Journal of Luminescence **129** (2009) 1099–1104.

8. Greene, L. E.; Law, M.; Goldberger, J.; Kim, F.; Johnson, J. C.; Zhang, Y.; Saykally, R. J.; Yang, P., *Low- Temperature Wafer- Scale Production of ZnO Nanowire Arrays*. // *Angew Chem Int Ed Engl* 2003, **42**, 3031-3034.
9. Djurišić, A.B.; Leung, Y.H.; Tam, K.H.; Ding, L.; Ge, W.K.; Chen, H.Y.; Gwo, S. *Green, yellow, and orange defect emission from ZnO nanostructures: Influence of excitation wavelength*. // *Appl. Phys. Lett.* 2006, **88**, 28–31.
10. Alvi, N.H.; Willander, M.; Nur, O. *The effect of the post-growth annealing on the electroluminescence properties of n-ZnO nanorods/p-GaN light emitting diodes*. // *Superlattices Microstruct.* 2010, **47**, 754–761.
11. G. A. Velázquez-Nevárez, J. R. Vargas-García, J. Aguilar-Hernández, O. E. Vega-Becerra, F. Chen, Q. Shen, L. Zhang, *Optical and Electrical Properties of (002)-Oriented ZnO Films Prepared on Amorphous Substrates by Sol-Gel Spin-Coating*. // *Materials Research*. 2016; **19** (Suppl. 1): 113-117.
12. N. Bouhssira, S. Abed, E. Tomasella, J. Cellier, A. Mosbah, M.S. Aida, M. Jacquet, *Influence of annealing temperature on the properties of ZnO thin films deposited by thermal evaporation* // *Applied Surface Science* **252** (2006) 5594–5597.
13. C. D. Gu, C. Cheng, H. Y. Huang, T. L. Wong, N. Wang, T. Y. Zhang. *Growth and Photocatalytic Activity of Dendrite-like ZnO@Ag Heterostructure*. // *Nanocrystals Cryst. Growth Des.* 2009. **9**, 7. 3278-3285.
14. S.S. Nath, D. Chakdar, and G. Gope, *Synthesis of CdS and ZnS quantum dots and their applications in electronics*. // *Nanotrends: J. Nanotechnol. App.* 2007. Vol. **2**. pp. 1-3.
15. Jagadish, C.; Pearton, S. J., *Zinc Oxide Bulk, Thin Films and Nanostructures: Processing, Properties, and Applications*; Elsevier, 2011.
16. Limpijumnong S, Zhang S B, Wei S H and Park C H Doping by Large- Size- Mismatched Impurities: *The Microscopic Origin of Arsenic-or Antimony-Doped p-Type Zinc Oxide*/ 2004. *Phys. Rev. Lett.* **92** 155504.

17. Kohan, A.; Ceder, G.; Morgan, D.; Van de Walle, C. G., *First-Principles Study of Native Point Defects in ZnO*. Physical Review B. 2000, **61**, 15019.
18. Janotti, A.; Van de Walle, C. G., *Native Point Defects in ZnO*. Physical Review B 2007, **76**, 165202.