



6  
2025

---

**FIZIKA,  
MATEMATIKA *va*  
INFORMATIKA**

**XALQARO ILMIIY-USLUBIY JURNAL**

**2001-yildan chiqa boshlagan**

**Toshkent – 2025**

---

---

**Bosh muharrir – Xolboy IBRAIMOV pedagogika fanlari  
doktori, Akademik**

**Muharrir – Bakhshillo Amrillayevich OLIMOV f.-m.f.n.,  
v.v.b., professor**

**Mas’ul kotib – Riskeldi Musamatovich Turgunbayev f.-m.f.n.,  
professor**

**TAHRIR HAY’ATI A’ZOLARI**

**IBRAIMOV Xolboy**

**AYUPOV Shavkat Abdullayevich**

**OLIMOV Bakhshillo Amrillayevich**

**FAZILOV Djamoliddin Kamolitdinovich**

**KUVANDIKOV Oblokul**

**TURSUNMETOV Kamiljan**

**MAKHMUDOV Yusup Ganiyevich**

**TURGUNBAYEV Riskeldi Musamatovich**

**MUSURMONOV Raxmatilla**

**MAXMUDOV Abdulxalim Xamidovich**

**MAMARAJABOV Mirsalim Elmirzayevich**

**XUJANOV Erkin Berdiyevich**

**ORLOVA Tatyana Alekseyevna**

**BOZOROV Erkin Xojiyevich**

**BARAKAYEV Murod**

**IBRAIMOVA Feruza Xolboyevna**

**KALANDAROV Ergash Kilichovich**

**QURBANOV Mirzaaxmad**

**Muassis:  
T.N.Qori Niyoziy nomidagi Tarbiya pedagogikasi  
milliy instituti  
555-11-02-08**



## **MAGNETRON CHANGLATISH ORQALI CU KIRITILGAN TURLI QALINLIKLARDA OLINGAN ZNO YUPQA PLYONKALARINING FIZIK XOSSALARI**

*I.O.Kosimov, O. S. Sodiqov nomidagi bioorganik kimyo instituti  
akademik*

*Sn.T. Xojiyev, O. S. Sodiqov nomidagi bioorganik kimyo instituti  
F.F. Arziqulov, Toshkent davlat tibbiyot universiteti*

*Ushbu maqolada kremniy plastinasi yuzasiga bir xil qalinlikda rux oksidi (ZnO) yupqa qatlamlarini magnetron changlatish usulida qoplama qoplab, shundan keyin ushbu qoplamaga har xil dozalarda Cu ni kiritib, hosil bo'lgan qatlamlarning tarkibiy, morfologik va kristallik xususiyatlarini tahlil qilish natijalari keltirilgan. Taglik sifatida p-Si(111) kremniy plastinalari qo'llanildi. Yuzani adgeziyaga tayyorlash argon ionlari ta'siridagi plazma bilan amalga oshirildi. Hosil qilingan yupqa qatlamli ZnO/Si ga Cu kiritilishining ta'siri tizimli ravishda EDX, SEM va XRD kbi usullarda tahlillari organildi. Bunda namunaning Cu kiritilganida keyingi muvozanatdagi tarkibiy taqsimoti, yuqori darajadagi geterogenligi Cu/ZnO va kubik kristall tuzilmasi hosil qilinganligi tasdiqlandi. Xususan, (111) yo'nalishidagi kuchli difraksion cho'qqilar, kristall donalarining bir xil va yirik ekanligini, hamda ichki stresslarsiz struktura hosil bo'lganini ko'rsatadi. Olingan natijalar ZnO materialining fotogalvanik qurilmalarda samarali qo'llanilishi uchun yuqori salohiyatga ega ekanligini tasdiqlaydi.*

**Kalit so'zlar:** *ZnO yupqa qatlami, magnetron changlatish, kremniy taglik, adgeziya, plazma bilan ishlov berish, XRD tahlil, SEM morfologiya, EDX spektroskopiya, kristallik tuzilma, optoelektronika.*

*В данной статье представлены результаты анализа структурных, морфологических и кристаллических свойств тонких пленок ZnO, нанесенных равномерной толщиной на*



поверхность кремниевых пластин методом магнетронного напыления, с последующим введением Си в различных дозах. В качестве подложек использовались кремниевые пластины  $p\text{-Si}(111)$ . Подготовка поверхности для обеспечения адгезии осуществлялась плазменной обработкой с использованием ионов аргона. Влияние введения Си в полученные тонкопленочные структуры  $\text{ZnO}/\text{Si}$  систематически исследовалось методами EDX, SEM и XRD. Было подтверждено равновесное распределение состава после введения Си, высокая степень гетерогенности, а также формирование структуры  $\text{Cu}/\text{ZnO}$  с кубической кристаллической решеткой. В частности, интенсивные дифракционные пики в направлении (111) свидетельствуют о равномерных и крупных кристаллитах и формировании структуры без внутренних напряжений. Полученные результаты подтверждают высокий потенциал материала  $\text{ZnO}$  для эффективного применения в фотогальванических устройствах.

**Ключевые слова:** тонкая пленка  $\text{ZnO}$ , магнетронное напыление, кремниевая подложка, адгезия, плазменная обработка, XRD-анализ, SEM-морфология, EDX-спектроскопия, кристаллическая структура, оптоэлектроника.

*This article presents the results of a study on the structural, morphological, and crystalline properties of  $\text{ZnO}$  thin films deposited with uniform thickness on the surface of silicon wafers using the magnetron sputtering method, followed by the introduction of Cu at various doses into the coating.  $p\text{-Si}(111)$  silicon wafers were used as substrates. Surface preparation for adhesion was carried out using argon ion plasma treatment. The effect of Cu incorporation into the fabricated  $\text{ZnO}/\text{Si}$  thin films was systematically investigated using EDX, SEM, and XRD methods. The equilibrium compositional distribution after Cu incorporation, the high degree of heterogeneity, and the formation of  $\text{Cu}/\text{ZnO}$  with a cubic crystal structure were confirmed. In*

*particular, strong diffraction peaks along the (111) direction indicate uniform and large crystal grains, as well as the formation of a stress-free structure. The obtained results confirm the high potential of ZnO material for effective application in photovoltaic devices.*

**Keywords:** *ZnO thin film, magnetron sputtering, silicon substrate, adhesion, plasma treatment, XRD analysis, SEM morphology, EDX spectroscopy, crystalline structure, optoelectronics.*

ZnO va ular asosida olingan yupqa plyonkalar, geterostrukturalar quyosh elementi, energiyani yigish saqlash va ularni samarali yetkazib berish, elektronika optoelektronika sohalarida keng qo'llaniladi. Shuning uchun bu elementning fizik kimyoviy xossalari tadqiq qilish muhim masalalardan hisoblanadi.

ZnO o'zining potentsial qo'llanilishi tufayli tadqiqotchilar va sanoat uchun qiziqish uyg'otdi. Vurtsit fazali ZnO ba'zi ijobiy pyezoelektrik xususiyatlarga ega, yarimo'tkazgichlar oilasiga tegishli ajoyib n-turdagi yarimo'tkazgich bo'lib, II-VI yarimo'tkazgichlar orasida eng kattasidir. Shu sababli ZnO optoelektron qurilmalar uchun muhim ahamiyatga ega hisoblanadi [1]. Ushbu yarimo'tkazgich (ZnO) ba'zi bir qo'shimcha jihatlarga va tabiiy afzalliklarga ega, masalan, yaxshi shaffoflik, yuqori elektron o'tkazuvchanlik va xona haroratida yaxshi lyuminescentsiya, arzon, zaharli bo'lmagan va kimyoviy jihatdan barqarorligi tufayli u turli sohalarida, jumladan, fotokataliz [2,3,4], quyosh batareyalari [5,6,7] ultrabinafsha himoya vositalari [8] va gazni sezish moslamalarida [9,10,11] qo'llanilgan. Biroq, ZnO ning ba'zi qo'shimcha xususiyatlaridan foydalanish uchun ZnO nanostrukturalariga har xil usullar yordamida Fe, Mn, Co, Ni va Cu kabi o'tish metallari bilan modifikasiyalash orqali ko'pgina taqiqotlar olib borilgan [12]. Ular orasida Cu o'tish metallari oilasiga mansub bo'lib, yuqori elektr o'tkazuvchanligiga va ZnO ga deyarli o'xshash ion radiusiga ega, shuning uchun u qo'shib qo'yish uchun muhim metallidir. Adabiyot



tadqiqotlari shuni ko'rsatadiki, Cu ni ZnO matritsasiga qo'shib qo'yish uning turli xil fizik, kimyoviy va optik xususiyatlarini oshirishi mumkin [13]. Cu bilan qo'shilgan ZnO plyonkasini uning mumkin bo'lgan luminesens qo'llanilishini Sakaguchi va boshqalar, ion implantatsiyasi orqali Cu qo'shilgan ZnO plyonkalarini tayyorladi va plyonkalarining lyuminesentsiyasini o'rganildi, ammo plyonkalarining mikro tuzilishi ion implantatsiyasi ta'sirida namuna sirtida ayrim (yuza silliqdigi, adgeziyasi) plyonkalarining luminesentsiyasi xususiyatlarini nisbiy organilgan [14]. Ularning ishi shuni ko'rsatadiki, kamroq strukturaviy zararga ega bo'lgan mis qo'shilgan ZnO plyonkalari potentsial optik ilovalar uchun boshqa usullar yordamida ishlab chiqarilishi kerakligini ko'rsatgan. Magnetron bilan changlatish qulay va arzon usuldir. Shuning uchun biz mis bilan legirlangan ZnO plyonkalarini ishlab chiqarish va ularning lyuminesentsent xususiyatlarini o'rganish uchun ushbu tadqiqot ishimizda magnetronli changlatish usulidan foydalandik. Chunki magnetron changlatish usulida yuza silliqdigi va gomogen sirt va tarkib hosil qilishimiz mumkin.

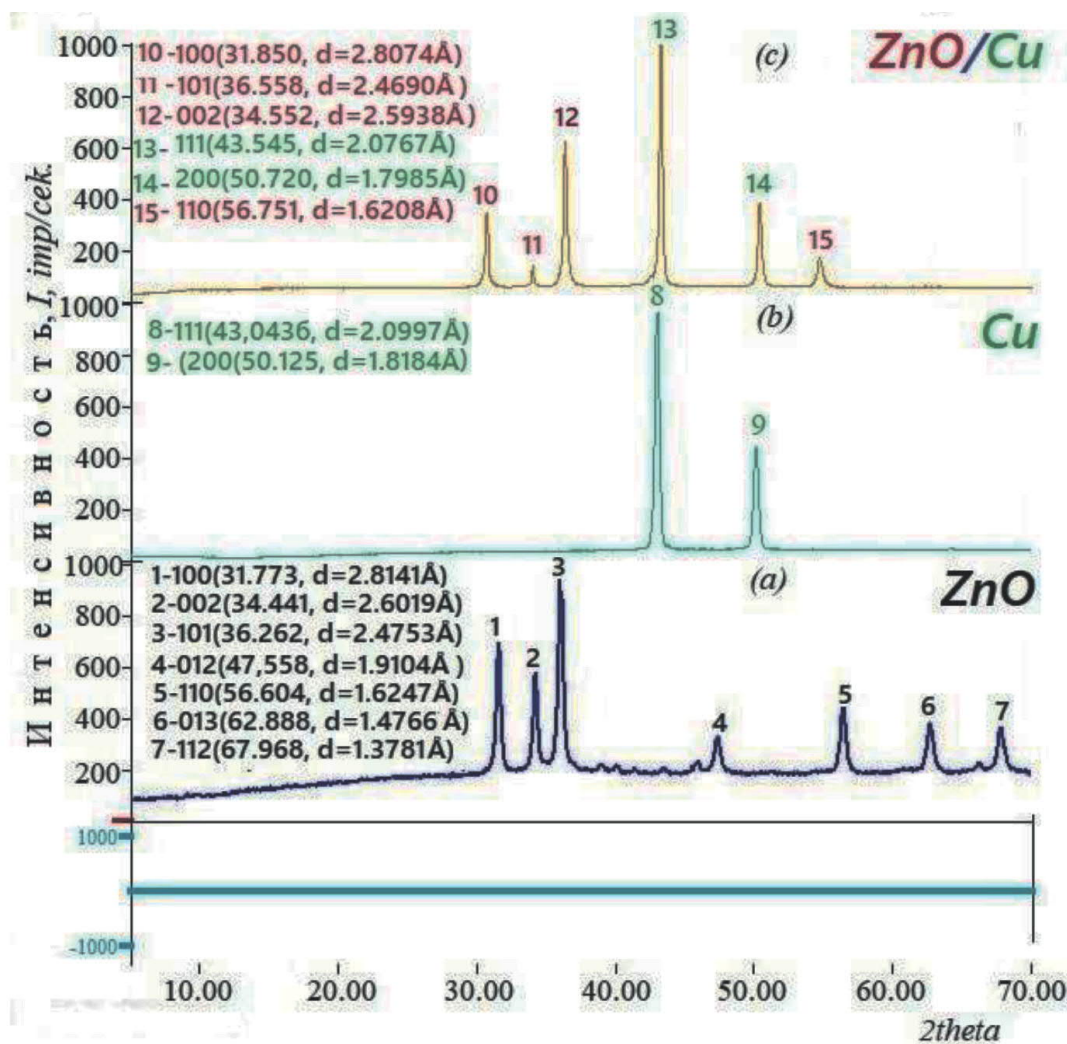
### **Tadqiqot metodologiyasi.**

Ushbu ishda kremniy plastinasi yuzasini ZnO yupqa qatlami yotqizildi tayyorlash plazmasi ta'sirida argon ionlari yordamida amalga oshirildi. Bu jarayonning maqsadi ZnO yupqa qatlamining Si (kremniy) yuzasiga adgeziyasini faollashtirish hamda ZnO qoplamasi bilan kremniy asosi o'rtasida yupqa qatlam hosil qilishdan va ushbu qatlama har xil dozalarda Cu atomlarini kiritilishining ta'sirini o'rganishdan iborat edi.

ZnO yupqa qatlamlari magnetron ion changlatish manbai bilan jihozlangan UVM-73 vakuum qurilmasi yordamida qoplama qoplandi, bu [15] manbalarda ham ta'riflangan.

Taglik sifatida, yuzi silliqdigan, kremniy (p-Si (111)) yo'nalishdagi plastinalar ishlatildi. Kremniy va ZnO materiallari o'rtasidagi o'rtacha atomlararo (yoki bog'lamlararo) masofa farqi 6% ni tashkil etadi (tegishli

ravishda 4,75 Å va 4,49 Å), bu esa yo‘naltirilgan ZnO qatlamlarini hosil qilish uchun zarur shart hisoblanadi. Ushbu zarur shartlarga mis atomlarini kiritilganidan keyingi o‘zgarishlar tadqiq qilindi. Dastlab sof ZnO ning difraksion choqqilari va Cu atomlari kiritilganidan song namoyon bo‘lgan choqqilardagi o‘zgarishlar tahlil qilindi.



1-rasm. Magnetron changlatish usulida qoplangan yupqa plyonkaning rentgen faza tahlili (a) ZnO (b) Cu va (c) ZnO/Cu.

Difraksion cho‘qqilarini olish uchun quyiagi kompleks tahlilar qo‘llanildi. Olingan yupqa qoplamalar rentgen fazaviy tahlili Cu

$K\alpha$  nurlanishi ( $\lambda = 1.540600 \text{ \AA}$ ) bo'lgan Shimadzu (Yaponiya) kompaniyasining XRD-6100 rentgen difraktometri va SEM (Joel-210) morfologiyasi hamda yuqori energiya dispersiyasiga ega rentgen lyuminescent spektrometri (Япония, Rigaku NEX CG EDXRF) tahlili amalga oshirildi.

Cu-legirlangan ZnO plyonkalari har xil darajalariga ega bo'lgan dozalarda Cu nishonidan foydalangan holda magnetronli changlatish orqali to'g'ridan-to'g'ri n-tipli Si(111) taglikka so'f va Cu qoplangan ZnO/Cu plyonkalar o'stirildi. Cu qoplashning ZnO yupqa plyonkalarining rentgenfazaviy tahlili, mikro tuzilishi va yuqori energiya dispersiyasiga ega rentgen lyuminescent spektrometri yordamida tizimli ravishda o'rganildi. So'f ZnO qatlamli yupqa plyonkaning rentgen faza tahlili natijalari 1-(a) rasmda keltirilgan bo'lib, buda ZnO ga tegishli xarakterli cho'qqilari 1-dan 7-gacha bo'lgan raqamlar bilan belgilangan. Har bir belgilangan choqillarda ZnO yupqa plyonkaga mos keluvchi (hkl) – Millr indeksleri (100) (002) (101) (012) (110) (013) (112) va  $2\theta \approx (31.773^\circ \text{ dan } 67.968^\circ)$  gacha ko'rsatilgan difraksiya burchaklarida tekisliklar aro masofasi  $d_{(hkl)} \approx 2.8141 \text{ \AA}, 2.6019 \text{ \AA}, 2.4753 \text{ \AA}, 1.9104 \text{ \AA}, 1.6247 \text{ \AA}, 1.4766 \text{ \AA}, 1.3781 \text{ \AA}$  ga teng ekanligi aniqlangan.

ZnO namuna sirtiga Cu yupqa qatlam hosil qilishimiz uchun magnetron katodi sifatida Cu dan foydalanilganligi tufayli 1-(b) rasmda Cu ning ham rentgen faza tahlili o'rganildi. Bunda 8- va 9-raqamlar bilan belgilangan cho'qqilar Cu ga tegishli rentgen faza tahlili ma'lumotlarini beradi. Cu ga tegishli bolganligini xarakterlaydigan 8-9-raqam bilan belgilangan cho'qqilarda, Miller indeksleri  $hkl \approx (111), (200)$  ga tengligi difraksiya burchaklari  $2\theta \approx 43.0436^\circ$  va  $50.125^\circ$  larda tekisliklar aro masofasi  $d_{(hkl)} \approx 2.0997 \text{ \AA}$  va  $1.8184 \text{ \AA}$  ga teng kelishi aniqlangan. ZnO ga Cu kiritilganidan so'ng hosil bo'lgan geterostrukturaning rentgen fazaviy tahlili 1-(c) rasmda keltirilgan bo'lib, bunda ZnO bilan Cu ozaro (metal bog'lanish) orqali bog'lanib ZnO/Cu geterostruktura hosil qilganligi ko'rsatilgan. Buning misoli sifatida Cu kiritilganidan so'ng

1-(a) rasmdagi (1-2-3) raqamli ZnO ga tegishli choqqilar intensivligi sezilarli darajada kamayganligi, (4-6-7) choqqilar yo‘qolganligi, 1-(c) rasmda (13-14) raqamda belgilangan Cu tegishli bo‘lgan choqqilr hosil bo‘lganligi (15) raqamda belgilangan ZnO ga tegishli cho‘qqi chapga surilganligi aniqlandi. Demak dastlabki namuna 1-(a) rasmda ZnO ga tegishli cho‘qqilar, 3-5 at.% Cu kiritilganidan so‘ng 1-(c) rasmdagi kabi o‘zgarishlar sodir bo‘lib ZnO/Cu geterostruktura hosil bo‘lganligini tasdiqlaydi.

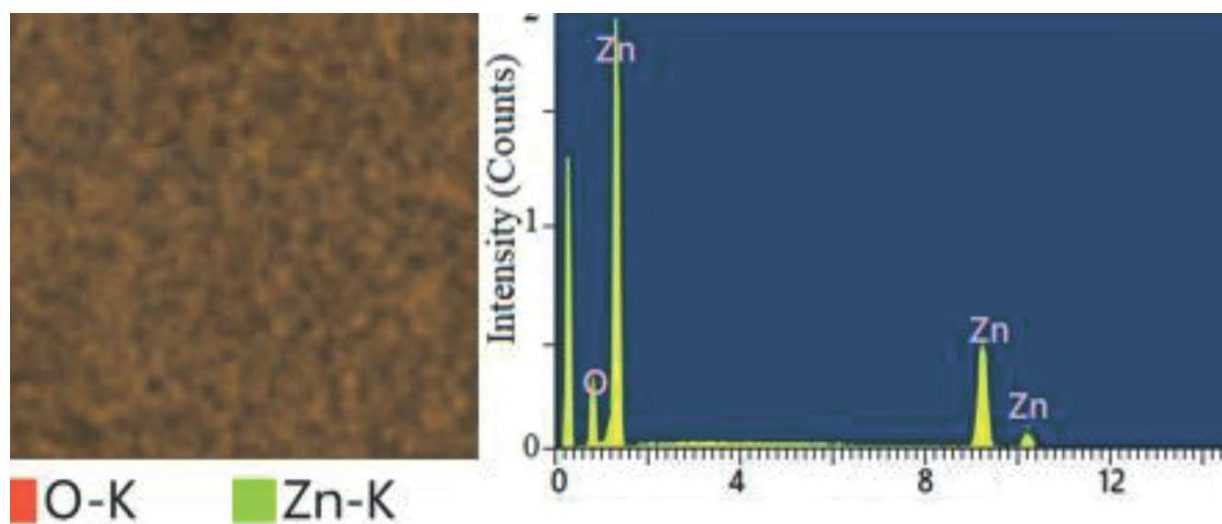
1-жадвал *Magnetron changlatish usulida qoplangan ZnO Cu va va ZnO/Cu yupqa plyonkalarining kristallitlari o‘rtacha o‘lchami*

nomi	Cho'qqilar	2Theta difraktsiya burchagi	d(h k l) (tekislik-lar aro masofa)	d(h k l) (tekislik-lar aro masofa)	chukki kengligi-FWHM	radian namunaning umumiy kristallik lari.	namuna kristallit-larining
ZnO	1	31.773	2.8141 Å	607.73	0.3200	26.98	22.31нм
	2	34.441	2.6019 Å	463.63.	0.4000	21.73	
	3	36.262	2.4753 Å	1000.00	0.4000	21.84	
	4	47.558	1.9104 Å	163.82	0.4000	22.69	
	5	56.604	1.6247 Å	301.05	0.4800	19.65	
	6	62.888	1.4766 Å	216.04	0.4800	20.28	
	7	67.968	13781 Å	199.12	0.4400	22.76	
Cu	8	43.043	2.0997 Å	<b>100</b>	<b>0.28430</b>	31.40	31.34нм
	9	50.125	1.8184 Å	400	0.29310	31.28	
ZnO/Cu	10	31.850	2.8074 Å	202.21	0.3000	28.78	29.58нм
	11	34.552	2.4690 Å	150.74	0.3200	27.18	
	12	36.558	2.5938 Å	64338	0.3000	29.15	
	13	43.545	2.0767 Å	1000	0.2600	31.39	
	14	50.720	1.7985 Å	408.09	0.3500	26.26	
	15	56.751	1.6208 Å	121.32	0.2500	34.75	

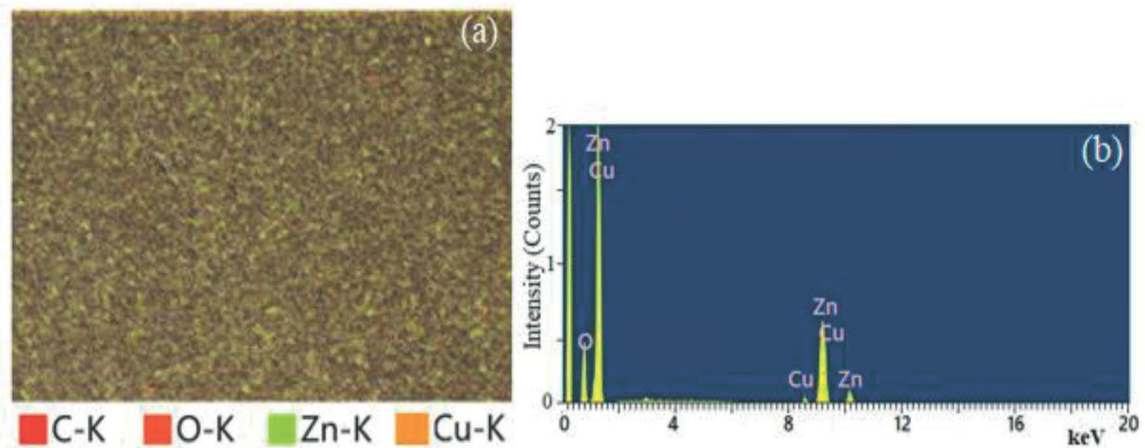


Rentgen difraktometri yordamida ushbu ZnO Cu va va ZnO/Cu namunalarning 1-jadbalda kristal tuzilishiga tegishli ma'lumotlar asosida kristallitlarining o'rtacha o'lchamlarini Debay-Sherrer formulasi orqali hisobladi. Taglik sirtiga o'stirilgan ZnO yupqa plyonka -22.31 nm, elektod sifatida olingan Cu -31.34 nm va mis bilan lergirlanib o'stirilgan ZnO/Cu -29.58 nm ga teng ekanligi aniqlandi. Demak Cu bilan legirlash orqali ZnO/Cu yupqa plyonkasida adgeziyalanish jarayoni yaxshi ketganligi sababli geterostrukturada o'lchamlari ozgarishini kuzatish mumkin. Bundan tashqari ZnO ga Cu ni legirlashda magnetronda changlatish dozalari ham muhim ahamiyatga ega. ZnO ga Cu ni legirlashda changlatish dozalari 3-5 at.% ga teng bo'lganda adgeziyalanish va sirt morfologiyasi yuqori aniqlikka ega bo'ldi. Buni SEM , EDS (4-rasm) va rentgen-fluoresens tatahlil usuli (XRF) (8-rasm) spektrometri tahlillari ham tasdiqladi.

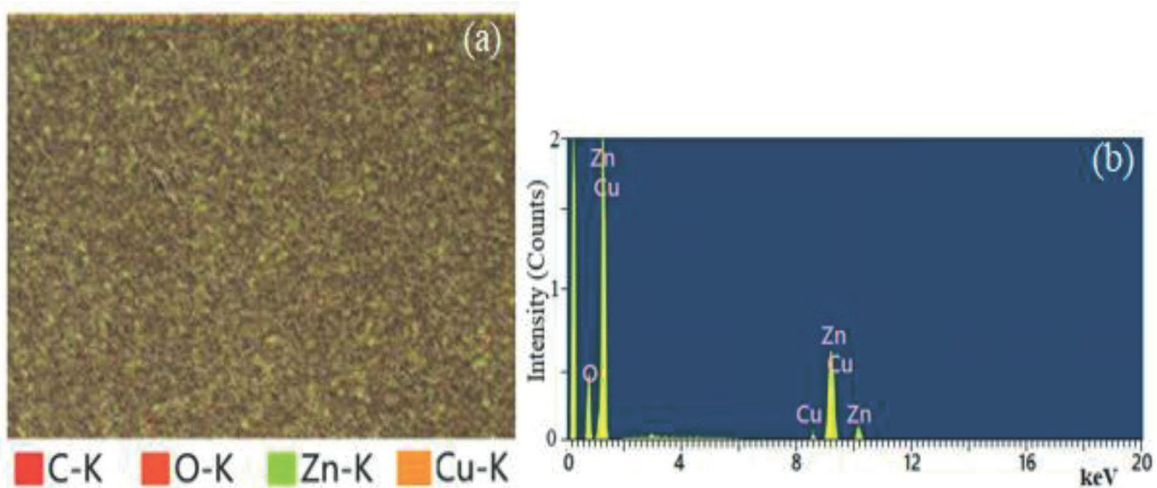
Magnetron changlatish usulda olingan namunalar uchun kristall morfologiyasi va kimyoviy tarkibiini aniqlash uchun SEM-EDS tahlili amalga oshirildi. Bunda 1(ab)-rasmda sof ZnO qalinliklarda mis bilan qoplangan ZnO/Cu ning SEM-EDS tasvirlari ko'rsatilgan.



2-rasm. ZnO yupqa plyonkaning SEM- EDS tasviri



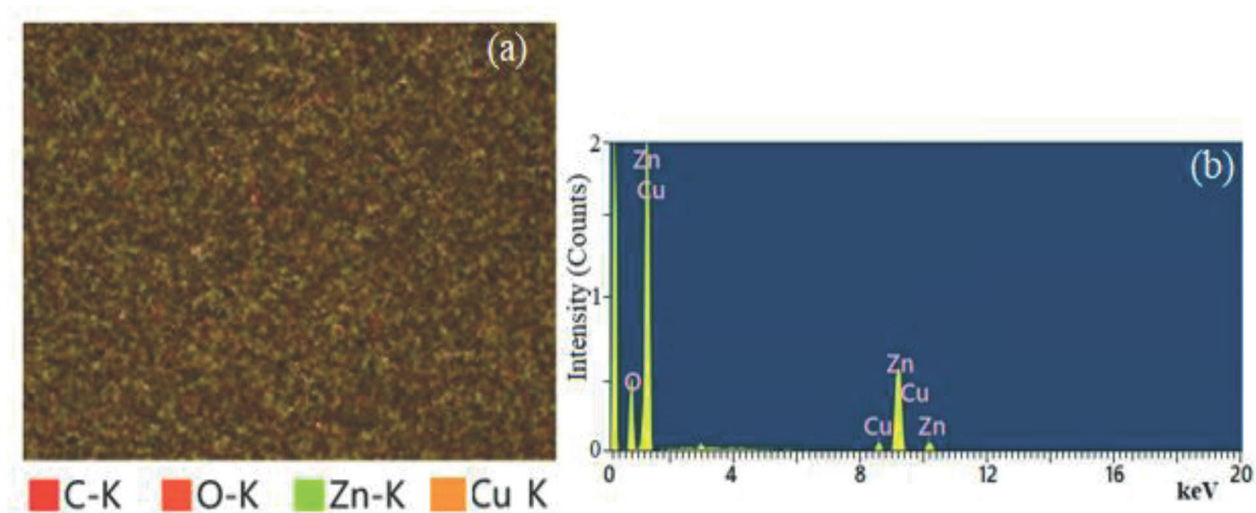
2(ab)-rasm. Si/ZnO/ Cu 200 Å qalinlikda yupqa plyonka SEM-EDS tasviri va 4(ab)-rasmda esa 500 Å qalinlikda qoplanganda Zn-73.2%, Cu-6.7%, O- 17.6%, boshqa qoshimchalar 2.5% tarkibda ZnO/Cu ekanligi aniqlangan.



3(ab)-rasm. Si / ZnO/ Cu 300 Å qalinlikda yupqa plyonka SEM-EDS tasviri

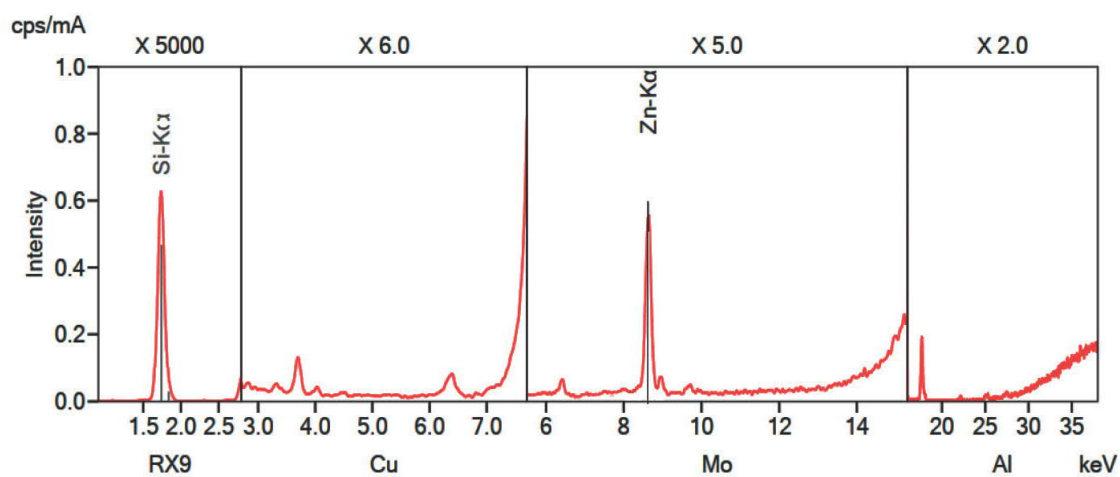
Yuqorida ko‘rsatilgan usulda Si yuzasiga ZnO yupqa qoplangan plyonkaning SEM va EDS tasvir 1(ab)-rasmida keltirilgan bo‘lib, tarkib Zn-81.2%, O-17,8%, tashkil qilishi aniqlangan. ZnO taglik yuzasiga Cu 200 Å qalinlikda qoplangan Si/ZnO/Cu ning yuza morfologiyasi va

EDS tasviri 2-(ab) rasmda Zn-79.1%, Cu-1,3% va O-19.6% miqdorda ekanligi ko'rsatilgan.



4(ab)- rasm. Si/ZnO/ Cu 500 Å qalinlikda yupqa plyonka SEM-EDS tasviri

Xuddi yuqorida ko'rsatib o'tganimiz singari 3(ab)-rasmda 300 Å qalinlikda qoplanganida Zn-76.1%, Cu-4.4%, O-18.1%, 1.4% C va bosqa qoshimchalar

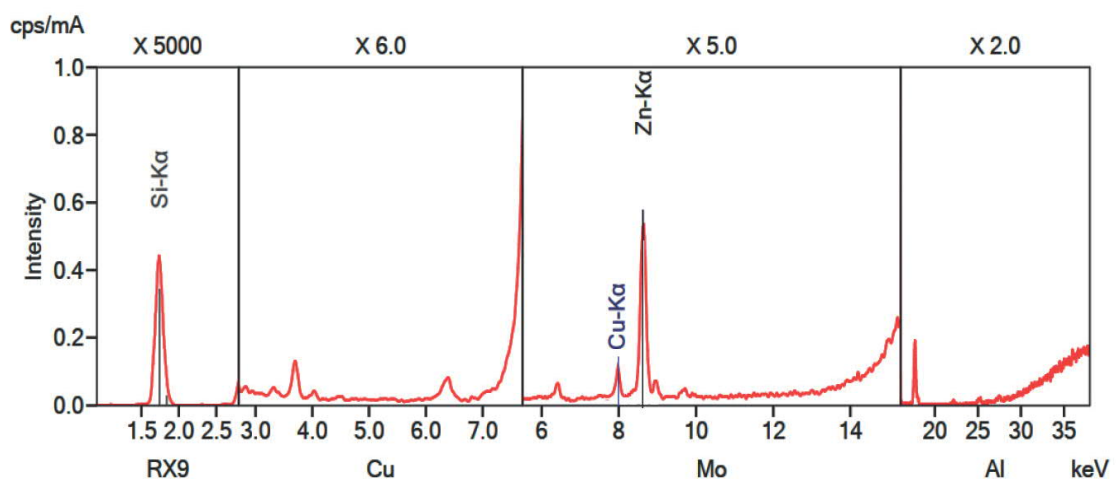


5-rasm. Si / ZnO rentgen-fluoresens tatahlil (XRF)

Bu tasvirlar ZnO yupqa plyonkalarining morfologiyasi va kimyoviy tarkibiini Cu konsentratsiyasining ortishi bilan o'zgarishlarini ko'rsatadi. Cu-qo'shilishining ZnO zarrachalarining bir xilligi va morfologiyasiga ta'siri turli xil qalinlikda qoplashda Cu ionlarining Zn bilan yaxshi birikishi hisobiga bog'liq bo'lishi mumkin.

Yupqa qatlamli ZnO/Cu uchun 1-2-3-4(a,b,c) tasvirlardan SEM-EDS va 1-jadvalda keltirilgan rentgen tahlilidan olingan natilalarda ham kristallitlar o'rtacha o'lchamlari o'zgarishiga qarab ZnO qatlamda Cu ning qoplanishi qalinliklar taqsimotga bo'g'liq ekanligini ko'rsatdi. Bu Cu zarrachalarning ZnO ga agregatsiyalanishi orqali ZnO/Cu hosil bo'lishining ko'rsatkichi bo'lishi mumkin. Cu bilan qoplangan ZnO namunalarida zarrachalar Cu miqdorining oshishi bilan tobora ko'proq aglomeratsiyalanishi mumkinligi SEM tasvirlaridan taxmin qilishimiz mumkin.

XPS kristall strukturasiidagi atomlarning kimyoviy tarkibini aniqlashda ancha yuqori aniqlikka ega bo'lib, bu bog'lanish energiyasining o'zgarishi va turli xil kimyoviy muhitlar bilan bog'liq bo'lgan bir nechta polosalar paydo bo'lishi bilan aks etadi.

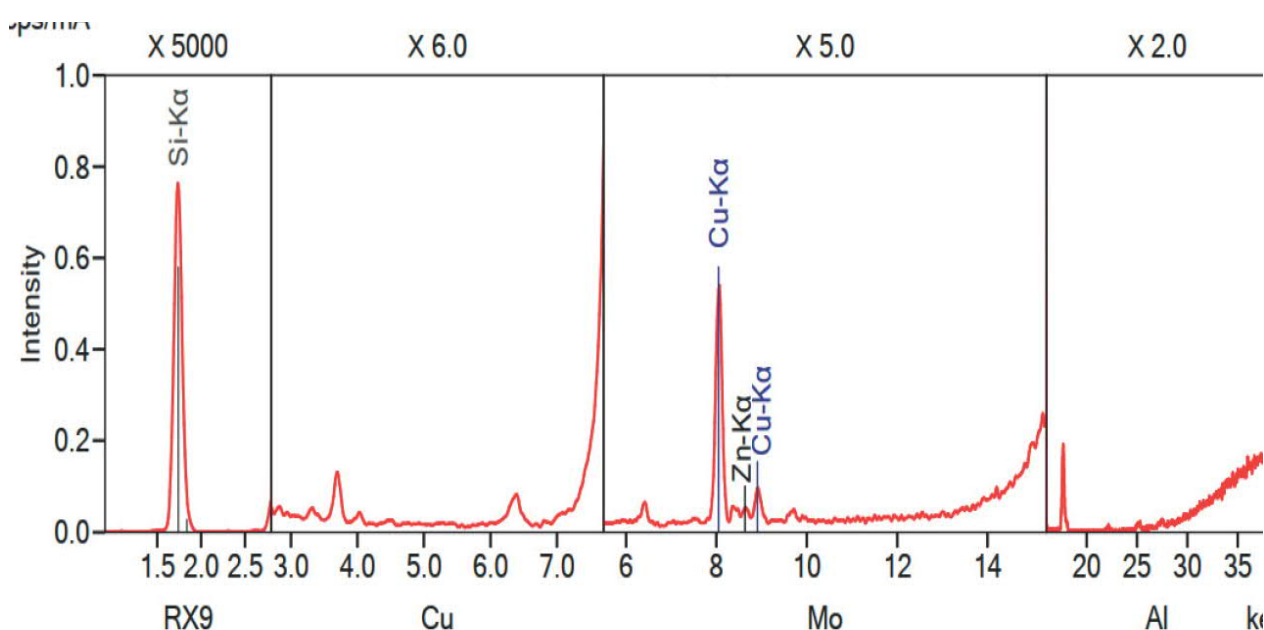


6-rasm. Si / ZnO/ Cu 200 Å qalinlikda yupqa plyonkaning rentgen-fluoresens tatahlil (XRF )



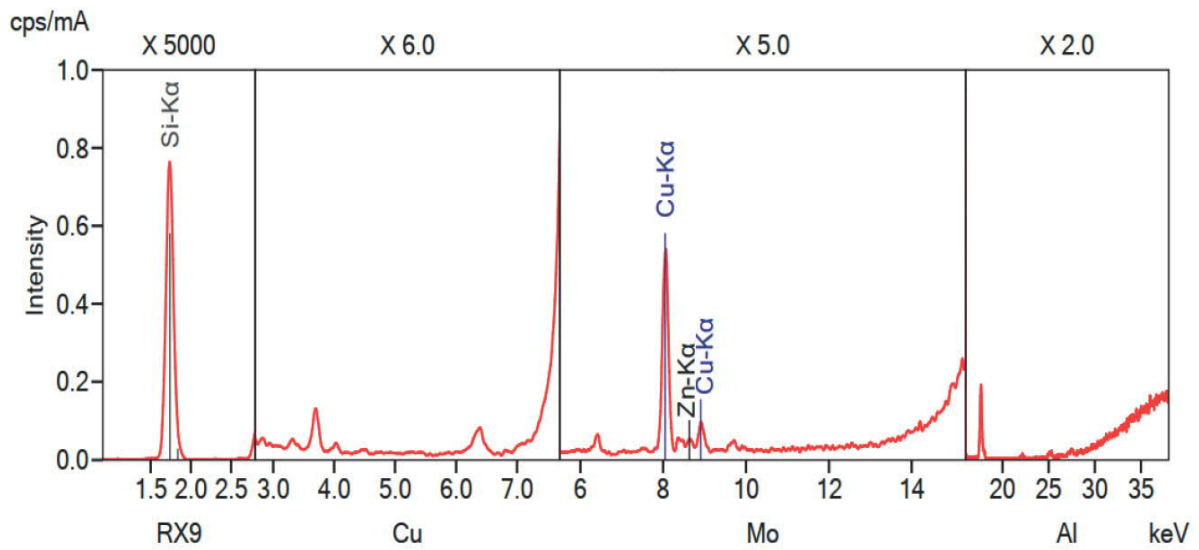
Ushbu tadqiqot ishimizda Cu-Zn oksidlari, o'tish davri CuO va ZnO/Cu oksidlarining XPS spektrlari har bir namunaning spektral tavsifi orqali o'rganildi (Yuqori samarali energiya dispersiyasiga ega rentgen lyuminescent spektrometri - Yaponiya, Rigaku NEX CG EDXRF).

Ushbu ishning maqsadi XPS bizga ZnO/Cu ning turli strukturaviy turlarini osongina ajratishga uchun namuna materiallarning yuza qatlamlarida mavjud bo'lgan fazalarni isbotlash uchun tezkor diagnostika qilish edi.



7-rasm. Si / ZnO/ Cu 300 Å qalinlikda yupqa plyonkaning rentgen-fluoresens tahlili (XRF )

Shunday qilib, ZnO/Cu fazalarining XPS tahlilini turli qalinliklarda oksidlanishini aniqlash va bir vaqtning o'zida bir nechta ZnO va Cu va boshqa fazalarining mavjudligiga olib keladigan uzluksiz jarayonni isbotlash mumkin bo'ldi. Ushbu natijalar bizga turli xil o'tish ZnO/Cu fazalari har xil qalinliklar uchun ba'zi xarakterli XPS cho'qqilarini ya'ni imzolarni aniqlash imkonini berdi.



8-rasm. Si / ZnO/ Cu 500 Å qalinlikda yupqa plyonkaning rentgen-fluoresens tatahlil (XRF )

Ushbu XPS tahlilidan foydalanib, ZnO dastlabki namunada va magnetron changlatish orqali o‘stirilgan ZnO/Cu ga o‘tish vao‘zgarishlar mavjudligini aniqlash mumkin. Har xil qalinliklarda qoplangan ZnO/ Cu yupqa qatlamli plyonkaning oksidlanishiga va tarkib miqdorining o‘zgarishlari batafsil keltirilgan. Darhaqiqat, magnetron changlatish jarayonida harorat ta‘sirida ko‘plab metall materiallar singari ZnO/Cu shakllanishiga qisman ta‘sir qiladi ZnO/Cu yupqa qatlamli plyonkalar hosil qilishda qalinlikka qarab eng barqaror tuzilishiga ega bo‘lishi uchun ma‘lum bir optimal qalinlikda fizik xususiyatlari, kristallitlarining o‘zgarishi va tarkib miqdorining, fazalarining o‘zgarishlarini XPS tahlili yordamida aniqlash mumkin ekan.

Ushbu tadqiqotda ZnO yupqa qatlamlari p-Si(111) tagliklariga magnetron changlatish usuli orqali muvaffaqiyatli sintez qilindi. Kremniy yuzasini argon ionlari bilan ishlov berish orqali adgeziya kuchaytirildi va kontakt sifatini oshirishga erishildi. EDX va SEM tahlillari orqali ZnO va Cu elementlarining geterogen taqsimoti,



materialning geterostruktura ekanligi, hamda muvozanatda hosil bo'lgan tarkibiy strukturasi aniqlandi. XRD tahlili qatlamning kubik tuzilmaga ega ekanligini va asosiy o'sish yo'nalishi sifatida (111) tekislikni tasdiqladi. Umuman olganda, tadqiqot natijalari ZnO qatlamlarining tarkibiy va kristallik parametrlari yaxshi ekanligini ko'rsatdi va bu qatlamlarni optoelektronika hamda fotogalvanik qurilmalarda samarali qo'llash imkonini beradi.

### Adabiyotlar:

1. C. F. Klingshirn; A. Waag; A. Hoffmann, and J. Geurts 2010 Zinc oxide: from fundamental properties towards novel applications Heidelberg: Springer.

2. Fen Xu, Peng Zhang, Alexandra Navrotsky, Zhong-Yong Yuan, Tie-Zhen Ren, Matej Halasa, and Bao-Lian Su 2007 Hierarchically assembled porous ZnO nanoparticles: synthesis, surface energy, and photocatalytic activity, Chemistry of Materials 19 5680.

3. Xia, S.S., Zha, L., Leng, X.N., Lang, X.Y. and Lian, J.S. (2014) Synthesis of Amorphous TiO<sub>2</sub> Modified ZnO Nanorod Film with Enhanced Photocatalytic Properties. Applied Surface Science, 299, 97-104.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.01.192>[CrossRef]

4. Kundu, S. (2014) A Facile Route for the Formation of Shape Selective ZnO Nanoarchitectures with Superior Photocatalytic Activity. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 446, 199-212.

5. A. B. Martinson, J. W. Elam, J.T. Hupp and M. J. Pellin 2007 ZnO nanotube based dye-sensitized solar cells, Nano letters 7 2183.

6. Huang, J., Yin, Z.G. and Zheng, Q.D. (2011) Applications of ZnO in Organic and Hybrid Solar Cells. Energy & Environmental Science, 4, 3861-3877.

<http://dx.doi.org/10.1039/c1ee01873f>[CrossRef]

7. Xu, F. and Sun, L.T. (2011) Solution-Derived ZnO Nanostructures for Photoanodes of Dye-Sensitized Solar Cells. Energy

& Environmental Science, 4, 818-841. <http://dx.doi.org/10.1039/C0EE00448K>[CrossRef]

8. R. Wang, J. Xin, and X. Tao 2005 UV-blocking property of dumbbell-shaped ZnO crystallites on cotton fabrics Inorganic Chemistry 44 3926.

9. M. Yang, D. Wang, L. Peng, T. Xie, and Y. Zhao 2006 Photoelectric response mechanisms dependent on RuN<sub>3</sub> and CuPc sensitized ZnO nanoparticles to oxygen gas Nanotechnology 17 4567.

10. Wang, P.-P., Qi, Q., Xuan, R.-F., Zha, J., Zhou, L.-J. and Li, G.-D. (2013) A Facile Method for Enhancing the Sensing Performance of Zinc Oxide Nanofibers Gas Sensors. RSC Advances, 3, 19853-19856. <http://dx.doi.org/10.1039/c3ra43301c>[CrossRef]

11. Alenezi, M.R., Henley, S.J., Emerson, N.G. and Silva, S.R.P. (2014) From 1D and 2D Nanostructures to 3D Hierarchical Structures with Enhanced Gas Sensing Properties. Nanoscale, 6, 235-247. <http://dx.doi.org/10.1039/C3NR04519F>[CrossRef]

12. Dominic Bresser, Franziska Mueller, Martin Fiedler, Steffen Krueger, Richard Kloepsch, Dietmar Baither, Martin Winter, Elie Paillard, and Stefano Passerini 2013 Transition-metal-doped zinc oxide nanoparticles as a new lithium-ion anode material Chemistry of Materials 25 4977.

13. B. Allabergenov, S. H. Chung, S. M. Jeong, S. Kim, and B. Choi 2013 Enhanced blue photoluminescence realized by copper diffusion doping of ZnO thin films Optical Materials Express 3 1733.

14. Labhane, P. , Huse, V. , Patle, L. , Chaudhari, A. and Sonawane, G. (2015) Synthesis of Cu Doped ZnO Nanoparticles: Crystallographic, Optical, FTIR, Morphological and Photocatalytic Study. Journal of Materials Science and Chemical Engineering, 3, 39-51. doi: 10.4236/msce.2015.37005.

16. Kim, J.H. and Chung, K.W., Microstructure and properties of silicon nitride thin films deposited by reactive bias magnetron sputtering,



## MUNDARIJA

## ILMIY-OMMABOP BO‘LIM

<i>N. Dilmuradov, E.O. Sharipov, M.H. Muhiddinov. Davriy va nodavriy funksiyalar to‘g‘risida .....</i>	3
<b>З.М. Хусанов, Ф.Т. Боймуратов, Ф.А. Гиясова, Ф.А. Гиясов.</b> <i>Перколяционные свойства и фрактальная структура проводящей сети в никель содержащих полимерных композитах .....</i>	9
<b>H. N. Bozorov. Oliy ta’limda fizika masalalari orqali tanqidiy fikrlash, ijodkorlik, hamkorlik va kommunikatsiyani shakllantirish metodikasi.....</b>	23
<b>Sh.Sh. Abdiyeva. Aniq integralning tatbiqlarini o‘rgatishda chiziqli funksiyaga doir masalalar ketma-ketligidan foydalanish.....</b>	33
<b>A.K. Sabirov. Эмиссионные свойства титана и циркония .....</b>	45
<b>Sh.E. Nurmatov. Astronomiya ta’limida saoinage DS9 dasturi orqali amaliy tasvir tahlilini o‘rgatish metodikasi.....</b>	50
<b>M.X. Qo‘chqorov, X.F. Aliyev. Vodorod atomining 1s va 2s holatlaridagi to‘lqin funksiyalari va ehtimollik zichligi taqsimotining tahlili.....</b>	58
<b>A. Shamshiyev. Oliy ta’limda sun’iy intellektdan foydalanish: afzalliklari va xavf-xatar.....</b>	66
<b>I.O. Kosimov, Sn. T. Xojiyev. Magnetron changlatish orqali cu kiritilgan turli qalinliklarda olingan zno yupqa plyonkalarining fizik xossalari.....</b>	79

## MATEMATIKA JOZIBASI

<b>B.B. Prenov, G.M. Allambergenova. Ikkinchi tartibli uch noma’lumli diofant tenglamalarini yechishning markov usullari .....</b>	94
--	----

## ILG‘OR TAJRIBA VA O‘QITISH METODIKASI

<b>F. I. Jo‘rayev. Mexanika bo‘limidan olimpiada masalalarini yechishda integraldan foydalanish metodikasi.....</b>	101
<b>Mamayusufov Mirkomil Qahramon o‘g‘li. Talabalarning pedagogik dasturiy vositalar yaratish kompetentligini shakllantirish bosqichlari va indikatorlari .....</b>	111
<b>H.Q. Xudoyeva. Fizik jarayonlarni modellashtirishda dasturiy ta’minotlar va ularning fizikani o‘qitishdagi ahamiyati.....</b>	119
<b>A.A. Alayev. Fizika fanining «elektr va magnitizm» bo‘limini o‘qitishda elektr zanjirining bir qismida kuchlanish tushunchasi .....</b>	125

