

ЗАХИРИДДИН
МУҲАММАД БОБУР
НОМИДАГИ АНДИЖОН
ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

ANDIJAN STATE
UNIVERSITY NAMED
AFTER ZAKHIRIDDIN
MUKHAMMAD BABUR

ИЛМИЙ ХАБАРНОМА
Физика-математика
тадқиқотлари

SCIENTIFIC BULLETIN
Physical and
Mathematical Research

2023/№2(5)

ОГЛАВЛЕНИЕ

Физика

E.Z. IMAMOV, R.A. MUMINOV, M.A. ASKAROV, A.E. IMAMOV, X.N. KARIMOV. Properties of lead chalcogenide nanocrystals in nanoheterojunctions <Si:PbX>.....	5
A.P. ТУРАЕВ, К.Т.НОРМУРАТОВ, И.М.СОЛИЕВ Влияние всесторонних гидростатических давлений на свойства Si<Ni>.....	10
Ш.Х. ЙУЛЧИЕВ, Б.ГУЛОМОВ, Н. ЮНУСАЛИЕВ Алюминий атомлари киритилган ZnO пленкаларининг оптик ва электрофизик хоссалари.....	15
H.J. MANSUROV. X.A. MAXMUDOV, M. PACULOBA ZnO пленкасининг оптик хоссалари.....	19
O.O. OLIMOV, I.I. ANARBOYEV Granulalangan Si asosida olingan poli-Si ning mikrotuzilmasi va elektrofizik xossalari.....	22
A.A. АБДУМАЛИКОВ О РАСПАДЕ ^{166}Tu	26

Техника

P.A. МУМИНОВ, М.Н. ТУРСУНОВ, Х. САБИРОВ, Т.З. АХТАМОВ Передвижная фотоэлектрическая установка для использования жителями сельских домохозяйств.....	34
S.Z.ZAINABIDINOV, A.Y. BOBOEV, B.M. ERGASHEV Growth of $(\text{Ge}_2)_{1-x-y}(\text{GaAs})_x(\text{ZnSe})_y$ Epitaxial Films on Si Substrates by Liquid-Phase Epitaxy.....	41
A.A. MIRZAALIMOV Uch tomonlama yoritilgan quyosh elementlari fotoelektrik parametrlariga haroratning ta'siri.....	46

Математика

SH.G. KASIMOV, L.A. RUZMETOVA, N.M. KOMILOV Miller–rossa ma'nosidagi kasr tartibli hosila va poligarmonik operator qatnashgan ayrim xususiy hosilali differensial tenglama uchun silindrik sohadagi boshlang'ich–chegaraviy masala.....	53
B.T. IBROXIMOV, S.O.G'ULOMOV Yarim tekislikda tutish masalasi.....	59
M.Y.ХОДЖАБЕКОВ, З.С.ЮЛДОШОВА Тебранишлардан ҳимояланувчи стерженни математик моделлаштириш	62
M.K. МАХКАМОВ, С.С. АХМАДЖОНОВ Применение метода характеристик для решения задачи об элементарном участке газопровода при истечении газа из его конца в окружающую среду.....	66

Информатика

МИРЗАЕВА М.М., МАХКАМОВ М.К., ТАЖИБАЕВ Ғ.О., МАМАЖАНОВ А.О. Боғдорчилик ва деҳқончилик маълумотларини рақамлаштириш масаласини ҳал этиш технологияси.....	74
---	----

УДК: 538.911. 935. 958. 975

Алюминий атомлари киритилган ZnO пленкаларининг оптик ва электрофизик хоссалари

Ш.Х.Йўлчиев¹, Б.Д.Ғуломов², Н.Ю.Юнусалиев³

¹Андижон давлат педагогика институти, 1703401, Андижон ш., Дўстлик кўчаси 4-уй

²Андижон машинасозлик институти, 1703401, Андижон ш., Бобур шох кучаси 56 уй

³Андижон давлат университети, 170100, Андижон шаҳри, Университет кўчаси, 129 уй

2023 йил. 30-октябрда берилган; 2023 йил. 26-ноябрда чоп этиш учун қабул қилинган

Аннотация. Ушбу ишда чўктириш усули ёрдамида соф ва Al атомлари 1% дан 5% гача киритилган ZnO қопламалари ўстирилди. Al атомлари миқдори 1% бўлган ZnO пленкаларининг солиштира қаршилиги энг кичик қийматни қабул қилиши ва 2% дан юқори бўлган қийматларда эса уларнинг аста секин ортиб бориши аниқланди. Al атомлари миқдори 1% бўлганда заряд ташувчилар концентрацияси энг юқори $2.3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ қийматни қабул қилиши ҳамда киришма миқдори 5% гача ортиши билан $2.9 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ гача камайиб бориши аниқланди. Al атомлари 1% дан 5% гача киритилган ZnO пленкаларида заряд ташувчилар ҳаракатчанлиги ме нинг қиймати дастлаб киришма миқдори 2% гача бўлганда камайиши, сўнгра ундан юқори миқдорларда ортиши аниқланди.

Калит сўзлар: чўктириш усули, рух оксиди, алюминий, солиштира қаршилиқ, концентрация, ташувчилар ҳаракатчанлиги.

Abstract. In this work, 1% to 5% Al atoms depend and undepend ZnO films were grown by dip-coating method. It was found that the resistivity of ZnO films with the content of Al atoms at 1% takes the smallest value, and at values higher than 2%, it gradually increases.. It was found that the concentration of charge carriers takes the highest value of $2.3 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ when the amount of Al atoms is 1%, and it decreases to $2.9 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ when the input content increases to 5%. In ZnO films with 1% to 5% Al atoms, it was found that the charge carrier mobility μ_e initially decreases when the input content reaches 2%, and then increases by a larger amount.

Key words: dip-coating method, zinc-oxide, aluminum, resistivity, concentration, carrier mobility

Аннотация. В данной работе пленки ZnO с содержанием атомов Al от 1% до 5% были выращены методом погружения. Установлено, что удельное сопротивление пленок ZnO с содержанием атомов Al 1 % принимает наименьшее значение, а при значениях более 2 % оно постепенно увеличивается. Установлено, что концентрация носителей заряда принимает наибольшее значение $2,3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ при количестве атомов Al 1% и снижается до $2,9 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ при увеличении содержания ввода до 5%. Было обнаружено, что в пленках ZnO с содержанием атомов Al от 1 до 5% подвижность носителей заряда μ_e сначала уменьшается, когда входное содержание достигает 2%, а затем увеличивается в большей степени.

Ключевые слова: метод погружения, оксид цинка, алюминий, удельное сопротивление, концентрация, подвижность носителей.

Бугунги кунда *ZnO* юпка пленкалари ўзининг кенг (3.37 эВ) тақиқланган соҳага эгаллиги туфайли шаффоф ва оптоэлектроникада истиқболли қўллаш имконияти, шунингдек, кўк-ультрабинафша ва оқ ёруғлик нурларини чиқарадиган, кенг тақиқланган соҳага эга *GaN* (3.4 эВ) билан рақобатбардош бўла олиши, бундан ташқари, ZnO монокристалл қатламлари *GaN* (экситон боғланиш энергияси 25 меВ)га нисбатан ўзининг синтез қилиш технологиясининг соддалиги, камхаржлиги ҳамда экситон боғланиш энергияси 60 мэВ га тенлиги каби бир қатор афзал хусусиятлари жахон миқёсида фаолият олиб бораётган соҳа вакиллари орасида катта кизиқиш уйғотиб, кенг

қўламли илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда [1,2,3,4].

Лекин, ханузгача *ZnO* юпка пленкаларининг оптик ва электрофизик хоссалари ҳамда энергетик соҳа ўзгаришларига турли концентрацияли киришма атомларининг таъсирлари бўйича илмий тадқиқот ишларининг етишмаслиги, улар асосидаги ташқи таъсирларга сезгир бўлган қурилмаларнинг барқарор ишлаш тизимида турли муаммоларни юзага келтирмоқда.

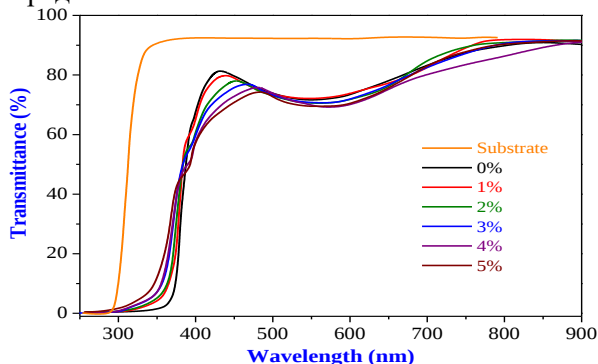
Шу муносабат билан ушбу тадқиқот ишида золь-гельнинг чўктириш усули ёрдамида олинган соф ва 1% дан 5% гача Al атомлари киритилган ZnO юпка пленкаларининг оптик

ва электрофизик хоссаларига киришма атомларининг таъсирлари тадқиқ қилинган.

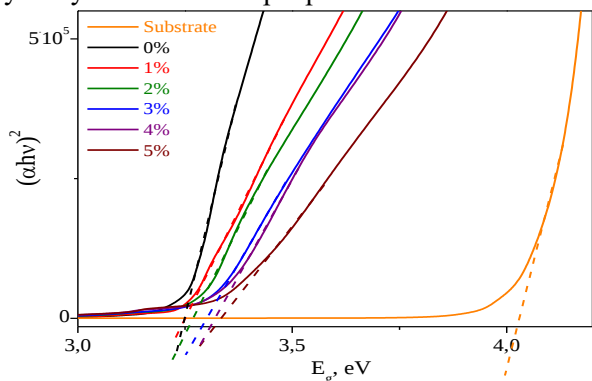
Оптик хусусиятлар

Ўстирилган ZnO юпка пленкалар оптик ўтказувчанликларига Al киришма концентрациясининг таъсири ҳамда мазкур қатламлар учун энергетик соҳалар кенглиги ўрганилди. 1-ва 2-расмларда (тўқ сариқ рангли эгри чизиклар) боросиликат ойна таглигининг оптик ўтказувчанлиги ва ютилиш спектрлари келтирилган. Графиклардан ойна тагликнинг юқори ўтказувчанлик даражаси 307 нмдан бошланишини ҳамда 4.02 эВ энергияли кескин ютилиш чегараларини тақдим этганини кўриш мумкин ва бу қийматлар адабиётларда келтирилган қийматларга жуда ҳам яқин эканлиги тасдиқланди [5].

Шунингдек, 1-расмда ўстирилган соф ва Al атомлари 1% дан 5% гача киритилган ZnO пленкаларининг оптик ўтказувчанликларининг графиклари келтирилган. Расмдан барча юпка пленкаларни кўринувчи ва инфракизилга яқин нурланиш соҳаларида 74 % дан 92% гача юқори ўтказувчанликни намоён этаётганини кўриш мумкин, бу эса ўз навбатида тадқиқ талаётган намуналар оптоэлектрон қурилмаларда шаффоф ойна сифатида фойдаланиш имкониятларини беради.



1-расм. Соф ва Al атомлари 1% дан 5% гача киритилган ZnO пленкаларининг оптик ўтказувчанлик спектрлари.



2-расм. Соф ва Al атомлари 1% дан 5% гача киритилган ZnO пленкаларининг оптик

ютилиш спектрлари.

Олинган намуналарнинг бундай юқори ўтказувчанлик даражаси гексогонал кристалл панжаранинг c ўқи (002) текислик бўйлаб йўналтирилганда ортиб боради [6]. Лекин ўстирилган пленкаларда Al атомлар миқдори ортиб бориши билан c ўқининг ортиши ҳамда субкристаллит ўлчамларининг турли қийматларда ўзгариб бориши юқори ўтказувчанлик даражасини кичик қийматларда (81.36 %дан 74.33% гача) камайишига олиб келган.

Шунингдек, 1-расмдан ZnO пленкасининг оптик соҳали ўтишига мос равишда аксари ўстирилган юпка плёнкалар ултрабинафша соҳаси яқинида 381 нм дан 373 нмгача кескин ютилиш чегараларини тақдим этганини ҳамда йўналтирилаётган нурлар оқими субкристаллитлар чегараларида ҳамда пленка сиртий соҳаларида шаклланган кристаллитлар билан таъсирлашганда ўтказувчанлик спектрида заиф ўтказувчанлик даражалари намоён бўлганини кўриш мумкин.

2-расмда соф ва Al атомлари 1% дан 5% гача киритилган ZnO пленкаларининг ултрабинафша ҳамда кўринувчи нурларни ютиш спектрлари келтирилган. Ушбу расмдан соф ZnO пленкалари ултрабинафша соҳада эмиссиявий чўққиси тахминан 381 нмда, Al атомлари 1% дан 5% гача киритилган ZnO пленкаларда эса эмиссиявий чўққилар мос равишда 382 нм, 379 нм, 376 нм, 374 нм ва 373 нмларда намоён бўлганлигини кўриш мумкин. Олинган спектрал натижалардан ўстирилган ZnO юпка пленкаларнинг таъқиқланган соҳа кенглиги Таус модели асосида [7]

$$\alpha h\nu = B(h\nu - E_g)^{1/2} \quad (1)$$

ифода ёрдамида аниқлаш мумкин. Бу ерда α ютилиш коэффиценти, $h\nu$ фотон энергияси, B эса электрон-ковак ҳаракатчанлигига бўғлиқ бўлган ифода олд коэффиценти. (1) ифода ёрдамида аниқланган катталиклар 1-жадвалга киритилган.

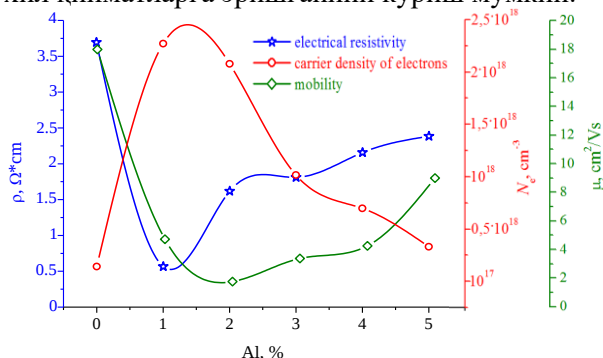
1-жадвал

Al %	Аралаш масиз	1	2	3	4	5
$\lambda, (nm)$	381	382	379	376	374	373
$E_g (eV)$	3.243	3.239	3.206	3.209	3.307	3.318

Бу эса ўз навбатида ZnO пленкасининг энергетик соҳа кенглигини 3.243 дан 3.318 эВ гача ортаётганини кўрсатади. Энергетик соҳанинг бундай ортиши Бурстеин-Мосс назарияси, яъни дегенератсияланган (киришма миқдори ортиб кетган) яримўтказгичларда

Ферми сатҳини ўтказувчанлик соҳасидан силжиши билан изоҳланади [8,9].

3-расмда (кўк рангли эгри чизикга қаранг) хона ҳароратида тўрт зондли усул ёрдамида ўлчанган соф ва Al атомлари 1% дан 5% гача киритилган ZnO пленкаларининг солиштирма қаршилиги (ρ) ни киришма миқдорига боғлиқлик графиги келтирилган. Расмдан ўстирилган пленкаларнинг солиштирма қаршилиги Al атомлари миқдорига қараб турли хил қийматларга эришганини кўриш мумкин.



3-расм. Соф ва Al атомлари 1% дан 5% гача киритилган ZnO пленкаларининг солиштирма қаршилиги (ρ), заряд ташувчилар концентрацияси (N_c) ва ҳаракатчанлиги (μ_e) киришма миқдорига боғлиқлиги.

[10-17] тадқиқот ишлари муаллифлари томонидан турли хил ўстириш усуллари ёрдамида олинган ZnO пленкаларининг солиштирма қаршиликлари қийматарининг ўзгариши кристалл панжараларда киришма атомларининг ўзаро алмашинуви уларнинг концентрацияси ортиши билан турли хил ҳолатларда намоён бўлиши орқали изоҳланган. Бизнинг ҳол учун ҳам Al атомлари миқдори 1% бўлганида ZnO пленкаларининг солиштирма қаршилиги энг кичик қийматни ($0.57 \Omega \cdot \text{cm}$) ни ҳамда киришма улуши ортиб борган сари унинг қиймати аста секин ортиб бориб 5% етганда ($2.4 \Omega \cdot \text{cm}$) ни қабул қилган. Бу ҳолатни ўстирилган пленкаларнинг рентгенотузилмавий таҳлил натижалари асосида, яъни Al атомлари миқдори 1% гача ортиши билан асосий фон киришмаларидан (ZnO плёнкалари субкристаллитлар бўлиниш чегараларида адсорбцияланган ҳолда ташувчилар учун туткич марказлари вазифасини бажарувчи) кислороднинг кристалл панжара бўйлаб нотекис тақсимланишини камайиб кетиши ҳамда 2% дан юқори киришмалар мавжудларида (ташувчининг концентрациясига ҳисса қўшмайдиган ва пленкадаги электр фаол бўлмаган Al миқдори ортиши натижасида панжра бузилишига олиб келувчи ҳажмий нуқсонлар) янги турдаги ZnO ҳамда Al_2O_3

бирикмаларига тегишли бошқа турдаги кристаллитлар шаклланишининг жадаллаша бориши билан тушунтириш мумкин.

Шунингдек, хона ҳароратида Ван дер Пау усули билан соф ва Al атомлари 1% дан 5% гача киритилган ZnO пленкаларининг заряд ташувчилар концентрацияси N_c аниқланди (3-расм, қизил рангли эгри чизик). Расмдан Al атомлари миқдори 1% бўлганида заряд ташувчилар концентрацияси энг юқори қийматни ($2.3 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) ни ҳамда киришма миқдори 5% гача ортиши билан $2.9 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ гача қайиб боради. [18] тадқиқот ишлари муаллифлари томонидан олиб борилган бир қатор тадқиқот ишларида заряд ташувчилар концентрацияси ортиши ҳамда пленкалар солиштирма қаршилигини камайиши 1% гача Al атомлари киритиб шакллантирилган пленка кристалл панжарасида киришма атомлари ионланади Al^{+3} ва улар Zn^{+2} билан ўзаро ўрин алмашинуви натижасида эркин электронлар ҳосил бўлиши, шу билан бирга, Al атомлари миқдори ортиб бориши билан заряд ташувчилар концентрацияси камайиши ҳамда пленкалар солиштирма қаршилигининг қиймати эса ортиб бориши киришма миқдори етарлича юқори (яъни, тахминан 2% дан ортиқ) бўлганда аксари Al атомлари нейтраллашиши натижасида панжарада бузилишлар шаклланиши асосида изоҳланган.

Хулоса

Ўтказилган экспериментал тадқиқотлар ва улар асосида олинган натижаларнинг таҳлиллари асосида қуйидагиларни хулоса қилиш мумкин:

ўстирилган соф ва Al атомлари 1% дан 5% гача киритилган ZnO пленкалари кўринувчи ва инфрақизилга яқин нурланиш соҳаларида 74 % дан 92% гача юқори ўтказувчанликни намоён этиши аниқланди;

Al атомлари 1% дан 5% гача киритилган ZnO пленкаларида эмиссиявий чўққилар мос равишда 382 нмдан 373 нмгача камайиши, энергетик соҳа кенглиги эса 3.243 дан 3.318 эВ гача ортиши аниқланиб, бу Ферми сатҳини ўтказувчанлик соҳасидан силжиши билан изоҳланади;

Al атомлари миқдори 1% бўлганида заряд ташувчилар концентрацияси энг юқори $2.3 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ қийматни қабул қилиши ҳамда киришма миқдори 5% гача ортиши билан $2.9 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ гача камайиб бориши аниқланди;

Фойдаланилган адабиётлар

1. Albert Daniel Saragih at al. Study On The Doping Effect Of Cu-Doped ZnO Thin Films Deposited By Co-Sputtering Technique //

- Journal of Physics: Conf. Series 1230 (2019) 012031. doi:10.1088/1742-6596/1230/1/012031.p.1-7.
2. Synthesis and characterization of Fe-doped ZnO thinfilms deposited by chemical spray pyrolysis. T. Srinivasulu, K. Saritha, K.T. Ramakrishna Reddy // *Modern Electronic Materials* 3 (2017) 76–85.
3. K.K. Kim et al. High electron concentration and mobility in Al-doped ZnO epilayer achieved via dopant activation using rapid-thermal annealing // *Journal of applied physics* 97, 066103 s2005d. doi: 10.1063/1.1863416. p.1-3
4. H.B. Wannes, W.R. Dimassi, B. Zaghouani and M.J. Mendes. Li-doped ZnO Sol-Gel Thin Films: Correlation between Structural Morphological and Optical Properties // *Journal of Textile Science & Engineering*. Volume 8. Issue 1(2017). p.1-7
5. S.Z. Zainabidinova, Sh.B. Utamuradova and A.Y. Boboev. Structural Peculiarities of the $(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{GaAs}_{1-\delta}\text{Bi}_\delta)_y$ Solid Solution with Various Nano-inclusions // *Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques*, 2022, Vol. 16, No. 6, pp. 1130–1134
6. Panagiota Koralli et al. Comparative Studies of Undoped/Al-Doped/In-Doped ZnO Transparent Conducting Oxide Thin Films in Optoelectronic Applications // *Chemosensors* 2022, 10, p.1-15. doi.org/10.3390/chemosensors10050162.
7. A. Sukee, E. Kantarak, P. Singjai. Preparation of Aluminum doped Zinc Oxide Thin Films on Glass Substrate by Sparking Process and Their Optical and Electrical Properties // *Journal of Physics: Conf. Series* 901 (2017) 012153 doi:10.1088/1742-6596/901/1/012153.p.1-4.
8. Burstein, E. Anomalous optical absorption limit in InSb. *Phys. Rev.* **1954**, 93, 632–633.
9. Di Trollo, A.; Bauer, E.M.; Scavia, G.; Veroli, C. Blueshift of optical band gap in c-axis oriented and conducting Al-doped ZnO thinfilms. *J. Appl. Phys.* **2009**, 105, 113109.
10. Girtan, M.; Socol, M.; Pattier, B.; Sylla, M.; Stanculescu, A. On the structural, morphological, optical and electrical properties of sol-gel deposited ZnO:In films. *Thin Solid Films* **2010**, 519, 573–577.
11. Jie, J.; Wang, G.; Han, X.; Yu, Q.; Liao, Y.; Li, G.; Hou, J.G. Indium-doped zinc oxide nanobelts. *Chem. Phys. Lett.* **2004**, 387, 466–470.
12. Bae, S.Y.; Choi, H.C.; Na, C.W.; Park, J. Influence of in incorporation on the electronic structure of ZnO nanowires. *Appl. Phys. Lett.* **2005**, 86, 1–3.
13. Caglar, M.; Ilican, S.; Caglar, Y. Influence of dopant concentration on the optical properties of ZnO: In films by sol-gel method. *Thin Solid Films* **2009**, 517, 5023–5028.
14. Tang, K.; Gu, S.; Liu, J.; Ye, J.; Zhu, S.; Zheng, Y. Effects of indium doping on the crystallographic, morphological, electrical, and optical properties of highly crystalline ZnO films. *J. Alloys Compd.* **2015**, 653, 643–648.
15. Saha, M.; Ghosh, S.; Ashok, V.D.; De, S.K. Carrier concentration dependent optical and electrical properties of Ga doped ZnO hexagonal nanocrystals. *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2015**, 17, 16067–16079.
16. Kim, H.; Piqué, A.; Horwitz, J.S.; Murata, H.; Kafafi, Z.H.; Gilmore, C.M.; Chrisey, D.B. Effect of aluminum doping on zinc oxide thin films grown by pulsed laser deposition for organic light-emitting devices. *Thin Solid Films* **2000**, 377–378, 798–802.
17. Х.Ж. Мансуров, Б. Ғуломов, М.У. Жумаева, М. Мамиров, М. Исмагуллаева, С. Мамадалиев. Вольтамперная характеристика гетероструктуры n-ZnO/p-Si в фотогальваническом режиме // *Яримоътаъказгисҳлар физикаси ва улар асосидаги қурилмаларнинг замонавий муаммолари*. Наманган, 2023-йил. 153-155
18. Zi-qiang X, Hong D, Yan L and Hang C. Al-doping effects on structure, electrical and optical properties of c-axis-orientated ZnO:Al thin films/ 2006 *Mater. Sci. Semicond. Proc.* **9** 132.

Муаллифлар ҳақида маълумотлар

Йўлчиев Шахриёр Хусанович – физика-математика фанлари доктори, Андижон давлат педагогика институти профессори.

Ғуломов Бахтиёржон Димуроджон ўғли – Андижон машинасозлик институти таянч докторанти.

Юнусалиев Нуритдин Юнусали ўғли – Андижон давлат университети таянч докторанти.