

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS

TA'LIM VAZIRLIGI

URGANCH DAVLAT UNIVERSITETI



Fizika-matematika fakulteti 403-fizika guruhi talabasi

Gayipova Gulchiroy Gulom qizining

5140200-fizika ta'lim yo'nalishi bo'yicha

bakalavr darajasini olish uchun

BITIRUV MALAKAVIY ISHI

**Mavzu: Magniy bilan legirlangan rux oksidi nanoiplarining strukturaviy va
optik xossalarining tahlili**

Ilmiy rahbar:

dots. Aminov U.A.



Urganch – 2015

1-ilova. Bitiruv malakaviy ishining titul varag'i

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS
TA'LIM VAZIRLIGI
URGANCH DAVLAT UNIVERSITETI
Fizika-matematika fakulteti
Fizika kafedrası**

**Magniy bilan legirlangan rux oksidi nanoiplarining strukturaviy va optik
xossalarning tahlili**

Bajaruvchi: _____ Gayipova G.G.

Rahbar: _____ dots. Aminov U.A.

Urganch shahri – 2015 yil

URGANCH DAVLAT UNIVERSITETI

Fizika-matematika fakulteti

Fizika kafedrası

BITIRUV MALAKAVIY ISHNI BAJARISH BO`YICHA

TOPSHIRIQLAR REJASI:

Talaba Gayipova Gulchiroy Gulom qiziga Universitet rektorining 2014 yil 19 dekabrda chiqarilgan 216-T & 1-sonli buyrug`i bilan bitiruv malakaviy ish bajarish uchun

1. “Magniy bilan legirlangan rux oksidi nanoiplarining strukturaviy va optik xossalarining tahlili” mavzusi tasdiqlangan.

2. Kafedra majlisining qaroriga binoan **dots. Aminov U.A. bitiruv malakaviy ishini bajarishga rahbar qilib tayinlangan.**

3. Bitiruv malakaviy ishining tarkibiy tuzilmasi: **kirish qismi, ikki bob, birinchi bob uch rejadadan, ikkinchi bob uch rejadadan iborat.**

4. Bitiruv malakaviy ish uchun ma`lumotlar: **ilmiy jurnallar, kitoblar va internet ma`lumotlaridan olinadi.**

5. Bitiruv malakaviy ishga _____
_____ ilova qilinadi.

Bitiruv malakaviy ishini bajarish jadvali

№	Loyixa bosqichlarining nomi	Nazorat vaqti
1	Mavzuni kafedrada tasdiqlash	11.11.2014
2	Malakaviy bitiruv ishi topshirig'i mavzuni va hajmini aniqlash.	09.12.2014
3	Internetdan fizikaga oid saytlardan keng zonali yarimo'tkazgichlar sirtida turli xil monokristallarni va nanostrukturalarni olish metodlari to'g'risida materiallar to'plash	16.02.2015 gacha
4	Mavzu bo'yicha malakaviy bitiruv ishi mazmuni, hajmi va tartibini aniqlashtirish	09.03.2015
5	Malakaviy bitiruv ishi loyihasining dastlabki eskizlarini tasdiqlash	23.03.2015
6	Barcha eskizlarni to'la tasdiqlash va malakaviy bitiruv ishi loyihasi nazariy va amaliy qismlari tasdiqlash	06.04.2015
7	Rux oksidi kristallarining xossalari turli xil nuqsonlar va termik kuydirishning ta'siriga doir ma'lumotlarni tahlil qilish	20.04.2015
8	Malakaviy bitiruv ishi loyihasini bajarishning borishi nazorati va uning nazariy qismining kafedradagi muhokamasi	04.05.2015
9	Kafedra mudiri va rahbar tomonidan tugallangan BMI ni ko'rikdan o'tkazish	01.06.2015
10	Tugallangan ishni malakaviy bitiruv ishi loyihasi rahbar xulosasi va uni himoyaga tavsiya bilan birgalikda kafedraga taqdim qilish	15.06.2015

Bitiruv malakaviy ish rahbari: _____ dots. Aminov U.A.

Bajaruvchi talaba: _____ Gayipova G.G..

201__ yil "___" _____

Topshiriqlar rejasi va jadvali kafedra majlisida 201__ yil tasdiqlandi
(___-sonli bayonnoma)

Kafedra mudiri: _____ dots. Aminov U.A.
(imzo)

Urganch davlat universiteti
Fizika-matematika fakulteti
Fizika kafedrası

Bitiruv malakaviy ish **2015-03-10**-sonli tartib raqam bilan qayd qilindi.

Bitiruv malakaviy ishni bajaruvchining ismi-sharifi: Gayipova Gulchiroy

Bitiruv malakaviy ishning mavzusi: “Magniy bilan legirlangan rux oksidi nanoiplarining strukturaviy va optik xossalarining tahlili”

Ilmiy rahbar (maslahatchi) ning ismi-sharifi: dotsent Aminov U.

Bitiruv malakaviy ish kafedraning 2015 yil 16 iyunda o`tkazilgan majlisi qaroriga muvofiq DAK majlisida himoya qildi.

Bitiruv malakaviy ishga taqrizchi qilib Ismailov Sh.H. tayinlandi.

Kafedra mudiri: _____ dots. Aminov U.A.

Kafedra majlisining qaroriga binoan bitiruv malakaviy ishni DAK majlisida himoya qilish bo`yicha tavsiyasiga roziman.

Fakultet dekani: _____ dots. Abdullayev B.I.

Urganch Davlat Universiteti

Fizika-matematika fakulteti

Fizika kafedrası

5140200-Fizika bakalavr ta'lim yo'nalishi

Tasdiqlayman

fakultet dekani

dots. Abdullayev B.I.

“ ____ ” _____ 2014y.

BITIRUV MALAKAVIY ISH BO'YICHA TOPSHIRIQ

Talaba Gayipova Gulchiroy

1. Ishning mavzusi: **“Magniy bilan legirlangan rux oksidi nanoiplarining strukturaviy va optik xossalarning tahlili”** mavzusini

Universitet rektorining Universitet rektorining Universitet rektorining 2014 yil 19 dekabrda chiqarilgan 216-T & 1-sonli buyrug'i bilan tasdiqlangan.

2. Ishni topshirish muddati: **17 iyun 2015** y.

3. Mavzu bo'yicha dastlabki ma'lumotlar beruvchi adabiyotlar ro'yxati

1. И.П.Кузмина, В.А.Никитенко, Окись цинка, Получение и оптические свойства, Москва, Наука, 1984, 164с.
2. А.Х.Абдуев, А.К.Ахмедов, А.Ш.Асваров, А.А.Абдуллаев, С.Н.Сульянов, Влияние температуры роста на свойства прозрачных проводящих пленок ZnO , легированных галлием, Физика и техника полупроводников, 2010, том 44, вып. 1, сс. 34 – 38.
3. А.Н.Грузинцев, А.Н.Редькин, К.Бартхоу (С.Barthou), Зависимость порога стимулированной люминесценции нанокристаллов ZnO от их геометрической формы, Физика и техника полупроводников, 2010, том 44,

вып. 5, сс. 654 – 659.

4. П.С.Шкумбатюк, Свойства нитевидных кристаллов ZnO , полученных под действием излучения CO_2 -лазера, Физика и техника полупроводников, 2010, том 44, вып. 8, сс. 1147 – 1150.

5. А.М.Багамадова, Б.М.Атаев, В.В.Мамедов, А.К.Омаев, С.Ш.Махмудов, Способ получения нитевидных нанокристаллов оксида цинка, Письма в ЖТФ, 2010, том 36, вып. 1, сс. 76 – 81.

4. Ishning maqsadi: Magniy bilan legirlangan rux oksidi nanoiplarining strukturaviy va optik xossalarini adabiyotlar asosida tahlil qilish.

5. Chizma materiallar ro'yxati: _____

6. Maslahatchilar: _____

Bo'limlar	Maslahatchi F.I.SH.	Imzo, sana	
		Topshiriq berdi	Topshiriq qabul qildi
Kirish	dots. Aminov U.A.		
1.1.	dots. Aminov U.A.		
1.2.	dots. Aminov U.A.		
1.3.	dots. Aminov U.A.		
2.1.	dots. Aminov U.A.		
2.2.	dots. Aminov U.A.		
2.3.	dots. Aminov U.A.		
Xulosa	dots. Aminov U.A.		

Ishga taqriz yozuvchining F.I.SH., ilmiy darajasi, unvoni: Ismailov Shukrulloh Habibulloh o'g'li, fizika-matematika fanlari nomzodi

7. Ilmiy rahbar: dots. Aminov U.A. _____
(F.I.SH.) (imzo)

BMI bajaruvchi talaba: Gayipova Gulchiroy _____
(F.I.SH.) (imzo)

Kafedra mudiri: dots. Aminov U.A. _____
(F.I.SH.) (imzo)

Mundarija

Kirish	9
I bob. Keng zonali yarimo`tkazgichlarning fizikaviy xossalari	13
I.1. Keng zonali yarimo`tkazgichlarning optik va strukturaviy xossalari	13
I.2. Keng zonali yarimo`tkazgichlarning xossalariga aktseptor kirishmalarning ta'sirini tahlil qilish	16
I.3. Keng zonali yarimo`tkazgichlar asosida nanostrukturalar olish	23
II bob. Magniy bilan legirlangan rux oksidi nanoiplarining fizikaviy xossalarini tahlil qilish	29
II.1. Magniy bilan legirlangan rux oksidi nanoiplarini olish usullari	29
II.2. Rux oksidi nanoiplarining strukturaviy xossalariga magniy kirishmasining ta'siri	32
II.3. Rux oksidi nanoiplarining optik xossalariga magniy kirishmasining ta'siri	38
Xulosa	41
Foydalanilgan adabiyotlar	42

Kirish

Respublikamiz Mustaqillikka erishgandan so'ng malakali mutaxassislar tayyorlashga katta e'tibor berib kelinmoqda. Shu sababli 1997 yil 29 avgustda O'zbekiston Respublikasi Prezidenti I.Karimovning 464-I-sonli farmoni bilan "Ta'lim to'g'risidagi qonun" va "Kadrlar tayyorlash milliy dasturi" qabul qilindi.

Jumladan, "Ta'lim to'g'risidagi qonun" da "ta'lim O'zbekiston Respublikasi ijtimoiy taraqqiyoti sohasida ustuvor deb e'lon qilinadi". Qonunning 14-moddasida oliy ta'limga quyidagicha ta'rif beriladi: Oliy ta'lim yuqori malakali mutaxassislar tayyorlashni ta'minladi. Oliy ma'lumotli mutaxassislar tayyorlash oliy o'quv yurtlarida (universitetlar, akademiyalar, institutlar va oliy maktabning boshqa ta'lim muassasalarida) o'rta maxsus kasb-hunar ta'limi asosida amalga oshiriladi. Oliy ta'lim ikki bosqichga: davlat tomonidan tasdiqlangan namunadagi oliy ma'lumot to'g'risidagi hujjatlar bilan dalillanuvchi bakalavriat va magistraturaga ega. Bakalavriat oliy ta'lim yo'nalishlaridan biri bo'yicha puxta bilim beradigan, o'qish muddati kamida to'rt yil bo'lgan tayanch oliy ta'limdir. Magistratura aniq mutaxassislik bo'yicha bakalavriat negizida kamida ikki yil davom etadigan oliy ta'limdir" deyiladi.

"Kadrlar tayyorlash milliy dasturi" da esa quyidagilar "O'zbekiston Respublikasi davlat mustaqilligiga erishib, iqtisodiy va ijtimoiy rivojlanishning o'ziga xos yo'lini tanlashi kadrlar tayyorlash tuzilmasi va mazmunini qayta tashkil etishni zarur qilib qo'ydi va qator chora-tadbirlar ko'rishni: "Ta'lim to'g'risida" gi Qonunni joriy etishni (1992 yil); yangi o'quv rejalari, dasturlari, darsliklarini joriy etishni, zamonaviy didaktik ta'minotni ishlab chiqishni; o'quv yurtlarini attestatsiyadan o'tkazishni va akkreditatsiyalashni, yangi tipdagi ta'lim muassasalarini tashkil etishni taqozo etdi" deb alohida qayd etilgan.

O'zbekiston Respublikasi oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi tomonidan 2009 yil 24 iyunda 191-sonli buyrug'i bilan tasdiqlangan va "O'zDavStandart" agentligi tomonidan 2010 yil 15 dekabrda 942-son bilan qayd qilingan "5440100-

fizika bakalavriat yo`nalishinig tayyorgarlik darajasi va zaruriy bilimlar mazmuniga qo`yiladigan talablar” da va 2008 yil 24 iyunda O`zbekiston Respublikasi oliy va o`rta maxsus ta`lim vazirligi tomonidan tasdiqlangan namunaviy rejada bitiruvchi talabalarning bitiruv malakaviy ishining talablari keltirilgan.

Ushbu talablarda bitiruv malakaviy ishining mavzusi va mazmuni fan va texnikaning hozirgi zamon yutuqlariga hamda ish beruvchilarning talablari e`tiborga olishini alohida qayd qilib o`tilgan.

Mavzuning dolzarbligi. Yarimo`tkazgichli nanostrukturalar kelgusida elektronikaning, fotonikaning, biosensornlarning va nanoasboblarning eng qulay komponentlaridan biri hisoblanadi [1]. Xona temperaturasida taqiqlangan zonasi kengligi  $3,37\text{ eV}$  ga teng bo`lgan va bog`langan eksitonning bog`lanish energiyasi 60 meV ga teng bo`lgan  $\text{ZnO}$  rux oksidi ilmiy izlanishlar va texnologik tadqiqotlar uchun eng muhim yarimo`tkazgichli moddalardan biri hisoblanadi [2]. Shuni qayd qilish kerakki, rux oksidi asosida turli xil nanostrukturalar – nanosterjenlar, nanotrubkalar, nanoiplar, nanoentalar va nanoko`priklar ko`rinishida muvaffaqiyatli ravishda sintez qilingan [3]. Rux oksidini maxsus elementlar bilan legirlash orqali uning elektr va optik xossalari yaxshilanadi, shuning uchun bu xodisa hamma vaqt olimlar diqqatini tortib kelgan.

Turli xil elementlar (masalan, Al , Ga , In , Sn va Sb) bilan legirlangan ZnO asosidagi strukturalar hozirgacha olingan [4 – 10]. Rux okidini magniy Mg bilan legirlash orqali, bunday qotishmaning taqiqlangan zonasi kengligini oson boshqarish mumkin, bunday strukturalar kengroq optik sohada ishlaydigan yog`du diodlarida qo`llaniishi mumkin, chunki magniy ($0,57\text{ \AA}$) ning ion radiusi rux ($0,60\text{ \AA}$) niki bilan deyarli bir xil bo`lganligi uchun, ular osongina kristall panjara doimiysini o`zgartirmasdan ham, uning o`rnini egallashi mumkin.

Mg bilan legirlangan ZnO asosidagi nanostrukturalarning turli xil ko`rinishlari, turli xil metodlar olingan. Bularga misol qilib, impulsli lazer yordamida o`tqazil metodi bilan olingan nanoiplarni, nanoiplar to`plamini,

$ZnO/MgZnO$ tipidagi kvant chuqurlarni [11 – 13], metalloorganik kimyoviy fazodan o'tqazish metodi bilan olingan nanoustunlarni va nanosterjenlarni [14, 15], issiqlik bug'latish metodi bilan olingan nanosterjenlarni, nanoiplarni, uchlangan nanoiplarni, nanotizimlarni va yog'ochsimon $Zn_{1-x}Mg_xO$ tipidagi nanostrukturalarni [11, 16 – 20], termik diffuziya yo'li bilan olingan nanoiplarni ko'rsatish mumkin [21]. Biroq Mg bilan legirlangan ZnO asosida nanoiplarni olishda ZnO va aktivlashtirilgan ko'mir kukunlarining aralashmasidan foydalanish bo'yicha ishlar ancha kamchilikni tashkil qiladi [22]. Karbotermal qayta ishlab chiqish metodi effektiv metod bo'lganligi sababli keng qo'llaniladi. Ushbu metodning asosiy afzalligi shundan iboratki, temperaturani 1975 K (bu temperatura ZnO kukunining erish temperaturasi) dan 1000 K gacha pasaytirish imkonini beradi, bu esa ushbu metodni sanoat ishlab chiqarishida qo'llash imkoniyatini kengaytiradi. Ushbu metod boshqa tipdagi, masalan, In_2O_3 [23], SiC [24], SiO_2 [25], Si_3N_4 [26] va shu kabi yarimo'tkazgichli nanoiplarni tayyorlashda ham ishlatilishi mumkin.

Mavzuning maqsadi va vazifalari. Ushbu ishda Ar atmosferasi ostida 850 °C temperaturada Si (111) yuzasiga Au changlatib o'tqazilgan tagliklarda ZnO , Mg va aktivlashtirilgan ko'mir kukuni aralashmasi reagent sifatida ishlatilib kimyoviy bug'latib o'tqazish metodi bilan Si (111) taglikda Mg bilan legirlangan yuqori sifatli sintez qilingan ZnO nanoiplarining strukturaviy, kimyoviy va optik xossalarini o'rganish natijalarini adabiyotlar asosida tahlil qilib chiqish hisoblanadi.

Tadqiqot ob'ekti va predmeti. Tadqiqot ob'ekti va predmeti bo'lib chet ellarning va Respublikamizning nufuzli ilmiy jurnallarida hamda global Internet tarmog'ida chop qilingan keng zonali yarimo'tkazgichli birikmalar asosida olingan turli xil nanostrukturalar, ularni olish texnologiyalari hamda ularni o'rganish usullari to'g'risidagi ilmiy adabiyotlar va ilmiy maqolalar keng va batafsil qarab chiqilgan.

Tadqiqot usuli. Tadqiqot usuli bo'lib keng miqyosdagi turli xil axborot

vositalaridan foydalanilgan holda keng zonali yarimo`tkazgichli birikmalar asosida olinishi mumkin bo`lgan nanostrukturalar bilan tanishib chiqish, ularni klassifikatsiyalash hamda tadqiqot usullarini o`rganishda iborat. Bu yerda katta miqdordagi ilmiy maqola va ilmiy adabiyotlar qarab chiqiladi.

Mavzuning ahamiyati. Hozirgi vaqtda mikro- va optoelektronikada nanoo`lchamli strukturalarni qo`llash bo`yicha butun dunyo olimlari keng miqyosda ish olib bormoqda. Shu munosabat nanostrukturalarni olish texnologiyalarini o`rganish, nanostrukturalarning turli xil fizik xossalarini o`rganish keng ahamiyatga ega. Shu bilan birga olingan turli xil nanostrukturalarni tadqiq qilish usullari bilan tanishish va olingan natijalarni tahlil qilish ham bo`lg`usi fiziklarning ilmiy faoliyatida muhim o`rin tutadi.

I bob. Keng zonali yarimo`tkazgichlarning fizikaviy xossalari

Ushbu bobda biz keng zonali yarimo`tkazgichlarning optik va strukturaviy xossalari, keng zonali yarimo`tkazgichlarning xossalari, aktseptor kirishmalarining ta'sirini tahlil qilishga va keng zonali yarimo`tkazgichlar asosida nanostrukturalar olish usullariga qisqacha to'xtalib o'tamiz.

I.1. Keng zonali yarimo`tkazgichlarning optik va strukturaviy xossalari

Mikro- va optoelektronikaning asboblarini tayyorlash uchun moddalarning xossalari, jumladan optik xossalari, bilish talab etiladi. Yarimo`tkazgichli birikmalar uchun shaffoflik sohasi bir tomondan taqiqlangan zona kengligi bilan, ikkinchi tomondan esa – ko'p fononli yutilish yoki panjaraviy tebranishlar chastotasi bilan chegaralangan. Rux sulfidi uchun taqiqlangan zona kengligi turli xil adabiyotlardagi ma'lumotlarga ko'ra $3,55\text{ eV}$ dan $3,7\text{ eV}$ gacha va rux selenidi uchun $2,69 - 2,7\text{ eV}$ oraliqda o'zgaradi.

Shaffoflik sohasidagi optik yo'qotishlar yupqa plyonkalarda nuqsonlarning va kirishmalarining mavjudligi bilan belgilanadi. Nuqsonlar va kirishmalar taqiqlangan zona ichida energetik sathlari shakllantirib, moddaning elektron strukturasi o'zgartiradi [27]. Yutilishning xususiy chegarasiga yaqinida sathlarni shakllantiruvchi kirishmalar va nuqsonlarning mavjudligi Urbax qoidasi bilan ifodalanadigan eksponentsial bog'liqlik xarakterining o'zgarishiga olib keladi [28].

Xususiy nuqsonlar (vakansiyalar va rux va oltingugurtning tugunlararo atomlari) legirlanmagan rux sulfidi namunalarida moddaning optik xossalari ta'sir ko'rsatadi. Oltingugurt va rux vakansiyalari taqiqlangan zona markazida joylashgan chuqur sathlari shakllantirsa, tugunlararo rux atomi sayoz sathlarni shakllantiradi. Eksperimental natijalar tugunlararo rux atomining rux sulfidining zangori (466 nm) o'ziaktivlashgan lyuminesentsiyasida qatnashishini ko'rsatadi. Tugunlararo oltingugurt atomining paydo bo'lishi, uning shakllanish energiyasi kattaligi tufayli, ancha mushkul. SHuning uchun bunday nuqsonning hosil bo'lish

ruх sulfidi uchun xarakterli emas. Adabiyotlarda keltirilgan ma'lumotlarga ko'ra ruх va oltingugurt vakansiyalari ruх sulfidining qayday usulda olinishiga qaramasdan asosiy nuqsonlar hisoblanadi [29].

Xususiy nuqsonlar va kirishmalardan tashqari optik xossalarga kristall strukturaning tipi ham ta'sir ko'rsatadi. Optik xossalarga ta'sir ko'rsatuvchi asosiy salbiy omil bo'lib ruх sulfidida geksagonal fazaning mavjudligi hisoblanadi. Har ikkala kristall fazalar sindirish ko'rsatkichlari orasidagi farq modda o'tkazishining nobirjinsligiga ta'sir ko'rsatadi. Kub fazasi uchun 10 mkm to'lqin uzunligida sindirish ko'rsatkichi $-2,19 \div 2,21$ oraliqda bo'lsa, geksagonal fazasi uchun $-2,23 \div 2,32$ oraliqda bo'ladi [30]. Vyurtsit uchun kristaldagi kristallografik yo'nalishga bog'liq sindirish ko'rsatkichining farqlanishi ham mavjud. Kub matritsada geksagonal fazaning mavjudligi va to'lqin uzunligi darajasida ikkinchi fazaning o'lchamlari ham mavjud bo'lsa, hatto sindirish ko'rsatkichlari orasidagi kichik mos kelmaslik ham sochilishga bo'lgan katta yo'qotishlarga olib kelishi mumkin [31].

O'rganishlar shuni ko'rsatdiki, kichik miqdorda geksagonal fazaga ega va donchalarning o'lchamlari kichik bo'lgan namunalarning o'tkazuvchanligi maksimal darajada bo'lar ekan [30]. YOrug'likning sochilish mexanizmini aniqlash uchun doncha o'lchamiga normalangan o'tishning o'tuvchi nurlanish to'lqin uzunligi funktsiyasiga bog'liqligi o'rganilgan. Bog'liqlik darajaviy xarakterga ega bo'lib, maksimal optik yo'qotishlarga ega namunalar uchun daraja ko'rsatkichi 4 ga teng, bu esa sochilishning Reley mexanizmi haqida guvohlik beradi.

Spektral liniyaning qisqa to'lqinlar tomonga siljishi kvant chegaralanish effekti natijasi hisoblanadi [32]. Taqiqlangan zona kengligining zarrachalar o'lchamiga bog'liqligi quyidagicha topiladi [33]:

$$f(x) = A + \frac{B}{d^2}, \quad (1)$$

bu erda A va B – konstantalar, d – zarrachalarga xarakterli o'lcham, nm .

Kristallanish jarayonidagi sfalerit – vyurtsit fazaviy o'tishi hajmiy kengayishga olib keladi (vyurtsit – yanada “yumshoq” struktura), demak, ruх

sulfidining kub matritsasida geksagonal fazaning kirishi siqilish kuchlanishi ostida boʻladi. Fazaviy oʻtish temperaturasi sohasida politip strukturalarning hosil boʻlish sabablari hisoblanuvchi taxlanish (upakovka) nuqsonlarining shakllanish jarayoni muqarrar [34]. Bunda turli xil temperaturalarda oʻstirilgan rux sulfidi kristallarida [111] va [100] kristallografik yoʻnalishlarda donchalarning koʻproq orientatsiyalanishi roʻy beradi. Optik xossalari nuqtai nazaridan [111] yoʻnalishda orientatsiyalangan kristallarning imkoniyati kattaroq. Ishda [111] teksturali turli xil namunalarning oʻtkazish spektrlarining bogʻliqligi ham oʻrganilgan.

Oʻstirilgan moddaning stexiometrik tarkibga yaqinligi uning optik sifatining muhim parametri hisoblanadi. Rux sulfidining stexiometriyadan chetlashishining temperaturaga va rux bugʻlari bosimiga bogʻliqligidan stexiometrik tarkibdagi rux sulfidini olish uchun ortiqcha rux bugʻlari bosimi ostida past temperaturali oʻsishni taʼminlash talab etiladi.

Boshqa binar yarimoʻtkazgichli birikmalar qatori $A^{II}B^{VI}$ tipidagi yarimoʻtkazgichli birikmalarning yorqin vakili boʻlgan rux oksidi ZnS ham vyurtsit strukturasida kristallanadi, uning fazoviy guruhi $-C_{6v}^4 - C_{6mc}$, $Z = 2$ [27]. Normal temperaturada panjara doimiylari $a = 3,2495 \pm 0,0442$ Å va $c = 5,2069 \pm 0,031$ Å qiymatlarga teng boʻlib, ZnO ning stexiometrik tarkibiga birmuncha bogʻliq boʻladi. Maʼlumki zich upakovkalangan mukammal geksagonal panjaralar uchun c/a munosabat 1,633 ni tashkil qiladi, ushbu munosabat ZnO uchun $\frac{c}{a} = 1,60$ ga teng. Rux oksidining zichligi uchun adabiyotlarda keltirilayotgan nazariy va eksperimental maʼlumotlar $5,642 \pm 0,012$ g/sm³ dan 5,72 g/sm³ gacha oʻzgaradi. Rux oksidi monokristallarining rangi stexiometriyadan chetlashishga va oʻsish temperaturasiga bogʻliq boʻladi va oq rangdan toʻq sariq zargʻaldoq ranggacha oʻzgarar ekan, olmossimon yaltiroq, qattiqligi 4 ga teng. Rux oksidi kristallari optik jihatdan musbat kristall boʻlib, oddiy va gʻayrioddiy nurlar uchun sindirish koʻrsatkichi, mos holda $n_o = 2,008$ va $n_e = 2,029$ ga teng [35].

Rux oksidining elementar kristall panjarasi ikkita ZnO molekulasidan

iborat. Bunday kristall panjarada kristall atomlari zich joylayshgan geksagonal upakovkani tashkil etadi, o'z navbatida rux atomlari esa kislorod atomlari vujudga keltirgan tetraedrlar markazlarida joylashadilar. Kislorod va rux atomlari orasidagi eng qisqa masofa c o'qqa parallel bo'lib $1,992 \text{ \AA}$ ga teng va tetraedr atrofidagi boshqa uch yo'nalish bo'yicha $1,973 \text{ \AA}$ tashkil etadi. ZnO strukturasi simmetriya markaziga ega emasligi bilan xarakterlanadi, natijada kristallar $[0001]$ o'qqa parallel bo'lgan qutbiy o'qqa ega. Qarama-qarshi zaryadlangan rux va kislorod ionlarining qutblanishi muvozanatlashmagan doimiy dipol momentlarining to'ri shaklida tasavvur qilinishi mumkin va yagona qutbiy o'qqa ega ekanligi natija hisoblanadi. Shuning uchun ZnO kristallari uchun pezoelektrik va piroelektrik xossalari namoyon qilishi xarakterlidir. Rux oksidi kristallarida politiplar, ya'ni bir vaqtning o'zida bir necha strukturaga ega kristallar kuzatilmagan.

Rux oksididagi kimyoviy bog'lanish asosan kovalent bog'lanish bo'lgani uchun bunday kristallarda kristallning tuzilishi kovalent bog'lanishning tipiga bog'liq bo'ladi. Kovalent bog'lanish hosil qiladigan elektronlar bog'lanish ro'y berishidan oldin yoki bog'lanish paytida o'z orbitalarida ma'lum bir yo'nalish bo'yicha orientirlangan bo'ladi. Umuman, kovalent bog'lanishlarda asosan S yoki P elektron ishtirok etadi. Bu yerdagi kovalent bog'lanishlar 2 xil tipda bo'ladi: σ – va π – bog'lanishlar. S va P orbitallarning har xil o'qlar bo'ylab yo'naladi.

I.2. Keng zonali yarimo'tkazgichlarning xossalari ga aktseptor kirishmalarining ta'sirini tahlil qilish

Galliy arsenidi $GaAs$ va sapfir tagliklarda molekular-nurli epitaksiya usuli bilan o'stirilgan magniy Mg bilan legirlangan galliy nitridi kovakli o'tkazuvchanlikka ega GaN qatlamlari fotoluminestsentsiya spektrlarining vaqtiy-ajratilish tahlili keltirilgan [36]. Eksperimental natijalarni hisoblangan spektrlar seriyalari va [37 – 39] ishlarda keltirilgan nazariyaning modifikatsiyalangan varianti asosida olingan vaqtiy bog'liqliklar bilan taqqoslash

yo`li bilan  $Mg$ -aktseptor-xususiy nuqsonlar komplekslarining korrelyatsiya spektrlari aniqlangan. Natijalardan shu narsa ko`rinib turibdiki, Mg kirishmalari kirishmalari $240\ meV$ chuqurlikda aktseptor sathni hosil qilar ekan, galliy nitridida esa xususiy ikkkita donor: chuqur – $100\ meV$ va sayoz – $30\ meV$ sathlari qayd qilingan.

Ushbu ishda termik oksidlangan kremniyning SiO_2 amorf taglikda magnetron yuqori chastotali changlatish yo`li bilan olingan  $ZnO:N$  plyonkalarining lyuminescent va elektr xossalariga kislorod radikallarida termik qayta ishlashning ta`siri o`rganilgan [40]. Kuydirish temperaturasi  $500\ ^\circ C$  da kuydirilgan namunalarning fotolyuminestsentsiya spektrlarida maksimumi  $2,8\ eV$  da bo`lgan zangori polosa asosiy bo`lib qoladi va bu mualliflar ortiqcha kislorod bilan bog`laydilar. Bu plyonkalarda o`tkazuvchanlik kirishmaviy  $N_O$  va xususiy  $V_{Zn}$  aktseptorlar bilan belgilanadi. Agar kuydirish temperaturasi  $600 - 700\ ^\circ C$  gacha orttirilsa, u holda fotolyuminestsentsiya spektrlarida maksimumi  $2,4\ eV$  da bo`lgan yashil polosa asosiy bo`lib qoladi va bu polosa kislorod vakansiyasi bilan bog`langan deb hisoblanadi. Kuydirish temperaturasi $700\ ^\circ C$ dan orttirilsa, u holda namunalarning fotolyuminestsentsiya spektrlari maksimumi $3,0 - 3,1\ eV$ da bo`lgan polosa paydo bo`ladi. Agar maksimumi $2,6\ eV$ da bo`lgan polosa elektronlarning  $V_O$  sathdan  $N_O$  sathga, maksimumi  $3,0 - 3,1\ eV$  da bo`lgan polosa esa elektronning o`tkazuvchanlik zonasidan  $N_O$  sathga o`tishida fotonning nurlanishli rekombinatsiya bilan bog`laydilar.

Yuqori $1 - 5$ atom % konsentratsiyali mis Cu va kumush Ag kirishmalarining elektron-nurli bug`latish yo`li bilan olingan rux oksidi plyonkalari fotolyuminestsentsiya va fotoo`tkazuvchanlik xossalariga ta`siri o`rganilgan [41]. Olingan plyonkalar yuqori qarshilikka ega bo`lib, optik spektrning ko`rinuvchi ( $ZnO:Ag$ ) va ultrabinafsha ( $ZnO:Cu$ ) sohasida yuqori fotoo`tkazuvchanlikni namoyon qiladi. Kislorod bilan to`yingani sababli, plyonkalarining fotolyuminestsentsiya spektrlarida chetki va eksitonli polosalar asosiy bo`lib

qoladi. CHetki fotolyuminesentsiya polosasi elektronlarning o'tkazuvchanlik zonasidan aktseptor sathlarga, eksitonli polosa esa kirishmaviy nuqsonlarda bog'langan esitonlarning rekombinatsiyasi bilan bog'langan. Rux oksidiga mis va kumush kirishmalarining kiritilishi solishtirma elektr qarshilikning va fotosezgirlikning ortishiga olib keladi. Bu kristall panjarada rux atomlarining o'rnini olgan bu kirishmalar etarlicha effektiv aktseptorlpr ekanligidan darak beradi. Bunda mis kumushga qaraganda kattaroq solishtirma qarshilikni vujudga keltirar ekan. Biroq mis kirishmalarining kontsentratsiyasi ortganida, ular tugunlar orasiga joylashib, Cu_i tipidagi donorlarni vujudga keltiradi va o'z-o'zini kompensatsiya qila boshlaydi. Kirishmalarning o'zini bunday tutishini, ularning ion radiuslarining farqi mavjudligi bilan tushuntirish mumkin: $Cu^+ - 0,098 \text{ nm}$, $Cu^{2+} - 0,080 \text{ nm}$, $Ag^+ - 0,113 \text{ nm}$. Kumushning bir valentli holatida, uning ion radiusi rux Zn^{2+} ioninikidan ($0,083 \text{ nm}$) katta bo'lganligi uchun, tugunlar orasiga chiqa olmaydi va rux oksidi kristall panjarasining kuchlanishining keltirib chiqaradi.

Yuqori sifatli rux oksidi monokristall plyonkalari termik diffuziya yo'li bilan mis kirishmasi bilan legirlangan va katodolyuminesentsiya metodi bilan uning lyuminesent xossalari o'rganilgan [42]. Mis bilan legirlash katodolyuminesentsiyaning yashil polosasi intensivligining ortishiga olib kelsada, maksimum holati, uning kengligi va shakli 78 va 300 K temperaturalarda o'zgarmay qoladi. Legirlangan namunalarning 4,2 K temperaturadagi katodolyuminesentsiyasining yashil polosasida fononlar energiyasi 72 meV bo'lgan yaqqol ko'rinuvchi fononli struktura namoyon bo'ladi, bunda fononli piklar odatda kuzatiladigan dublet struktura o'rniga triplet strukturaga ega bo'ladi. Bu rux oksidining valent zonasining zona ostilarining har biri bilan o'zaro ta'sirlashuvchi mis atomlaridagi aktseptor eksitonlarining nurlanishli rekombinatsiyasi bilan tushuntiriladi.

Strukturalarni olishda qalinligi $\sim 0,3 \text{ mm}$ va yuzasi taxminan 2 sm^2 bo'lgan $p-Si$ plastinalardan foydalanilgan [43]. Bunday yuzasi yuqori tozalikda bo'lgan

plastinalar yuzasiga vakuumli termik sublimatsiya metodi bilan $PbPc$ qo'rg'oshin ftalotsianini kukunining yupqa plyonkalari ($d \approx 1 \text{ mkm}$) o'tqazilgan. Keyin esa $PbPc$ qo'rg'oshin ftalotsianini plyonkasi sirtiga argonli muhitda yupqa $n-ZnO:Al$ plyonkasi magnetron changlatish metodi bilan o'tqazilgan. Olingan $n-ZnO:Al/PbPc/p-Si$ strukturalarning volt-amper va fotoo'tkazuvchanlik spektrlari o'rganilgan. Olingan strukturalarning fotoo'tkazuvchanlik spektrlarida fotonlar energiyasi $\hbar\omega_1 \cong 1,24$ va $\hbar\omega_2 \cong 2,4 \text{ eV}$ bo'lganida yaqqol maksimumlar kuzatilgan. Birinchi maksimumning yarimbalandlikdagi kengligi $0,18 \text{ eV}$ ni va ikkinchi maksimumniki esa $0,69 \text{ eV}$ ni tashkil etgan.

Kontsentratsiyasi $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ bo'lgan rux nitrating suvli aralashmasidan piroliz metodi bilan olingan rux oksidi kukunidan olingan cho'kindi kislorod atmosferasida uch soat davomida kuydirilgan [44]. Dastlabki rux oksidi namunalari esa bir soat davomida 400 dan $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ gacha turli xil temperaturalarda kuydirilgan. Olingan namunalarning rentgen difraktsiyasi spektrlari, mass-spektral tahlil, skanerlovchi elektron mikroskopiya tahlili va fotolyuminestsentsiya spektrlari o'rganilgan. Tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, $ZnO:N$ namunalarning tarkibida azot miqdori turlicha ekanligini ko'rsatdi. Suyuq azot temperaturasida spontan va stimullashgan fotolyuminestsentsiya spektrlarini o'rganishlar shuni ko'rsatdiki, spektrlarda bog'langan va erkin eksitonlar, bieksitonlar va azotning aktseptor sathlari orqali elektronlarning rekombinatsiyalanishi bilan bog'liq shu'lalanish piklari o'zlarini namoyon qilgan. Kirishmaviy N_O azot aktseptor sathining optik chuqurligi 123 meV ekanligi aniqlangan.

$CuIn_3Se_5$ kristallari ushbu yarimo'tkazgich moddaning eritmasidan tigel vertikal yoki gorizontal joylashganda stexiometriyaga yaqin yo'naltirilgan kristallanish yo'li bilan o'stirilgan [45]. Metall kumush plyonkalari vakuumli termik bug'latish yo'li bilan p -tipi $CuIn_3Se_5$ plastinasining yuzasiga o'tqazilgan. Bu plastinaning qarama-qarshi yuzasiga $n-ZnO:Al$ qatlami argonli muhitda magnetron changlatish yo'li bilan sof Al qo'shimchali presslangan ZnO

nishondan foydalangan holda oʻstirilgan. Keyinchalik bu geterooʻtishga ^{60}Co manbadan chiqayotgan γ -nurlanishning taʼsiri oʻtkazilgan. Olingan namunalarning salt yurishining fotokuchlanishining va qisqa tutashish tokining γ -kvantlar oqimiga bogʻliqligi oʻrganilgan. Agar bu kvantlar oqimi $\Phi < 10^{17} \text{ kvant/sm}^2$ dan kichik boʻlsa, namunalarning fotoelektrik xossalari oʻzgarmasdan qoladi, kvantlar oqimi $\Phi > 10^{17} \text{ kvant/sm}^2$ dan katta boʻlganda, fototok monoton ravishda kamayadi, fotokuchlanish esa maksimumga ega boʻladi va keyin dastlabki qiymatiga qaytadi.

Ushbu ishda ZnO:N epitaksial plyonkalari radikal-nurli getterlovchi epitaksiya metodi bilan olingan [46]. Plyonkalarining xossalari rentgen difraktsiyasi, atom kuchli mikroskopiya, ikkilamchi ionli mass-spektroskopiya va fotolyuminesentsiya metodlari bilan oʻrganilgan. Namunalarning difraktsiya spektrlarida (002) tor piki qayd qilingan boʻlib, bu pik ZnO:N plyonkalarining c -oʻqi boʻylab orientatsiyalanganligidan dalolat beradi. Ikkilamchi ionli mass-spektroskopiya metodi esa ZnO plyonkalarida azot kirishmasining mavjudligini koʻrsatgan. ZnO:N plyonkalarining past temperaturali fotolyuminesentsiya spektrlarida maksimumi 3,31 eV da boʻlgan pik kuzatilgan va bu pik neytral – N_O aktseptorda bogʻlangan eksitonning annigilyatsiyasi tufayli kelib chiqadi degan taxminlar mavjud. ZnO:N plyonkalarining atomar kisloroddagi kuydirishi turli xil temperaturalarda amalga oshirilgan. Maksimumlari 3,23 eV va yashil 2,56 eV da boʻlgan donor-aktseptorli polosalarning tabiati toʻgʻrisida ham taxminlar mavjud. Donor-aktseptorli polosaning holatidan N_O aktseptor sathning chuqurli $\sim 140 \text{ meV}$ ga teng deb aniqlangan. Maksimumi 2,56 eV da boʻlgan polosa sathining chuquligi $E_V + 0,8 \text{ eV}$ boʻlgan rux vakansiyasi bilan bogʻlangan sathlarga elektronlarning oʻtishi bilan bogʻlangan degan taxminlar ilgari suriladi.

Oʻrganilgan namunalarning sintezi ikki zondli gaz oqadigan tipdagi kvarts reaktorda amalga oshirilgan [47]. Dastlabki (bugʻlatish) zonasiga granullangan yuqori tozalikka (99,99%) ega rux, ikkinchi (sintez) zonasiga taglik joylashtirilgan. Taglik sifatida $\text{Si } \{100\}$ kremniy ishlatilgan. Sintez past bosimda uzlusiz vakuumni soʻrish sharoitida amalga oshirilgan. Reaktordagi bosim 10^3 Pa

darajasida ushlab turilgan. Sintez paytida bug`latish zonasidagi temperatura 630 °C, sintez zonasida esa – 580 °C ni tashkil etgan. Jarayon paytida birinchi zonada ruxning bug`lanishi ro`y berdi, uning bug`lari esa ikkinchi zonaga o`tgan va u erda kislorodli-argonli (15%  $O_2$ ) aralashma bilan aralashgan. Natijada rux bug`larining kislorod bilan o`zaro ta`sirlashishi natijasida tagliklarda rux oksidi nanokristallarining o`tqazilishi ro`y berdi. Sintez uchun o`ta yuqori tozalikka ega gazlar ishlatilgan. Gaz aralashmasi reaktorga 6 l/soat tezlikda berilgan. Rux sarfi 30 – 32 g/soat ni tashkil etgan. Sintez jarayoni 15 – 20 min davom etgan. Ushbu nanosterjenlar 450, 530 va 700 °C temperaturada 5 soat davomida kuydirilgan va olingan namunalarning spontan va stimullashgan ultrabinafsha lyuminesentsiya spektrlari 4,2 K temperaturada amalga oshirilgan. Lyuminesentsiya spektrlarida bog`langan va erkin eksitonlarning, eksitonlar va eksiton-kirishmali komplekslar bilan tasirlashuvchi eksitonlarning shu`lalanish polosalari qayd qilingan. YUqori temperaturali kuydirish kristallitlar o`lchamlarini kattalashtirilgan va nuqtaviy kristall nuqsonlarining soni kamayganligi aniqlangan.

$Zn_{1-x}Ni_xO$ ($x=0,0004$) kristalli inert gaz bosimi ostida eritmada o`stirilgan [48]. Ushbu kristallarning nozik strukturasi neytronlar difraktsiyasi va magnit o`lchashlar yordamida o`rganilgan. Olingan natijalardan shu narcha ko`rinib turibdiki, nikel ionlari hatto juda kichik miqdorda kiritilganida ham, kristalning dastlabki geksagonal panjarasining bazis tekisliklarida lokal deformatsiyalar mavjud bo`lar ekan. Lokal buzilishlar ushbu tipdagi birikmalarda ferromagnetizm shakllanishining markazlari hisoblanadi deb taxmin qilinadi. Xona temperaturasida strukturaviy nobirjinslilik sohasining o`lchami 15 nm atrofida bo`ladi deb taxmin qilinadi. Biroq, 230 K dan past temperaturada atom siljishlarining amplitudasi va strukturaviy nobirjinsliliklar o`lchamlarining ortishi ro`y beradi, bu esa kristall panjarasining o`zi tashkillanishi tufayli ro`y beradi deb taxmin qilinadi.

Galliy bilan legirlangan shaffof o`tkazuvchi rux oksidi plyonkalari shisha tagliklarda o`tkazuvchi keramika nishonlarni magnetron changlatish yo`li bilan olingan [49]. $ZnO:Ga$ plyonkalarining strukturaviy, elektrik va optik

xarakteristikalarining o'tqazilish jarayonidagi taglik temperaturasi bog'liqligi tadqiq qilingan. Taglik temperaturasi 250 °C bo'lganda o'tqazilgan plyonkalarining solishtirma elektr qarshiligi $3,8 \times 10^{-4} \text{ Om} \times \text{sm}$ ni tashkil qilgan bo'lsa, kuydirilganda solishtirma elektr qarshiligining minimal nisbiy o'zgarishi 200 °C temperaturada o'tqazilgan namunalarda kuzatilgan.

Gidrotermal metod va gaz fazasidan o'stirish metodlari yordamida o'stirilgan rux oksidi plyonkalarining nurlanishiga temir, mis va kremniy kirishmalari ta'sirini o'rganish natijalarining tahlili keltirilgan [50]. Gidrotermal metod bilan o'stirilgan ZnO kristallarining 4,2 K temperaturadagi fotolyuminesentsiya spektrlarida erkin A -eksitonga xos bo'lgan $FX_A^{n=1}$ nurlanish liniyasi $\lambda = 367 \text{ nm}$ to'lqin uzunligida kuzatilgan. Fe , Cu , Si kabi kirishmalarning konsentratsiyasining ortishi gaz fazasidan o'stirilgan ZnO kristallarining fotolyuminesentsiya spektrlarida nurlanish intensivligining sezilarli darajada kamayishiga olib keladi. Gaz fazasidan o'stirish chog'ida ZnO kristallarida vodorod kirishmasi boshqarib bo'lmaydigan kirishma hisoblanadi va u ushbu birikmalarda donor rolini o'ynaydi. Xuddi shunday kristallarda kremniy kirishmasi ham boshqarib bo'lmaydigan kirishma bo'lib qolarkan. Infraqizil spektroskopiya metodi yordamida ZnO kristallarining ushbu sohadagi nurlanish liniyalari identifikatsiya qilingan.

$\text{ZnO} - \text{Ag}$ plyonkalari shisha va sapfir tagliklarda ikki bosqichli metod bilan o'stirilgan [51]. Keyin ushbu plyonkalar oksidlandi va 500 – 600 °C temperatura intervalida vakuum qurilmasini ishlatmasdan kumush bilan legirlangan. Ushbu metodning ichiga rux sulfidi ZnS ni oksidlash va uning yuzasida atmosfera bosimida havo muhitida yaqin masofadan kumush sublimatsiyasini amalga oshirish kiradi. Kirishma (kumush) ning plyonka hajmi bo'yicha bir xilda taqsimlanishini olish va kristall strukturasi yaxshilash maqsadida plyonkalar 600 – 700 °C temperatura intervalida va 1 – 5 soat davomida havoda qo'shimcha ravishda kuydirilgan. Plyonkalarining qalinligi 0,6 mkm dan 7 mkm gacha oraliqda bo'lgan. Olingan plyonkalarining strukturaviy va nurlanuvchi xossalarini o'rganish

uchun Rentgen difraktsiyasi, atom-kuchli mikroskopiya, fotolyuminestsentsiya va katodolyuminestsentsiya metodlaridan foydalanilgan. Plyonkalarni olish sharoitlarining uning xossalriga ta'sirlari o'rganilgan. Kumush bilan legirlash plyonkalarining kristall strukturasi modifikatsiyalaydi – o'lchamlari 500 – 2000 nm bo'lgan monokristall bloklarning [0002] yo'nalishda orientirlangan o'sishiga imkon yaratadi. Kristall sifatining yaxshilanishi plyonkalarining nurlanishli xarakteristikalarining o'zgarishi bilan korrelyatsiyalanadi. Kumush bilan legirlangandan keyin plyonkalarining nurlanish spektrlarida maksimumlari 3,1 eV, 2,47 eV va 2,34 eV da bo'lgan polosalarning nisbiy intensivliklari, mos holda, 0,1; 1,0 va 0,7 ni tashkil etgan. 700 °C temperaturada 1 soat davomida kuydirilgan plyonkalarining nurlanish spektrida maksimumlari 3,23 eV, 3,1 eV, 2,47 eV va 2,23 eV da bo'lgan polosalar paydo bo'ladi va bu polosalarning nisbiy intensivliklari, mos holda, 0,65; 0,5; 1,0 va 0,7 ni tashkil etgan. SHu bilan bir vaqtda 600 °C temperaturada 3 soat davomida kuydirilgan plyonkalarining nurlanish spektrida maksimumlari 3,23 eV va 3,1 eV dagi ultrabinafsha polosalarning intensivligi ko'rinuvchi sohadagi 2,47 eV bo'lgan polosanikiga nisbatan ortadi va maksimumlari 2,23 eV yoki 2,34 eV bo'lgan polosalar umuman yo'qoladi. ZnO – Ag plyonkalar 1 soat davomida kuydirilgandan keyin ham bu polosalar nurlanish spektrida kuzatilmaydi. Maksimumlari 2,23 eV yoki 2,34 eV bo'lgan polosalar ZnO panjarasiga kumush kiritilishi bilan belgilanuvchi nurlanish markazlariga tegishli deb taxmin qilinadi. Bu markazlar kumush atom (ion) lari va rux oksidi panjarasining nuqsonlari tashkil qilgan kompleks markazlar deb taxmin qilinadi. Bunday nurlanish markazlari barqarormas va temperaturaviy qayta ishlashda yoki uzoq vaqt saqlanganda o'z-o'zidan parchalanadi.

I.3. Keng zonali yarimo'tkazgichlar asosida nanostrukturalar olish

Kommertsiya maqsadlari uchun yupqa plyonkalar katta qiziqish uyg'otadi. Bunday plyonkalarni olish usullari juda ko'p. $A^{II}B^{VI}$ tipidagi yarimo'tkazgichlar

plyonkalarini olish uchun molekulyar-nurli epitaksiya, gaz faza epitaksiya metodlari eng ko'p tarqalgan hisoblanadi.

Turg'un muvozanatlarda vakuumli metod bilan olingan rux selenidining yupqa plyonkalari turli xil strukturalarga ega bo'ladi. Masalan, kvarts taglikda molekulyar-nurli epitaksiya usuli bilan o'tqazilgan nostexiometrik tarkibdagi rux selenidi plyonkalari kub (sfalerit) strukturasida kristallangan bo'lsa [52], kimyoviy tarkibida rux – 34,35 at.% li va selen – 65,65 at.% li yupqa qatlamli rux selenidi plyonkalari amorf strukturaga ega ekanligi to'g'risida xabarlar mavjud bo'lsa, qalin plyonkalar esa kristallik strukturaga egaligi namoyon bo'lgan [53]. Amorf plyonkalarining taqiqlangan zonasining kengligi kristall $ZnSe$ plyonkalarining taqiqlangan zonasining kengligi ($E_g=2,7\text{ eV}$) dan katta ekanligi aniqlangan.

Kvaziyoqiy hajmda shisha taglikka o'tqazilgan turli xil qalinlik ($0,09 \div 1,25\text{ mkm}$) dagi $ZnSe$ plyonkalar kuydirish jarayonigacha optik shaffof bo'lib, asosan (111) tekislikda o'sgan kubik strukturaga ega bo'lgan. Agar kristallarni o'tqazgandan keyin, kuydirilsa, u holda kristallitlarning (111) tekislik bo'yicha orientatsiyalanishi kuchliroq bo'lar ekan.

Yupqa ZnS plyonkalarining o'sish mexanizmiga o'tkazish temperaturasi ta'siri o'rganilgan [54]. Plyonkalar $298 - 348\text{ K}$ temperatura diapazonida kimyoviy metod bilan o'stirilgan. ZnS plyonkalari nanokristallik strukturasiga ega bo'lgan. Optik spektrlarida “ zangori “ siljish kuzatilgan. Bu siljish donchalarning kristall o'lchamlarining kichiklashishi bilan bog'langan. Mualliflar quyidagi ikki etapdan iborat o'sish mexanizmini taklif qildilar:

- 1) qorishmada ZnS o'simtalarining gomogen shakllanishi;
- 2) ZnS tutash plyonkasi o'simtalar migratsiyasi va o'tkaziladi.

SnO_2 bilan qoplangan shisha taglikka kimyoviy o'tqazish metodi bilan ZnS plyonkalari o'stirilgan [55]. ZnS zarrachalaridan shakllangan rux strukturasiga ega bo'lgan suv qorishmasi ishlatilgan. Rentgenostrukturaviy tadqiqotlar zarrachalar o'lchamlari taxminan $3 \div 4\text{ nm}$ ekanligini ko'rsatdi.

Rux sulfidi plyonkalari o'ta yuqori vakuumli qurilmada kukunni termik

diskret bug'latish metodi bilan olingan [56]. Agat sandalda yanchilgan kukun vibrabunkerga joylashtirildi, keyin esa kukun 1600 °C gacha qizdirilgan molibden tigelga tushgan, u yerdan esa tagliklarga bug'latib o'tqazilgan. Changlatish paytida taglik temperaturasi – 150 °C ni tashkil qilgan. Tagliklar sifatida kremniy *KEF-45* va kvarts shisha ishlatilgan. Kondensatsiya jarayoni tugatilgandan so'ng vakuumli kameraning germetizatsiyasini buzmasdan namunalar 50 *km/soat* tezlikda 373, 423 va 473 *K* temperaturagacha qizdirildi. Ushbu temperaturalarda bir soat davomida reaktiv yuqori chastotali magnetron changlashtirishdan foydalanilgan [57]. Dielektrik qatlamlar argon muhitida kvarts nishonni magnetron changlatish metodi bilan shakllantirdi (ishchi bosimi – 0,4 *Pa*, yuqori chastotali razryad quvvati – 200 *W*, changlatish vaqti – 20 *min*). Bufer (*SiO₂*) qatlamlar qalinligi 0,2 *mkm* ni tashkil qilgan. Ishchi qatlamlar sifatida yuqorida keltirilgan metodika bo'yicha o'tqazilgan rux sulfidi plyonkalari ishlatilgan. Struktura yuqoridagi elektrod sifatida *VUP – 5* qurulmasida termik usul bilan changlatilgan alyuminiy qatlamidan foydalanilgan.

Elektrolyuminestsentsiya amplitudasi 50 *V* va chastotasi 50 *Hz* bo'lgan to'g'ri burchakli shakldagi o'zgaruvchan kuchlanish bilan uyg'otilgan. Nurlanish elektromagnit to'lqinlar spektrining 190 *nm* ÷ 700 *nm* sohasida o'lchashlar uchun ishlatiluvchi surmali-seziyli fotoelement yordamida qayd etilgan. Fotolyuminestsentsiya spektrlari Perkin Elmer firmasining *LS – 55* lyuminescent spektrometrida olingan. Fotolyuminestsentsiyani uyg'otish uchun to'lqin uzunligi $\lambda = 380$ *nm* bo'lgan nurlanish ishlatilgan. O'lchashlar xona temperaturasida amalga oshirildi. Optik o'tkazish va qaytish spektrlarini olish uchun *SF – 26* spektrofotometrdan foydalanilgan.

O'rganilgan namunalarning sintezi ikki zondli gaz oqadigan tipdagi kvarts reaktorda amalga oshirilgan [58]. Dastlabki (bug'latish) zonasiga granullangan yuqori tozalikka (99,99%) ega rux, ikkinchi (sintez) zonasiga taglik joylashtirilgan. Taglik sifatida *Si {100}* kremniy ishlatilgan. Sintez paytida ruxni bug'latish zonasidagi temperatura sterjen ko'rinishidagi nanokristallar uchun – 670 °C,

nanoignachalar ko`rinishidagi nanokristallar uchun esa – 640 °C ni, har ikkala holda ham sintez zonasidagi temperatura 620 °C ni tashkil etgan. Kislorodli-azot aralashmasi reaktorga 1 l/soat tezlikda berilgan. Rux sarfi 20 – 28 g/soat ni tashkil etgan. Reaktordagi bosim 5 Torr darajasida ushlab turilgan. Sintez jarayoni 30 min davom etgan. Sintezdan keyin olingan namunalar ruxni bug`latmasdan oqimda 620 °C temperaturada 0,5 soat davomida kuydirilgan. Ushbu namunalarning shakli va o`lchamlarining spontan lyuminestsentsiyaning so`nish vaqtiga va spektrning ultrabinafsha sohasida stimullashgan lyuminestsentsiyaning vujudga kelish bo`sag`asiga ta`siri tadqiq qilingan. Geksagonal strukturali ustunsimon shakldagi namunalarning optik uyg`otilishining bo`sag`aviy qiymati boshqa shakldagi namunalarga nisbatan ancha kichikligi aniqlangan. Prizma va geksagonal strukturali piramida shaklidagi nanokristallarning lazer generatsiyasi mexanizmi aniqlangan.

Kristall modda olish uchun 25 – 50 mm² Si taglik ustiga nurlantirish sohasida qatlam qalinligi 2 – 4 mm ga mos keladigan qilib kukun ko`rinishidagi ZnO joylashtirilgan [59]. ZnO ni nurlantirish LGN-703 tipidagi 600 – 800 Vt/sm<sup>2</sup> quvvatli CO<sub>2</sub>-lazer yordamida havoda xona temperaturasida bug`lanish jarayonini vizual ravishda nazorat qilib amalga oshirildi. Nurlantirishning ta`sir vaqti eksperimental ravishda aniqlandi va o`rtacha vaqti 40 – 90 s ni tashkil qilgan. CO₂-lazerning uzluksiz ta`siri metodi bilan uzunligi 0,3 – 0,8 mm, diametri 1 – 10 mkm, solishtirma elektr qarshiligi 3·10<sup>2</sup> – 1 Om·sm bo`lgan ZnO monokristall iplari olingan. Ushbu monokristall iplarning volt-amper xarakteristikalari va elektrolyuminestsentsiyasi o`rganilgan. Iplarda elektr maydon taqsimlanishiga ta`sir qiluvchi xususiy nuqsonlar qatnashuvchi kontaktlardan tashuvchilarning injeksiyasi bilan belgilanuvchi zaif elektrolyuminestsentsiya kuzatilgan. Keyingi tahlillar shuni ko`rsatdiki, shu`lalanishda aktiv sohada moddaning bug`lanishi ro`y beradi. O`zaro bitishgan ikkita iplar uchun elektrolyuminestsentsiya yorqinligi ortib, bug`lanish sohasida spektral tarkib kengayadi. SHu`lalanishning kuzatiladigan xossalari tahlili zarbali elektrolyuminestsentsiya ekanligidan

dalolat beradi.

(0001) orientatsiyali sapfir va orientirlanmagan kvarts, polikor va shisha tagliklarda magnetron changlatish metodi bilan olingan $100 - 200 \text{ \AA}$ qalinlikdagi oraliq rux oksidi qatlamlarida portlovchi lazer changlatish metodi bilan ipsimon rux oksidi nanokristallarini olishga harakat qilingan [60]. Buning uchun o'lchamlari $20 \times 15 \text{ mm}$ bo'lgan (0001) orientatsiyali sapfir va orientirlanmagan kvarts, polikor va Corning 1736 tipdagi shisha tagliklarda magnetron changlatish metodi bilan doimiy tokda oraliq rux oksidi qatlamlari o'tqazilgan. CHanglatish uchun diametri 4 sm va qalinligi 2 – 3 mm bo'lgan tabletka-nishonlar qo'llanilgan. Doimiy tokdagi magnetron changlatishda barqaror razryadni olish uchun $Ar:O_2=4:1$ atmosferasida o'ta sof tozalikdagi rux oksidi kukuniga og'irligi bo'yicha 1% Ga_2O_3 qo'shilgan. Nishon 1400 K temperaturada 10 soat davomida kydirilgan. Razryad toki 200 mA, o'sish vaqti 12 min va taglik temperaturasi 300 °C bo'lganida qatlamlar qalinligi $150 - 200 \text{ \AA}$ ni tashkil qilgan. Olingan ipsimon nanokristallarning morfologiyasini va yon tomoni siniqlarini o'rganish LEO-1450 tipdagi rastrli elektron mikroskopda amalga oshirilgan. O'rganishlar shuni ko'rsatdiki, ipsimon nanokristallar o'sishi taglik qanday modda bo'lishiga qaramasdan c o'q bo'ylab, taglik tekisligiga perpendikular holda ro'y berar ekan. Taglik temperaturasiga bog'liq holda nanoignalarning ko'ndalang kesimi va uzunligi (diametri $200 - 300 \text{ \AA}$, uzunligi $3000 \text{ \AA}$ gacha) o'zgagar ekan. Ipsimon rux oksidi nanokristallari ansamblining fotolyuminesentsiya spektrlari 77 va 300 K temperaturalarda o'rganilgan. Intensivlikning spektral taqsimoti sifatli rux oksidi kristallariga xos bo'lib, maksimumlari 369,3 nm, 374,3 nm va 382,6 nm to'lqin uzunliklarda bo'lgan polosalar kuzatilgan. Ignasimon ipsimon rux oksidi nanokristallarning xarakterli tomoni shundan iboratki 367,2 nm to'lqin uzunlikdagi erkin A_1 eksitonining nurlanishi kuzatilmaydi, neytral donorda bog'langan I_d polosa intensivligi zaif va $1LO$ fononli takrorlanish polosasining intensivligi yuqoridir. Fononli takrorlanish polosalari intensivliklarining $1LO/2LO$ nisbati va ularning yarimbalandlikdagi kengliklari ipsimon nanokristallarda yuqori

temperaturaviy gradient va shu tufayli kelib chiquvchi mexanik kuchlanishlar bilan belgilanuvchi nuqsonlar mavjudligidan dalolat beradi. Rentgenostrukturaviy o`rganishlar DRON-2 difraktometrida pirografit kristalli yordamida monoxromatlashtirilgan  $CuK^{\alpha}$ -nurlanishidan foydalanilgan holda amalga oshirilgan. O`rganilgan rux oksidi namunalarining tipik difraktogrammlarida bazaviy rux oksidiga xos bo`lgan (0002) va (0004) difraktsion piklar kuzatilgan, bu esa ignasimon ipsimon rux oksidi nanokristalarining ko`pchiligi ko`proq  $c$  o`q bo`ylab orientatsiyalangan yaqqol ifodalangan vyurtsit strukturaga ega ekanligini ko`rsatdi.

II bob. Magniy bilan legirlangan rux oksidi nanoiplarining fizikaviy xossalarini tahlil qilish

Ushbu bobda magniy bilan legirlangan rux oksidi nanoiplarini olish usullari, rux oksidi nanoiplarining strukturaviy xossalariga magniy kirishmasining ta'siri va rux oksidi nanoiplarining optik xossalariga magniy kirishmasining ta'siri tahlil qilib chiqiladi.

II.1. Magniy bilan legirlangan rux oksidi nanoiplarini olish usullari

Mg bilan legirlangan *ZnO* nanoiplarni tayyorlash jarayonini ikki bosqichga ajratish mumkin.

Dastlabki bosqichda, JCK-500A RF magnetron changlatish sistemasida *Au* nishonni changlatish yo'li bilan *Si* tagliklarda yupqa *Au* oltin qatlamlari o'tqazilgan. *Si* (111) tagliklar ketma-ket ravishda 30 *min* davomida toluolda, atsetonda, etanolda i deionlashtirilgan suvda emirilish yo'li bilan tozalangan. Changlatish jarayoni sharoitlari quyidagicha bo'lgan: taglik va nishon orasidagi masofa 80 *mm*, fon bosimi $7 \cdot 10^{-4}$ *Pa*, ishchi gaz bo'lib sof *Ar* ($\geq 99,99\%$) gazi va ishchi bosim 2 *Pa*, radiochastotadagi chiqish kuchlanishi 320 *V* va chiqish toki 50 *mA* bo'lib, oltin qatlamlarini changlatish vaqti 2 *sekund* bo'lib, bu qatlamlarning qalinligini taxminan 12 *nm* atrofida bo'lishini ta'minlagan.

Ikkinchi bosqichda *Mg* bilan legirlangan *ZnO* nanoiplar standart o'choqning gorizontaal trubasida (L4513II-2/QWZ) kimyoviy fazodan o'tqazish jarayonida sintez qilingan. *ZnO* (99,9% tozalikdagi), *Mg* (99,99% tozalikdagi) va grafit kukuni aralashmasi 7:2:0,1 massa nisbatida manba moddalari sifatida ishlatilgan. Har ikkala modda va yuzasiga oltin qatlamlari o'tqazilgan *Si* tagliklar orasidagi masofa 2 *sm* bo'lgan holda kvarts qayiqcha joylashtirilgan..

O'choq 50 – 100 °C/*min* tezlikda 850 °C gacha qizdirilgandan keyin oquvchi *Ar* (99,999%) gazi, qoldiq havo 5 *min* davomida 500 *s·sm* darajasida bo'lguncha

qadar jarayon kechayotgan trubaga, kiritilgan. Keyin *Si* tagliklar va manba moddalar solingan kvarts qayiq o'choq ichiga joylashtirildi. Manba moddalar o'choqning markaziga joylashtirilgan va *Si* tagliklar, ularda moddalar yaxshi o'tirib qolishi uchun gaz oqimining ostiga joylashtirilgan. Doimiy argon oqimi 150 *s·sm* bo'lganda temperatura 10 *min* davomida o'zgarishsiz saqlandi. Keyin qayiq tashqariga chiqarib olindi, keyin atmosfera bosimida xona temperaturasigacha sovutildi va taglik yuzasida paxtaga o'xshash oq mahsulotlar paydo bo'lgan. Bundan tashqari, shunga o'xshash sharoitlarda *Mg* bilan legirlangan *ZnO* nanoiplar olingan va uning fotolyuminestsentsiya spektrlari taqqoslash uchun o'rganilgan.

ZnO nanostrukturalarining shakllanishini tushuntirish uchun bug' – suyuqlik – qattiq jism va bug' – qattiq jism mexanizmlari taklif qilingan. Bug' – suyuqlik – qattiq jism jarayoni gaz fazasidagi manba moddalarning absorbtitsiyasidan boshlanib, suyuq metall tomchilariga va suyuq qotishmalarning hosil bo'lishi bilan tushuntiriladi. Suyuq qotishma to'yinganida oraliq qattiq pretsipitat hosil bo'ladi va keyingi o'tqazish jarayoniga asosiy manba bo'lib xizmat qiladi. Bunday bug' – suyuqlik – qattiq jism mexanizmining dominant xarakteristikasi bo'lib, metall zarrachalar nanoiplarning oldingi qatorida joylashib, katalitik aktiv joylar bo'lib xizmat qilishini qayd qilib o'tish kerak. Ushbu ishda *Si* (111) taglik yuzasiga qoplangan har bir yupqa oltin qatlam (12 *nm*) qizdirilgan, biroq nometal katalizator yoki boshqa tipdagi kirishmalar *ZnO* nanoiplarning uchlarida, skanerlovchi elektron mikroskopiya va o'tkazuvchi elektron mikroskopiya metodlar yordamidagi kuzatishlardan ko'rinib turibdiki, kuzatilmagan. Demak, mahsulotni o'stirish mexanizmi bug' – qattiq jism mexanizmi asosida tushuntiriladi deb taxmin qilish mumkin va kichik oltin zarrachalari ushbu holda katalizator bo'lib xizmat qilmaydi, biroq nanoiplarni o'stirish paytida imkoniyati katta joylar bo'lishi mumkin. *Si* tagliklardagi yupqa *Au* plyonka, kutilganidek, *Au – Si* binar sistemaning evtektik nuqtasi taxminan 363 °C [61] atrofida bo'lgani uchun, nanoo'lchamli *Au – Si* qotishmaning fazaviy diagrammasida tomchilarini

shakllantiradi. Temperatura $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan yuqoriga ko'tarilganida manba moddalardagi aktiv ko'mir va ZnO ularning har biri bilan ta'sirlashadi va bug' Zn va/yoki ZnO_x hosil qiladi va Zn va/yoki ZnO_x va Mg bug'lar past temperaturali sohaga o'tadi va Au-Si qotishmaning tomchilari tomonidan absorptsiyalanadi. Keyin ZnO o'ta yuqori to'yinish sohasiga etganida tomchilardan nanoiplar qattiq ZnO presipitatlar shakllana boshlaydi. SHu vaqtda ZnO kristal panjarasida Zn o'rnini Mg o'rnini egallash jarayoni ro'y berib ZnO zarrachalarga Mg legirlanadi. Reaksiyaga kiruvchi reaktantlarning uzluksizligini ta'minlab oltin zarrachalar ustidagi ZnO ning qalinligini ta'minlash mumkin va oltin qatlamlari shakllangan ZnO nanoiplarining ostida joylashadi. Demak, o'stirilgan nanoiplarning yuzasida oltin zarrachalari kuzatilmaydi.

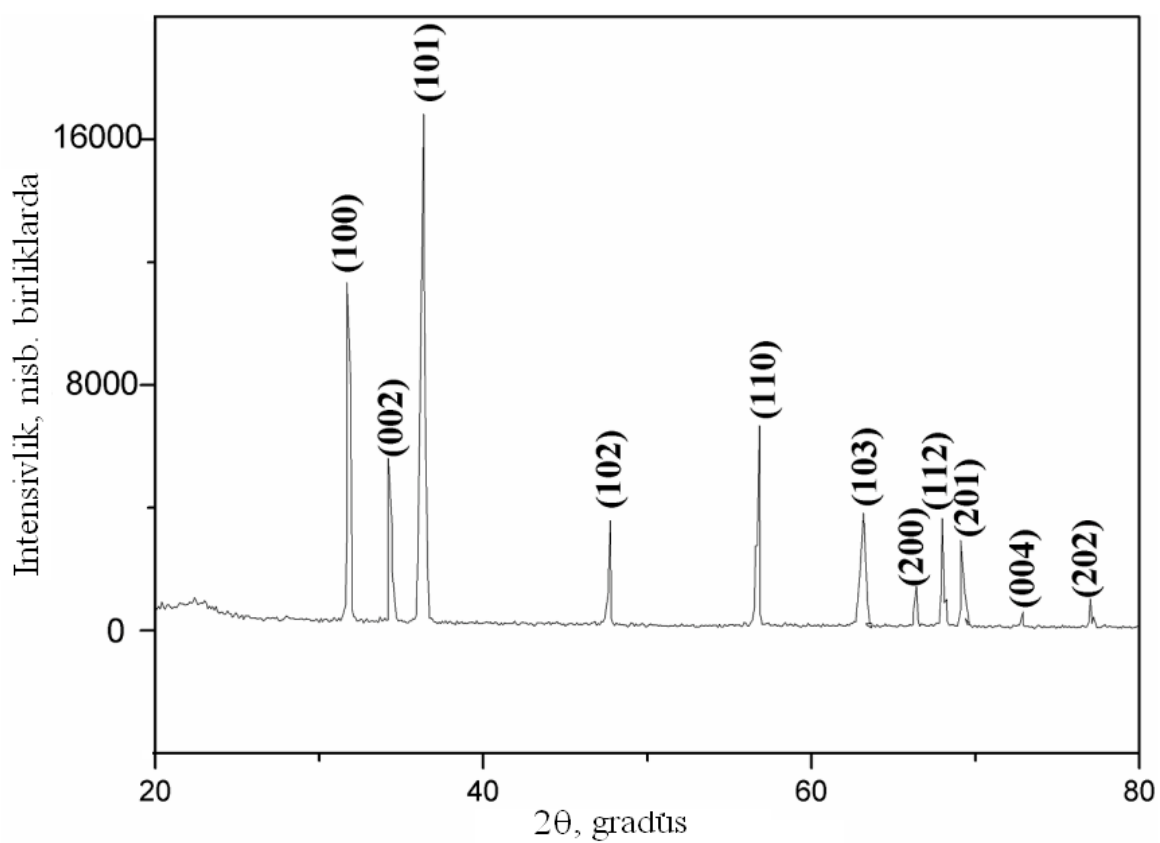
Ushbu o'stirish metodi uzluksiz sintez qilish imkonini yaratib, oddiy va arzon bo'lib, keng miqyosda sanoatda ishlab chiqarish maqsadlarida qo'llanilishi mumkin. Mg bilan legirlangan ZnO nanoiplarining morfologiyasi, kristalligi va optik xossalari har tomonlama o'rganilgan. Ushbu ishda o'rganilgan nanoiplarning uzunligi bir necha yuz mikrometrgacha bo'lib, boshqa ishlarda [22] o'rganilganidan ancha uzun bo'lsa-da, diametri nisbatan kichik bo'lgan.

Namunalarning morfologiyasi va yuza mikrostrukturasi Hitachi S-570 skanerlovchi elektron mikroskopiyasi, Hitachi H-800 o'tkazuvchi elektron mikroskopiyasi va Philips Tecnai-20 yuqori ajrata olish qobiliyatiga ega o'tkazuvchi elektron mikroskopiyasi yordamida o'rganilgan. Namunalar mikrostrukturasi va kimyoviy tarkibi CuK_α liniyali Rigaku D/max-rB Rentgen nurlari difraktometri va Rentgen nurlari energetik spektrokopiyasining dispersiya energiyasi bilan o'rganilgan. Mahsulotlarning He-Cd lazerining 325 nm to'lqin uzunligidagi uyg'otilgan xona temperaturasidagi fotolyuminesentsiya spektrlari FLS920 fluorestsentsiyalovchi spektrometri yordamida o'rganilgan.

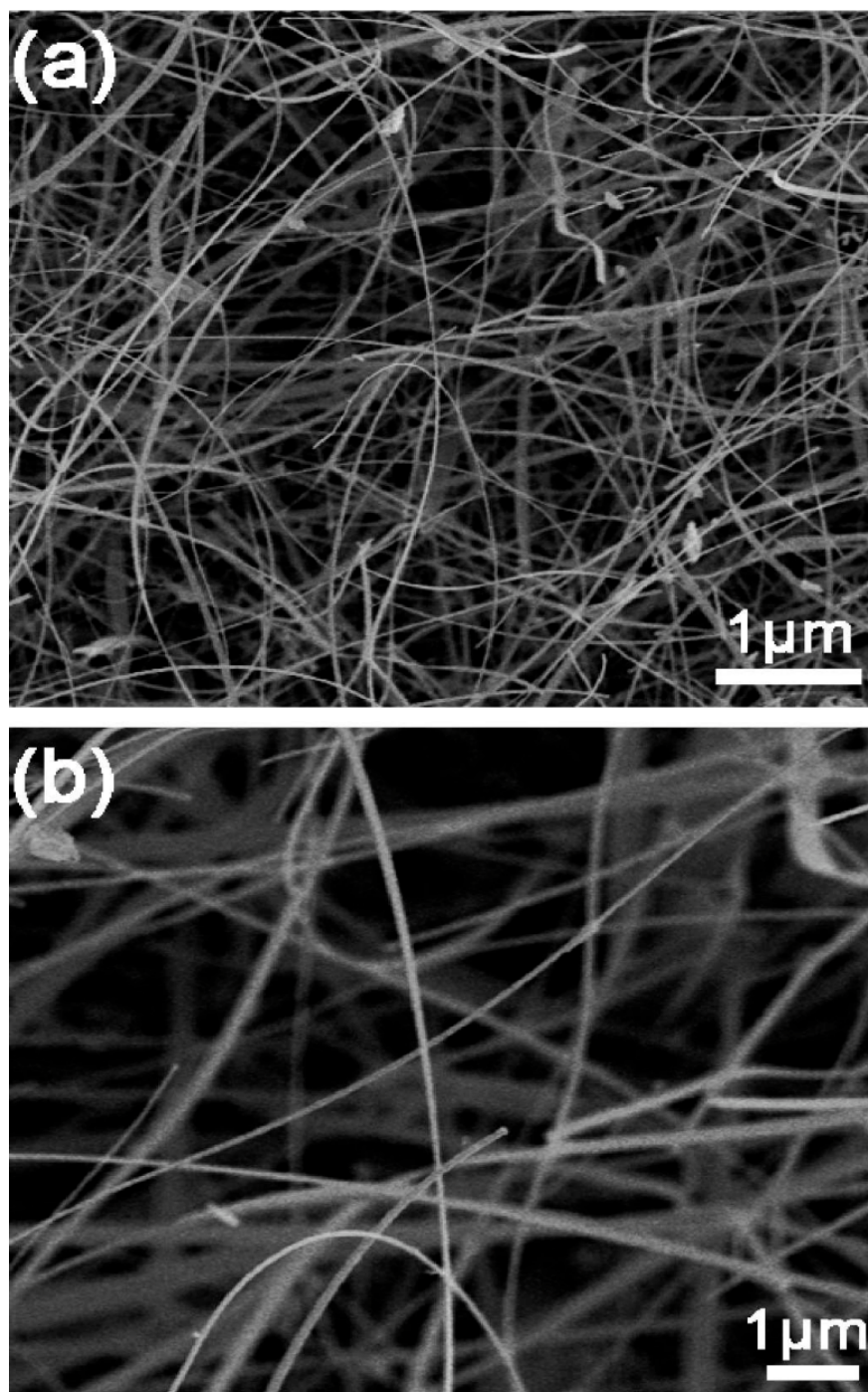
II.2. Rux oksidi nanoiplarining strukturaviy xossalariga magniy kirishmasining ta'siri

Tadqiq qilingan namunalarning tipik rentgen difraktogrammalari 1-rasmda taqdim qilingan. 1-rasmdan ko`rinib turibdiki, namunalarning difraktsion piklari (JCPDS No. 36-1451) da keltirilgan standart kattaliklari bilan yaxshi moslikka mos kelib,  $ZnO$  ning geksagonal vyurtsit strukturasi to`g`ri keladi.  $2\theta=34,58^\circ$  burchakdagi (002) difraktsion pik hajmiy  $ZnO$  ( $34,40^\circ$ ) ning standart kattaligidan ozgina siljigan [62], bu esa  $Mg^{2+}$  atomi  $ZnO$  ning kristall panjarasida  $Zn^{2+}$  ning o`rnini egallaganini bildiradi, chunki Mg^{2+} ning ion radiusi (0,057 nm) Zn^{2+} ning ion radiusi (0,060 nm) dan kichik. Metall Zn va Mg ga mos keluvchi difraktsion piklar qayd qilinmagan, bu esa Mg bilan legirlanish, uning miqdori kamchilikni tashkil qilgani uchun, vyurtsit strukturasi o`zgartirmaydi, bu esa [22] da keltirilgan  $Mg$  ning  $Zn$  o`rnini olish natijalari bilan mos keladi. Bundan tashqari, keskin difraktsion piklar ZnO nanoiplar yaxshi kristall strukturaga ega ekanligini ko`rsatadi. Oltin  $Au$  ga mos keluvchi difraktsion piklar,  $Au$  zarrachalari o`lchamlari (taxminan 3 nm) kichik bo`lganligi sababli, rentgen difraktogrammalarida qayd qilinmaydi.

Yuza morfologiyasi. Namunalarning va nanoipsimon o`lchamlarning yuza morfologiyasi skanerlovchi elektron mikroskopiya yordamida o`rganilgan. Turli xil o`lchamlarda sintez qilingan namunalarning skanerlovchi elektron mikroskopda olingan tipik tasvirlari 2-rasmda ko`rsatilgan. YUqori zichlikdagi ZnO nanoiplardan iborat nanostrukturalar morfologiyasi 2-rasmda tasvirlangan. Bir-birlaridan turli xil masofalarda bo`lgan nanoiplar taglik yuzasida ixtiyoriy ravishda joylashgan. 2,b-rasmdagi turli xil o`lchamdagi skanerlovchi elektron mikroskopiya yordamida olingan rasmlardan nanoiplarning tipik diametri taxminan 60 nm va uzunligi bir necha mikrometr ekanligini ko`satadi. Bundan tashqari nanoiplarning uchlarida hech qanday metall zarrachalar kuzatilmaydi.



1-rasm. *Mg* bilan legirlangan geksagonal vyurtsit strukturali *ZnO* nanoiplarining Rentgen dfraktsiyasi piklari.

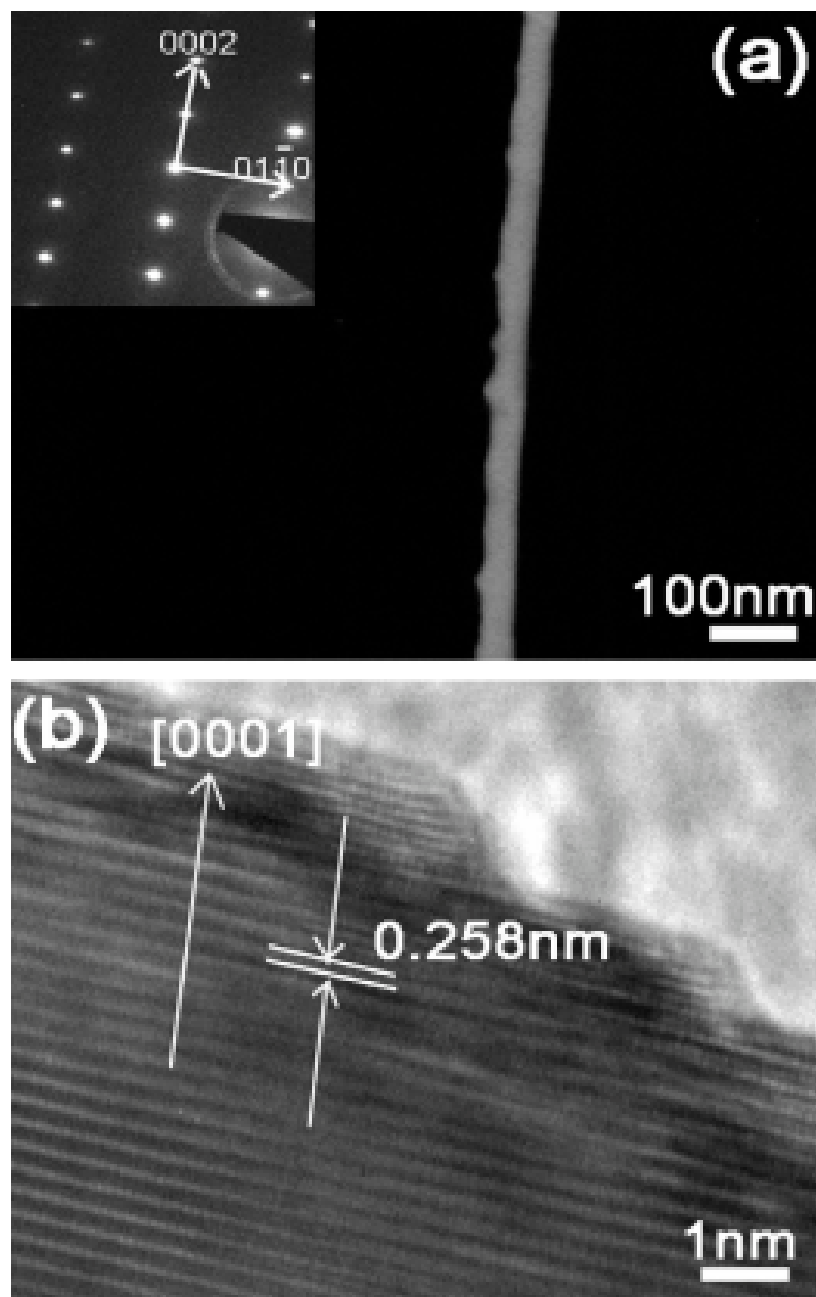


2-rasm. Turli xil o'lchamlardagi Mg bilan legirlangan ZnO nanoipining skanerlovchi elektron mikroskopda olingan tasviri.

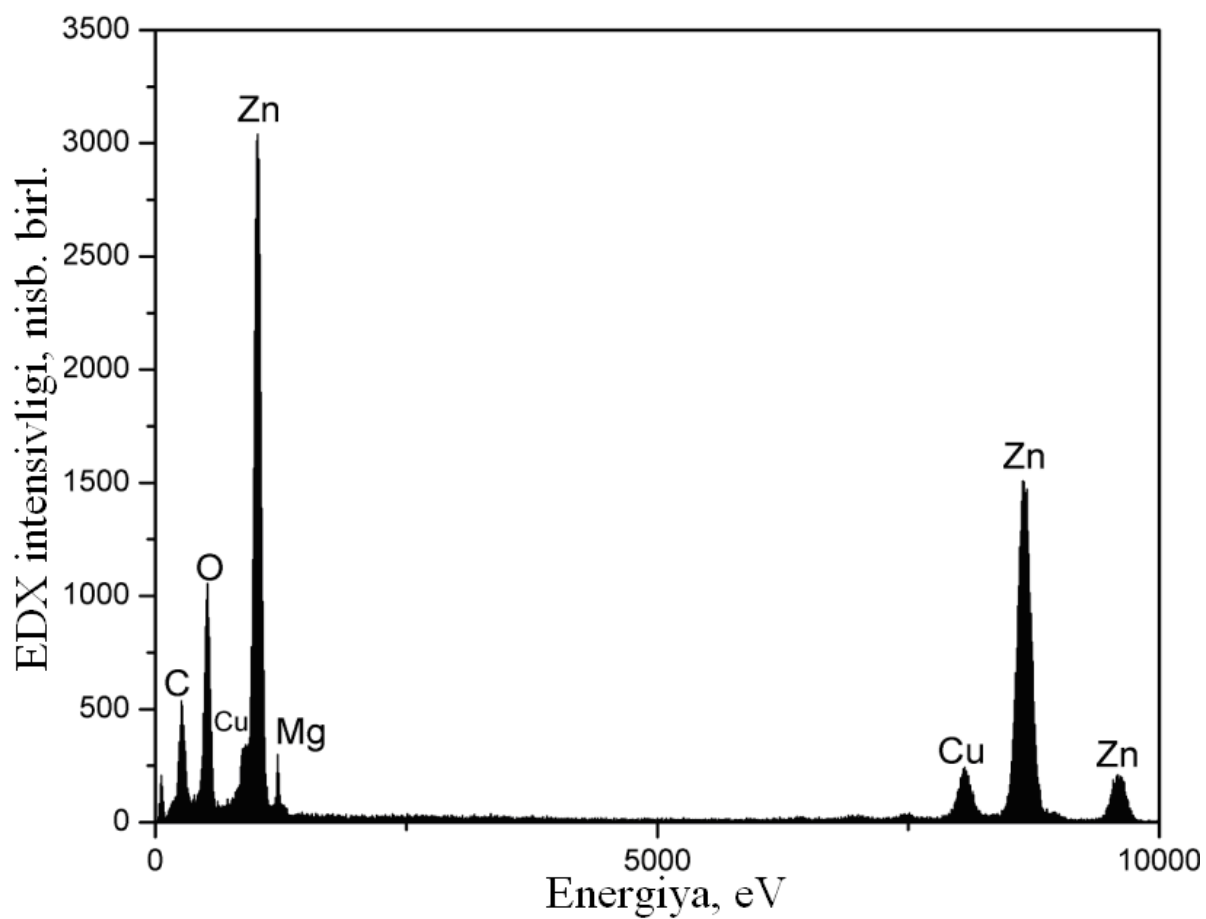
Yangi o`stirilgan *ZnO* nanostrukturalarni keyinchalik qanday maqsadlarda o`rganish va qo`llash mumkinligini aniqlash hamda yuza morfologiyasini tushunish maqsadida bu namunalarning o`tkazuvchi elektron mikroskopiyasi, yuqori ajrata olish qobiliyatiga ega o`tkazuvchi elektron mikroskopiyasi va tanlangan sohalarning elektron difraktsiyasi o`rganish natijalari 3,a- va 3,b-rasmlarda ko`rsatilgan.

3,a-rasmdan ko`rinib turibdiki, yakka *ZnO* nanoipining diametri 60 nm atrofida bo`lib, uning yuzasi dag`al, bu esa nanoipning o`sish vaqtida *Mg* bilan legirlanishi bilan bog`liq bo`lgan nuqsonlar tufayli kelib chiqqan bo`lishi mumkin. 3,a-rasmdagi qo`shimchada *Mg* bilan legirlangan *ZnO* nanoipining tanlangan sohasining elektron difraktsiyasi tasvirlangan bo`lib, bunda nanoiplarning regulyar elektron difraktsiyasi, ularning yuqori sifatli kristall strukturaga egaligini ko`rsatadi. Tanlangan sohaning elektron difraktsiyasi *ZnO* ning geksagonal vyurtsit strukturasi yaxshi mos kelishini ko`rsatadi, ikkilamchi faza mavjud emas. Bundan esa, *ZnO* nanoipini *Mg* bilan legirlash *ZnO* matritsasining panjara strukturasi sezilarli o`zgarishlarga olib kelmaydi degan xulosa kelib chiqadi. 3,a-rasmda yuqori ajrata olish qobiliyatiga ega o`tkazuvchi elektron mikroskopiyasi yordamida olingan *Mg* bilan legirlangan *ZnO* nanoipining tasviri kristall panjaraning ko`rinuvchi chekkalari nanoip [0001] yo`nalishda o`stirilgan yuqori sifatli geksagonal vyurtsit strukturali monokristall ekanligini ko`rsatadi. Panjaraning ikkita (0002) yoqlari orasidagi masofa 0,258 nm ekanligini ko`rsatadi, bu esa legirlanmagan *ZnO* ning xuddi shunday yoqlari orasidagi masofa (0,260 nm) dan ozroq kichik ekan. Bunday surilish *ZnO* kristall panjarasida *Mg* ionlarining rux o`rnini egallashi tasodifiy taqsimlanganligi bilan tushuntiriladi. Ikki valentli  $Mg^{2+}$  ionlarining *ZnO* kristall panjarasiga kiritilishi o`sish yo`nalishida mexanik kuchlanishlarni vujudga keltirmaydi degan xulosaga olib keladi.

Tarkibning kimyoviy tahlili. Sintez qilingan *ZnO* nanoiplarining kimyoviy tarkibi Rentgen nurlari energetik spektrokopiyasi metodi bilan aniqlangan. 4-rasmda nanoiplar chekkalariga xos bo`lgan Rentgen nurlari energetik spektrlari



3-rasm. *Mg* bilan legirlangan *ZnO* bitta nanoipning o'tkazuvchi elektron mikroskopda olingan tasviri va tanlangan sohaning Rentgen nurlari elektron difraktsiyasi (a) va nanoipning yuqori ajratish qobiliyatli o'tkazuvchi elektron difraktsiyasi tasviri.

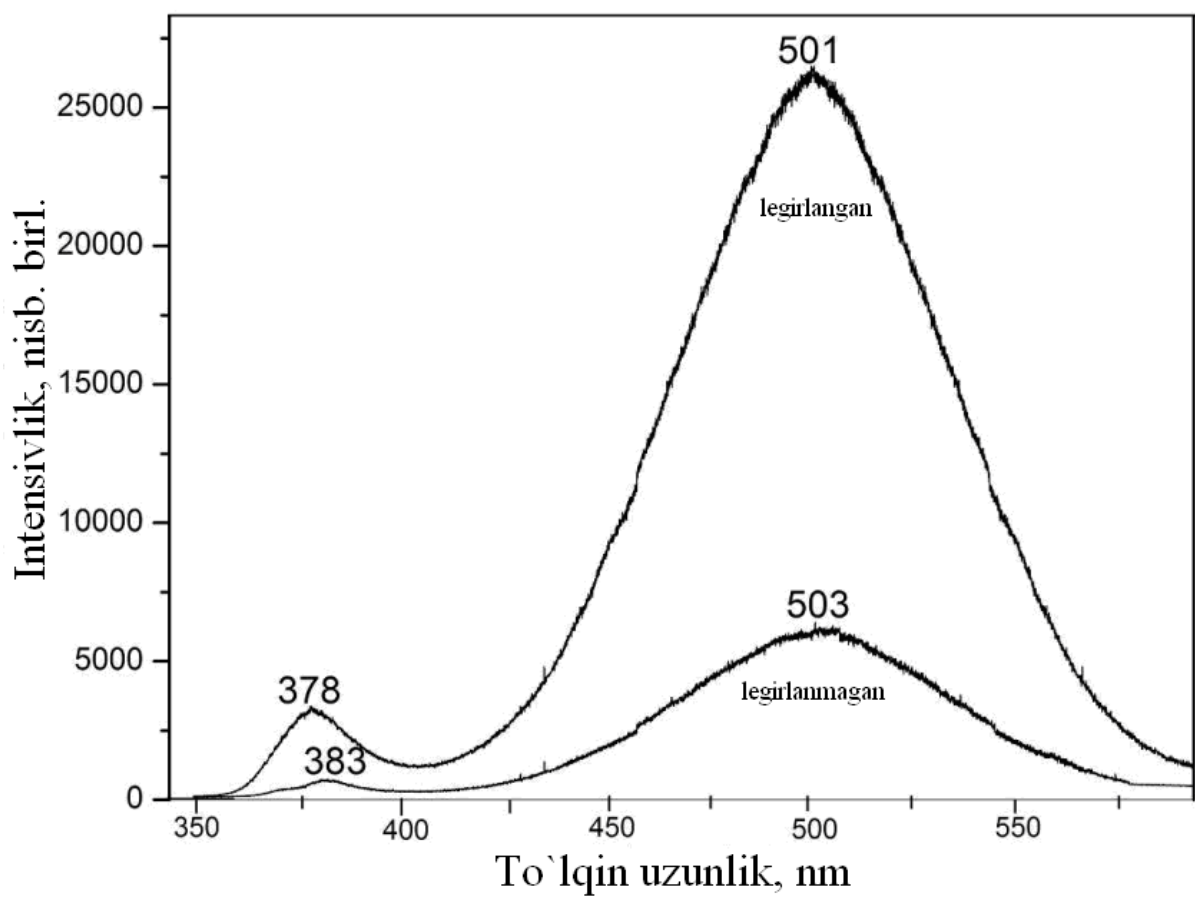


4-rasm. Yakka nanoipning Rentgen nurlari energetik spektrokopiyasining difraktsiyasi spektri.

tasvirlangan. Bu toza, Zn , Mg , C , Cu va O larga oid cho`qqilar kuzatiladi ( $Cu$  cho`qqisi o`tkazuvchi elektron mikroskopiyasi namunalarida ham kuzatilgan bo`lsa, C ga cho`qqi asosan atmosferaning ifloslanishidan kelib chiqqan bo`lishi mumkin), bular esa begona kirishmalarsiz Mg bilan legirlangan ZnO ning tarkibiy mahsulotlari hisoblanadi. SHunga o`xshash natijalar nanoiplarning boshqa joylaridan bir necha marta olingan.

II.3. Rux oksidi nanoiplarining optik xossalariga magniy kirishmasining ta'siri

Geliy-kadmiy lazerining $\lambda_{uyg.}=325$ nm to`lqin uzunligida uyg`otilgan xona temperaturasiidagi fotolyuminestsentsiya spektrlari 5-rasmda tasvirlangan. Mg bilan legirlangan va legirnanmagan ZnO namunalarining spektrlarida ikkita nurlanish polosalari: ultrabinafsha sohadagi tor polosa va yashil sohadagi keng polosa kuzatiladi. Ultrabinafsha nurlanish ZnO ning taqiqlangan zonasi kengligining chetki nurlanishiga mos keluvchi eksiton-eksiton to`qnashish jarayoni orqali erkin eksitonning rekombinatsiyasi tufayli ro`y beradi [3]. Legirlanmagan namuna spektri bilan taqqoslash shuni ko`rsatadiki, legirlangan namuna spektrida ultrabinafsha polosa maksimumi 378 nm dan 383 nm ga siljigan. Maksimumi 378 nm va 383 nm da bo`lgan cho`qqilar energiyasi bo`yicha, mos ravishda, 3,28 eV va 3,24 eV ga mos keladi, bu esa Mg bilan legirlangan nanoiplarning taqiqlangan zonasi kengligi ortganligini ko`rsatadi, chunki  $MgO$  ning taqiqlangan zonasi kengligi (7,7 eV)  $ZnO$  ning taqiqlangan zonasi kengligi (3,37 eV) dan katta bo`lib [63], Rentgen difraktsiyasi va elektron difraktsiyasi natijalariga mos keladi. SHuni qayd qilish kerakki, bu binafsha sohasidagi siljish kvant darajadai effektlar bilan bog`liq emas, chunki nanoiplarning o`rtacha diametri 60 nm bo`lib, rux oksidining Bor radiusi ( $\approx 1,8 - 2,0$  nm) ga qaraganda ancha katta [64]. Rux oksidining yashil sohadagi nurlanishini odatda uning turli xil ichki nuqsonlari bilan bog`laydilar, shunday bo`lsa-da uning aniq mexanizmi haligacha aniqlanganligi yo`q.



5-rasm. Legirlanmagan va magnit bilan legirangan rux oksidi namunalarining xona temperaturasidagi fotolyuminescentsiya spektrlari.

Turli xil tadqiqotchilar kislorod vakansiyasi (V_O) ning, rux vakansiyasi (V_{Zn}) ning, tugunlaror rux (Zn_i) va antistrukturaviy nuqsonlar (O_{Zn}) ning mavjudligini yashil nurlanish polosasi bilan bog'laydilar [65 – 67]. Ushbu ishda qiziq xodisa – Mg bilan legirlangan namunalarning yashil nurlanish polosasi intensivligi legirlanmagan namunalarning yashil nurlanish polosasi intensivligidan ancha kuchli ekanligi kuzatilgan. Bu yupqa nanoiplar sistemasidagi rekombinatsiya effekti bilan bog'langan bo'lishi mumkin.

Xulosa

Yuqorida qarab chiqilganlarga asoslanib quyidagilarni xulosa qilish mumkin:

1. Yuqori sifatli *Mg* legirlangan *ZnO* nanoiplar *Au* qoplangan *Si* (111) tagliklarda 850 °C temperaturada kimyoviy fazadan o'tqazish metodi yordamida olingan.

2. Rentgen nurlari energetik spektrokopiyasining dispersiya energiyasi tahlil natijalaridan kirishmasiz magniy bilan legirlangan rux oksidining va magniy bilan legirlangan rux oksidining tarkibi, magniyni miqdori kamchilikni tashkil qilgani uchun rux oksidining vyurtsit strukturasi o'zgartirmaydi.

3. Ko'plab nanoiplarning diametrlari 50 nm dan 80 nm gacha va uzunliklari yuzlab nanometrdan bir necha mikrometrgacha bo'lishini ko'rsatdi.

4. Strukturaviy xarakteristikalarini sinchiklab o'rganishlar shuni ko'rsatdiki, sintez qilingan nanoiplar monokristallik bo'lib, ular asosan [0001] yo'nalishda o'sar ekan va ikki valentli magniy ionini rux oksidi kristall panjarasiga kiritish o'sish yo'nalishini o'zgartirmas ekan.

5. Rux oksidi nanoiplarining o'sish mexanizmi bug' – qattiq jism modeli asosida tushuntiriladi va o'tqzilgan oltin zarrachalari nanoiplarning o'tqzilish yadrolari bo'lib xizmat qilar ekan.

6. Nanoiplarning fotolyuminesentsiya spektrlarida maksimumi 378 nm va 383 nm da bo'lgan cho'qqilar kuzatiladi, binafsha sohasidagi nurlanish erkin eksitonning rekombinatsiyasi bilan bog'liq bo'lsa, yashil sohadagi nurlanish rux oksidining turli xil ichki nuqsonlari bilan bog'lanadi. Turli xil tadqiqotchilar kislorod vakansiyasi (V_O) ning, rux vakansiyasi (V_{Zn}) ning, tugunlaror rux (Zn_i) va antistrukturaviy nuqsonlar (O_{Zn}) ning mavjudligini yashil nurlanish polosasi bilan bog'laydilar.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. B.Tian, X.Zheng, T.J.Kempa, Y.Fang, N.Yu, G.Yu, J.Huang, C.M.Lieber, *Nature*, 2007, v. 449, p. 885.
2. J.B.Shen, H.Z.Zhuang, D.X.Wang, C.S.Xue, H.Liu, *Cryst. Growth Des.* 2009, v. 9, p. 2187.
3. L.Feng, A.Liu, Y.Ma, M.Liu, B.Man, *Acta Phys. Pol. A*, 2010, v. 117, p. 257.
4. W.Lee, M.C.Jeong, J.M.Myoung, *Appl. Phys. Lett.* 2004, v. 85, p. 6167.
5. S.W.Jung, W.I.Park, G.C.Yi, M.Kim, *Adv. Mater.*, 2003, v. 15, p. 1358.
6. Y.L.Seu, L.Pang, Y.L.Chia, Y.T.Tseung, J.H.Chorng, *Journ. Phys. D, Appl. Phys.*, 2004, v. 37, 2274.
7. J.S.Jie, G.Z.Wang, X.H.Han, Q.X.Yu, Y.Liao, G.P.Li, J.G.Hou, *Chem. Phys. Lett.*, 2004, v. 387, p. 466.
8. M.Yan, H.T.Zhang, E.J.Widjaja, R.P.H.Chang, *Journ. Appl. Phys.*, 2003, v. 94, p. 5240.
9. H.S.Chen, J.J.Qi, Y.H.Huang, Q.L.Liao, Y.Zhang, *Acta Phys. Chim. Sin.*, 2007, v. 23, p. 55.
10. K.Gas, K.Fronc, P.Dziawa, W.Knoff, T.Wojciechowski, W.Zaleszczyk, A.Baranowska-Korczyc, J.F.Morhange, W.Paszkowicz, D.Elbaum, G.Karczewski, T.Wojtowicz, W.Szuszkiewicz, *Acta Phys. Pol. A*, 2009, v. 116, p. 868.
11. A.Rahm, T.Nobis, M.Lorenz, G.Zimmermann, N.Boukos, A.Travlos, M.Grundmann, *Adv. Solid State Phys.*, 2008, v. 46, p. 113.
12. M.Lorenz, E.M.Kaidashev, A.Rahm, T.Nobis, J.Lenzner, G.Wagner, D.Spemann, H.Hochmuth, M.Grundmann, *Appl. Phys. Lett.*, 2005, v. 86, p. 143113.
13. C.Czekalla, J.Guinard, C.Hanisch, B.Q.Cao, E.M.Kaidashev, N.Boukos, A.Travlos, J.Renard, B.Gayral, D.L.Dang, M.Lorenz, M.Grundmann,

- Nanotechnology, 2008, v. 19, p. 115202.
- 14.R.Kling, C.Kirchner, T.Gruber, F.Reuss, A Waag, Nanotechnology, 2004, v. 15, p. 1043.
 - 15.A.L.Yang, H.Y.We, X.L.Liu, H.P.Song, G.L.Zheng, Y.Guo, C.M.Jiao, S.Y.Yang, Q.S.Zhu, Z.G.Wang, Journ. Cryst. Growth, 2009, v. 311, pp. 278 – 283.
 - 16.Y.Z.Zhang, J.G.Lu, Z.Z.Ye, Y.J.Zeng, L.P.Zhu, J.Y.Huang, Journ. Phys. D, Appl. Phys., 2007, v. 40, p. 3490.
 - 17.H.C.Hsu, C.Y.Wu, H.M.Cheng, W.F.Hsieh, Appl. Phys. Lett., 2006, v. 89, p. 013101.
 - 18.M.Zhi, L.P.Zhu, Z.Z.Ye, F.Wang, B.Zhao, Journ. Phys. Chem. B, 2005, v. 109, p. 23930.
 - 19.H.Pan, Y.Zhu, H.Sun, Y.Feng, C.Sow, J.Lin, Nanotechnology, 2006, v. 17, p. 5096.
 - 20.H.P.Tang, H.P.He, L.P.Zhu, Z.Z.Ye, M.Zhi, F.Yang, B.Zhao, Journ. Phys. D, Appl. Phys., 2006, v. 39, p. 3764,.
 - 21.C.J.Pan, H.C.Hsu, H.M.Cheng, C.Y.Wu, W.F.Hsieh, Journ. Solid State Chem., 2007, v. 180, p. 1188.
 - 22.Q.We, M.K.Li, Z.Yang, L.Cao, W.Zang, H.W.Liang, Acta Phys. Chim. Sin., 2008, v. 24, p. 793.
 - 23.X.C.Wu, J.M.Hong, Z.J.Han, Y.R.Tao, Chem. Phys. Lett., 2003, v. 373, p. 28.
 - 24.J.S.Lee, Y.K.Byeun, S.H.Lee, S.C.Choi, Journ. Alloys Comp., 2008, v. 456, p. 257.
 - 25.Y.C.Lin, W.T.Lin, Nanotechnology, 2005, v. 16, p. 1648.
 - 26.F.Wang, G.Q.Jin, X.Y.Guo, Journ. Phys. Chem. B, 2006, v. 110, p. 14546.
 - 27.Ж.Панков, Оптические процессы в полупроводниках, Москва, Мир, 1973, 212 с.
 - 28.2. В.Л.Бонч-Бруевич, Вопросы электронной техники неупорядоченных

- полупроводников, Успехи физических наук, 1983, т. 140, вып. 4, сс. 583 – 637.
29. Н.К. Морозова, В.А. Кузнецов, Сульфид цинка. Получение и оптические свойства, Москва, Наука, 1987, 220 с.
30. A.X. Liang, R. Rishi, Effect of Hot-Pressing Temperature on the Optical Transmission of Zinc Sulfide, Appl. Phys. Letters, 1991, v. 58, No. 5, pp. 441 – 443.
31. К. Борен, Д. Хаффман, Поглощение и рассеяние света малыми частицами, Москва, Мир, 1986, 660 с.
32. L.E. Brus, Electron-electron and electron-hole interactions in small semiconductor crystallites: the size dependence of the lowest excited electronic state, The Journal of Chemical Physics, 1984, v. 80, No. 9, pp. 4403 – 4409.
33. Д.Н. Борисенко, Получение и исследование свойств углеродных наноматериалов и нанокристаллов шикрозонных полупроводников, автореферат диссертации на соис. учён. степени кандидата технич. наук, Черноголовка, 2005, 20 с.
34. Г.В. Ананьева, Е.И. Горохова, Оптический журнал, 1997, т. 64, № 9, сс. 75 – 77.
35. И.П. Кузмина, В.А. Никитенко, Окись цинка, Получение и оптические свойства, Москва, Наука, 1984, 164с.
36. В.Ю. Некрасов, Л.В. Беляков, О.М. Сресели, Н.Н. Зиновьев, Донорно-акцепторная фотолюминесценция слабо компенсированного $GaN:Mg$, Физика и техника полупроводников, 1999, том 33, вып. 12, сс. 1428 – 1435.
37. D.G. Thomas, J.J. Hopfield, W.M. Augustyniak, Phys. Rev., 1965, v. 140, pp. 202 – 210;
38. C.H. Henry, R.A. Faulkner, K. Nassau, Phys. Rev., 1969, p. 183, pp. 798 – 808.

39. P.J. Dean, Progress in Solid State Chemistry, ed. by J.O. McCaldin and G. Somorjai (Oxford, Pergamon Press), 1973, v. 8, p. 1 – 15.
40. А.Н.Георгобиани, А.Н.Грузинцев, В.Т.Волков, М.О.Воробьев, Влияние отжига в радикалах кислорода на люминесценцию и электропроводность пленок $ZnO:N$, Физика и техника полупроводников, 2002, том 36, вып. 3, сс. 284 – 288.
41. А.Н.Грузинцев, В.Т.Волков, Е.Е.Якимов, Фотоэлектрические свойства пленок ZnO , легированных акцепторными примесями Cu и Ag , Физика и техника полупроводников, 2003, том 37, вып. 3, сс. 275 – 278.
42. Я.И.Ализов, М.В.Чукичев, В.А.Никитенко, Зеленая полоса люминесценции пленок оксида цинка, легированных медью в процессе термической диффузии, Физика и техника полупроводников, 2004, том 38, вып. 1, сс. 34 – 38.
43. Г.А.Ильчук, С.Е.Никитин, Ю.А.Николаев, В.Ю.Рудь, Ю.В.Рудь, Е.И.Теруков, Фотоэлектрические свойства структур $n-ZnO:Al/PbPc/p-Si$, Физика и техника полупроводников, 2005, том 39, вып. 2, сс. 234 – 236.
44. А.Н.Георгобиани, А.Н.Грузинцев, Е.Е.Якимов, С.Barthou, P.Benalloul, Спонтанная и стимулированная ультрафиолетовая люминесценция $ZnO:N$ при температуре 77 K, Физика и техника полупроводников, 2005, том 39, вып. 6, сс. 692 – 696.
45. Б.Х.Байрамов, И.В.Боднарь, В.В.Емцов, Д.С.Полоскин, В.Ю.Рудь, Ю.В.Рудь, М.В.Якушев, Исследования влияния γ -облучения на фоточувствительность гетеропереходов $ZnO/CuIn_3Se_5$, Физика и техника полупроводников, 2006, том 40, вып. 1, сс. 67 – 69.
46. И.В.Рогозин, Приготовление плёнок $ZnO:N$ методом радикало-лучевой геттерирующей эпитаксии, Физика и техника полупроводников, 2007, том 41, вып. 8, сс. 924 – 928.
47. А.Н.Грузинцев, А.Н.Редькин, Е.Е.Якимов, К.Бартхоу (С.Barthou),

- Краевая люминесценция наностержней ZnO при оптическом возбуждении большой мощности, Физика и техника полупроводников, 2008, том 42, вып. 9, сс. 1110 – 1115.
48. С.Ф.Дубинин, В.И.Соколов, В.Д.Пархоменко, В.И.Максимов, Н.Б.Груздев, Влияние легирования ионами никеля на структурное состояние кристалла оксида цинка, Физика твердого тела, 2009, том 51, вып. 10, сс. 1905 – 1908.
49. А.Х.Абдуев, А.К.Ахмедов, А.Ш.Асваров, А.А.Абдуллаев, С.Н.Сульянов, Влияние температуры роста на свойства прозрачных проводящих пленок ZnO , легированных галлием, Физика и техника полупроводников, 2010, том 44, вып. 1, сс. 34 – 38.
50. М.М.Мездрогина, Э.Ю.Даниловский, Р.В.Кузьмин, Н.К.Полетаев, И.Н.Трапезникова, М.В.Чукичев, Г.А.Бордовский, А.В.Марченко, М.В.Еременко, Влияние примесей Fe , Cu , Si на формирование спектров излучения в объемных кристаллах ZnO , Физика и техника полупроводников, 2010, том 44, вып. 4, сс. 445 – 451.
51. В.С.Хомченко, В.И.Кушниренко, В.П.Папуша, А.К.Савин, О.С.Литвин, Люминесцентные и структурные свойства пленок $ZnO - Ag$, Физика и техника полупроводников, 2010, том 44, вып. 5, сс. 713 – 718.
52. S.Venkatachalam, D.Mandalaraj, Sa.K.Narayandass, R.Kim, J.Yi, Structure, optical and electrical properties of ZnSe thin films, Physica B: Condensed Matter., 2005, v. 358, pp. 27 – 35.
53. S.Venkatachalam, Y.L.Jeyachandran, P.Sureshkumar, A.Dhayalraj, D.Mandalaraj, Sa.K.Narayandass, S.Velumani, Characterization of vacuum-evaporated ZnSe thin films, Vacuum, 2007, v. 81, pp. 928 – 933.
54. М.П.Кулаков, В.П.Гогенко, Изв. АН СССР, Неорган. материалы, 1975, т. 21, № 7, сс. 1696 – 2000.
55. Y.C.Zhu, Y.Bando, Preparation and photoluminescence of single-crystal zinc selenide nanowires, Chem. Phys. Letters, 2003, v. 377, pp. 367 – 370.

56. Yp.Venkata Subbiah, P.Peathap, K.T.Ramakushna Reddy, Structural, electrical and optical properties of ZnS films deposited by close-spaced evaporation, *Appl. Surface Science*, 2006, v. 253, pp. 2409 – 2415.
57. W.Daranfed, M.S.Aida, A.Handallah, H.Lekiket, Substrate temperature influence on ZnS thin films prepared by ultrasonic spray, *Thin Solid Films*, 2009, v. 518, pp. 1082 – 1084.
58. А.Н.Грузинцев, А.Н.Редькин, К.Бартхоу (C.Barthou), Зависимость порога стимулированной люминесценции нанокристаллов ZnO от их геометрической формы, *Физика и техника полупроводников*, 2010, том 44, вып. 5, сс. 654 – 659.
59. П.С.Шкумбатьюк, Свойства нитевидных кристаллов ZnO , полученных под действием излучения CO_2 -лазера, *Физика и техника полупроводников*, 2010, том 44, вып. 8, сс. 1147 – 1150.
60. А.М.Багамадова, Б.М.Атаев, В.В.Мамедов, А.К.Омаев, С.Ш.Махмудов, Способ получения нитевидных нанокристаллов оксида цинка, *Письма в ЖТФ*, 2010, том 36, вып. 1, сс. 76 – 81.
61. C.Y.Lee, T.Y.Tseng, S.Y.Li, P.Lin, *Tamkang Journ. Sci. Eng.*, 2003, v. 6, pp. 127 – 133.
62. R.Yousefi, B.Kamaluddin, *Appl Surf. Sci.*, 2009, v. 256, p. 329.
63. D.Qiu, H.Wu, N.Chen, *Chin. Phys. Lett.*, 2003, v. 20, p. 582.
64. M.Yin, Y.Gu, I.L.Kuskovsky, T.Andelman, Y.Zhu, G.F.Neumark, S.O'Brien, *Journ. Amer. Chem. Soc.*, 2004, v. 126, p. 6206.
65. K.Vanheusden, C.H.Seager, W.L.Warren, D.R.Tallant, J.A.Voigt, *Appl. Phys. Lett.*, 1996, v. 68, p. 403.
66. Y.W.Heo, D.P.Norton, S.J.Pearson, *Journ. Appl. Phys.*, 2005, v. 98, p. 073502.
67. B.Lin, Z.Fu, Y.Jia, *Appl. Phys. Lett.*, 2001, v. 79, p. 943.