

**ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАР ИНСТИТУТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.02/30.12.2019.FM.65.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАР ИНСТИТУТИ

СОДИКЖАНОВ ЖАХОНГИРБЕК ШУХРАТБЕК ЎҒЛИ

**ҲАР ХИЛ ТАБИАТЛИ ИОНЛАР (Na^+ , Ba^+ , O^+ ВА Ar^+) БИЛАН
ИМПЛАНТАЦИЯЛАНГАН CdS ВА GaAs ПЛЁНКАЛАРИНИНГ
ЭЛЕКТРОН ВА ОПТИК ХОССАЛАРИ**

01.04.04 - Физик электроника

**Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси
АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2022

**Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)
диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по
физико-математическим наукам**

**Contents of dissertation abstract of Doctor of Philosophy (PhD) on physical
and mathematical sciences)**

Содикжанов Жахонгирбек Шухратбек ўғли Ҳар хил табиатли ионлар (Na^+ , Ba^+ , O^+ ва Ar^+) билан имплантацияланган CdS ва GaAs плёнкаларининг электрон ва оптик хоссалари	3
Содикжанов Жахонгирбек Шухратбек угли Электронные и оптические свойства пленок CdS и GaAs, имплантированных ионами различной природы (Na^+ , Ba^+ , O^+ и Ar^+)	22
Sodikjanov Jakhongirbek Shukhratbek o'gli Electronic and optical properties of CdS and GaAs films implanted with ions of various nature (Na^+ , Ba^+ , O^+ and Ar^+)	40
Эълон қилинган ишлар рўйхати Список опубликованных работ List of published works.....	44

ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАР ИНСТИТУТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.02/30.12.2019.FM.65.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАР ИНСТИТУТИ

СОДИКЖАНОВ ЖАХОНГИРБЕК ШУХРАТБЕК ЎҒЛИ

ҲАР ХИЛ ТАБИАТЛИ ИОНЛАР(Na^+ , Ba^+ , O^+ ВА Ar^+) БИЛАН
ИМПЛАНТАЦИЯЛАНГАН CdS ВА GaAs НИНГ ЭЛЕКТРОН ВА
ОПТИК ХОССАЛАРИ

01.04.04 - Физик электроника

Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси
АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2022

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузурдаги Олий аттестация комиссиясида B2021.3.PhD/FM636 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация А.У. Арифов номидаги Ион плазма ва лазер технологиялари институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус ва инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.iplt.uz) ҳамда «ZiyoNet» ахборот-таълим порталида (www.ziynet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Умирзаков Болтаходжа Ерматович
физика-математика фанлари доктори, профессор

Расмий оponentлар:

А.К. Ташатов
физика-математика фанлари доктори, профессор

С.Е. Максимов
физика-математика фанлари доктори, катта
илмий ходим

Етакчи ташкилот

Урганч давлат университети

Диссертация ҳимояси Ион-плазма ва лазер технологиялари институти ҳузурдаги илмий даражалар берувчи DSc.02/30.12.2019.FM.65.01 рақамли илмий кенгашнинг 2022 йил «14» 02 соат 10⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100125, Тошкент шаҳри, Дўрмон йўли кўчаси, 33-уй. Тел./факс: (99871) 262-32-54, e-mail: info@iplt.uz, Ион-плазма ва лазер технологиялари институти мажлислар зали).

Диссертация билан Ион-плазма ва лазер технологиялари институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (2 рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100125, Тошкент шаҳри, Дўрмон йўли кўчаси, 33-уй. Тел: (99871) 262-31-69.)

Диссертация автореферати 2022 йил «10» 02 кун тарқатилди.
(2022 йил «10» 02 даги 2 рақамли реестр баённомаси)



Х.Б.Ашуров
илмий даражалар берувчи
Илмий кенгаш раиси,
т.ф.д., профессор

И.Д.Ядгаров
илмий даражалар берувчи
Илмий кенгаш илмий котиби,
ф-м.ф.д., катта илмий ходим

Д.Т.Усманов
илмий даражалар берувчи
Илмий кенгаш қошидаги илмий семинар
раиси, ф-м.ф.д., катта илмий ходим

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. А^{II}В^{VI} яримўтказгичлари, хусусан, CdS плёнкалари ва уларга асосланган гетеросистемалар, хар хил турдаги фотодетекторлар, датчиклар, нурланиш резонаторлари, лазерлар, куёш батареяларини ишлаб чиқаришда кенг қўлланилади ва янги оптоэлектроник ва наноэлектроник қурилмаларни яратишда катта истиқболларга эга.

Шу муносабат билан, сўнгги йилларда CdS плёнкалари ва намуналарининг таркиби, тузилиши ва оптик хусусиятлари, уларга лазерли қиздириш, электрон ва ион бомбардимон қилиш таъсири интенсив равишда ўрганилмоқда. Ион имплантацияси - бу турли хил табиатдаги материалларнинг юзасида ва сиртга якин қатламида наноўлчамли структуралар олишнинг энг истиқболли усулларида биридир. Хусусан, Ме ионларини (Ме– Ва⁺, Na⁺, Co⁺, Ni⁺) Si га имплантация қилиш йўли билан MeSi₂ типидagi нанофазалар ва наноплёнкалар олинган ва уларнинг тақиқланган зона кенглигининг наноструктуралар ўлчамига боғлиқлиги аниқланган. Co⁺ ионлари энергиясини ўзгартириш орқали CoSi₂/Si/CoSi₂/Si нинг икки қаватли гетероепитаксиал структураси олинган. Уч компонентли наноплёнкалар бинар яримўтказгичлар GaAs ва CdTe га Ва⁺, Al⁺, Na⁺, O₂⁺ ионларини имплантация қилиш йўли билан олинган. Аммо уларнинг пайдо бўлиш механизмлари ва физик-кимёвий хусусиятлари етарли даражада ўрганилмаган. CdS плёнкалари билан бундай тадқиқотлар деярли амалга оширилмаган.

Икки компонентли яримўтказгичларнинг юзасида ва юзанинг турли чуқурликларида бир ва уч компонентли нанокристаллар ва қатламларнинг ҳосил бўлиш механизмларини олиш ва тушунтириш ҳамда улар асосида кўп қатламли гетеросистемаларни яратиш замонавий физик электрониканинг долзарб вазифасидир. Ушбу ишда жуда юқори вакуумда ўтқизиш ва ион имплантацияси усуллари CdS нинг наноўлчамли фазалари ва қатламларини ўрганиш учун ишлатилади.

Мазкур тадқиқот иши Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947 сонли “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”¹, 2017 йил 17 февралдаги ПҚ-2789-сонли “Фанлар академияси фаолияти, илмий-тадқиқот ишларини ташкил этиш, бошқариш ва молиялаштиришни янада такомиллаштириш чора тадбирлари тўғрисида”, 2019 йил 19 августдаги ПҚ-4422-сонли “Иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳанинг энергия самарадорлигини ошириш, энергия тежовчи технологияларни жорий этиш ва қайта тикланувчи энергия манбаларини ривожлантиришнинг тезкор чора тадбирлари тўғрисида” ги қарор ва фармонларида, шунингдек, сўнгги

¹ 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сонли “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги Ўзбекистон Республикаси Президентининг Фармони.

йилларда республикада ушбу соҳада қабул қилинган норматив-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларга маълум даражада мос келади.

Тадқиқотнинг Республика фан ва технологиялари ривожланиши устувор йўналишларига мослиги. Диссертация иши республика фан ва технологиялар ривожланишининг устувор йўналиши доирасида II – “Энергия ва энергия ресурсларини тежаш ва қайта тикланадиган энергия манбаларини ривожлантириш ва улардан фойдаланиш” бўйича бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Қаттиқ жисмлар электроникаси учун янги қурилмаларни яратиш истиқболлари асосан берилган физик хусусиятларга эга бўлган юпқа плёнкали кўп қатламли гетероструктураларнинг синтези билан белгиланади. Бундай ҳолда, ўзига хос физик-кимёвий хусусиятларга эга бўлган “нанофаза - матрица” ва “наноқатлам - таглик” интерфейслари алоҳида қизиқиш уйғотади. Шу муносабат билан сўнгги йилларда ушбу тизимларнинг таркиби, тузилиши ва хусусиятларини ўрганишга катта миқдордаги ишлар бағишланган. А.А. Зарубанов ва бошқалар CdS нанокластерининг фотолюминесценция кинетикасини ўрганиб чиқиб, ФЛ кинетикаси кутилмаган узок вақт, 1 мкс дан ортиқ давом этишини аниқладилар. Улар фотолюминесценция кинетикасининг характерли вақтлари тахминан 30 ва 160 нс бўлган иккита экспонентнинг йиғиндиси билан тавсифланганлигини кўрсатди. Тез ва секин емирилиш вақтлари нанокристал катталашиши билан ортиб бориши аниқланди. М. Ҳадрич, С. Ҳеислер ва бошқалар CdS ва CdTe асосида замонавий эффектив плёнкали қуёш элементларини (ҚЭ) тесқари конфигурацияли қилиб тайёрлашни кўрсатиб бердилар. М.А. Мартинез, С. Гуллиен ва бошқалар, бундай конструкциялар учун фронтал электрод сифатида ITO ва SnO₂:F ларнинг қатламларидан фойдаланиш ҳаммасидан кўра самарали эканини аниқлаб берди.

Ҳозирги даврда яримўтказгичли нанокристаллардан ёруғлик чиқарадиган органик диодлар (OLED), фотоволтаик элементлар, фотодетекторлар ва кўринадиган диапазонда қайта соланадиган лазерлар яратилган. Ш.А. Мирсағатов шогирдлари билан бирга A²B⁶ асосида инъекцион фотодиодларни, хусусан, p - Si - n - CdS - n⁺ - CdS ни олишган. Х.В. Ченг ва Ж.И. Алферов квант нуктали ва плёнкали гетероструктуралар энергетик зоналар параметрларини, зарядларнинг ҳаракатчанлигини ва яримўтказгич кристалларида эффектив массаларни бошқаришга имкон беришини кўрсатди. Б.Е. Умирзоқов, М.Т. Нормуродов шогирдлари билан бирга илк бор паст энергияли ион имплантацияси усули билан яримўтказгичларнинг ҳар хил чуқурликларида наноўлчамли кристаллар ва қатламларни олишни ва уларнинг шаклланиш қонуниятларини ўрганишган.

Диссертация мавзусининг диссертация иши бажарилган ташкилот билан ўзаро алоқаси. Диссертация тадқиқоти Ион-плазма ва лазер технологиялари институтида Ўзбекистон Республикаси илмий-тадқиқот давлат дастури доирасида ва ОТ – ФЗ – 13-сонли “Кремний – силицид – металл эркин кўпқатламли наноплёнкали структураларнинг шаклланиш

механизмлари ва уларнинг электрон ва кристалл структураларини ўрганиш” ва Тошкент давлат техника университетда Ўзбекистон Республикаси илмий-тадқиқот давлат дастури доирасида ва ОТ – Ф2 – 53-сонли “А²В⁶ плёнкалари юзасида ва сиртга яқин қисмида яратилган икки қатламли наноўлчамли структураларнинг квант ўлчамли эффектлари ва электрон хусусиятлари” лойиҳалари асосида бажарилди.

Тадқиқотнинг мақсади CdS ва GaAs сиртларини Ar⁺, O₂⁺ Ва⁺ ва Na⁺ ионлари билан бомбардимон қилиб, сиртга яқин қатламининг турли чуқурликларида ҳосил бўлган наноўлчамли структураларнинг ҳосил бўлишининг асосий физик қонуниятларни ва уларнинг CdS ва GaAs ларнинг электрон ва оптик хусусиятларига таъсир қилиш механизмларини аниқлашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

- монокристал CdS плёнкаларини Ar⁺ ионлари билан бомбардимон қилишнинг сирт морфологиясига, таркибига, электрон тузилишига, эмиссион ва оптик хусусиятларига таъсирини ўрганиш;

- сирти субмикрон қалинликдаги Ва наноплёнкаси билан қопланган CdS нинг эмиссион ва оптик хусусиятларини ўрганиш;

- CdS қатламининг юзасида ва турли чуқурликларида уч компонентли нанофазалар ва Cd-Ва-S ва Cd-O-S плёнкаларини олиш, Ва⁺ и O₂⁺ ионларини имплантациялаб ва сўнгра қиздириш орқали уларнинг шаклланиш механизмларини аниқлаш;

- Cd-Ва-S плёнкалари энергетик зоналарининг турли чуқурликларида шаклланган наноструктуралар ўлчамларига боғлиқлигини ўрганиш;

- Na⁺ ионлари билан имплантацияланиб ва сўнгра қиздириш билан GaAs нинг сирт ости соҳасида олинган Ga_{1-x}Na_xAs наноўлчамли қатламларнинг таркиби, электрон ва кристал тузилишини ўрганиш;

Тадқиқот объекти CdS / Mo(111) поликристал плёнкалари, CdS/SnO₂ ва монокристал CdS(111) ва GaAs(111) намуналари.

Тадқиқотнинг предмети - CdS ва GaAs сирт ва сирт ости қатламларида наноўлчамли структуралари шаклланишининг физик механизмлари ҳамда электрон тузилиши ҳисобланади.

Тадқиқот усуллари. Оже – электрон спектроскопия (ОЭС), ультрабинафша нурланишнинг фотоэлектронлар спектроскопияси (УБФС), эластик қайтган электронлар спектроскопияси (ЭҚЭС), электронларнинг энергия йўқотиш спектроскопияси (ЭЭЙС), тез электронлар дифракцияси (ТЭД), растрли электрон микроскопияси (РЭМ), атом–кучланишли микроскопия (АКМ), ўтувчи ёруғлик нурларининг спектроскопияси каби тадқиқот усуллари қўлланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгиллиги қуйидагилардан иборат:

- илк бор электрон спектроскопия ва микроскопия усуллари комплексдан фойдаланган ҳолда, CdS нинг монокристалл, массив ва пленка намуналарининг сирт морфологияси, таркиби, кристал тузилиши ва электрон хоссалари, эмиссион ва оптик характеристикалари аниқланди;

- Ar^+ ионлари билан бомбардимон қилинган CdS плёнкалари сиртида бир компонентли наноструктуралар шаклланиши асосий механизмлари ва бомбардимон қилишнинг унинг структураси ва физик хоссаларига таъсири, шунингдек, Ва атомларини ўтқазилнинг чиқиш зоналари чуқурлигига (ҳақиқий иккиламчи электронлар), CdS плёнкаларининг оптик ва электрон хоссаларига таъсири аниқланди;

- илк бор, Ba^+ ва O_2 ионлари имплантацияси билан CdS нинг сирт ости соҳасида турли чуқурликларда Cd-Ba-S ва Cd-O-S типидagi уч компонентли наноўлчамли фазалар ва плёнкалар олинди ва уларнинг асосий шаклланиш қонуниятлари, ҳамда E_g нинг уч компонентли нанокристалл фазалар ўлчамларига боғлиқлиги аниқланди. Ўлчамли эффектлар юзага келадиган Cd-Ba-S нанофазаларининг критик ўлчамлари бахоланди;

- илк бор, GaAs ни энергияси $E_0 = 15-25$ кэВ бўлган Na^+ ионлари билан имплантация қилиб ва сўнгра қиздириш билан сирт ости қатламларида $\text{Ga}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{As}$ типидagi уч компонентли қатлам олинган. GaAs-Ga_{0.5}Na_{0.5}As-GaAs қатламли плёнка тизимининг шаклланиш механизмлари аниқланди.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

CdS ва GaAs сирти ва сирт ости қатламларида битта ва уч компонентли наноструктураларни олиш учун ионларни бомбардимон қилиш ва сўнгра қиздиришнинг оптимал режимлари аниқланди;

энергияси $E_0 \leq 3$ кэВ бўлган Ba^+ ионларининг дастлабки имплантацияси контакт берувчи металл атомларининг CdS га диффузия чуқурлигини кескин камайтиради, бу эса яримўтказгичли наноплёнкалар юзасида ультраюпқа контактларни олиш учун жуда муҳимдир;

созланадиган тақиқланган зона кенглигига эга бўлган Cd-Ba-S типидagi наноўлчамли структуралар ва Cd/CdS, CdS/CdBaS/CdS ва GaAs/GaNaAs/GaAs типидagi кўп қатламли тизимлар янги электрон ва оптик қурилмаларни, хусусан, кўш элементларини яратишда катта истиқболларга эга.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги замонавий илмий ва экспериментал усуллардан, экспериментларнинг зарур статистик маълумотларидан, маълумотларни ўлчаш ва қайта ишлашнинг мустақил усуллари тўпламидан фойдаланиш билан ҳамда натижаларнинг замонавий назарий талабларга мувофиқлиги билан тасдиқланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.

Илмий аҳамияти: Ушбу ишда олинган илмий-тадқиқот натижалари инерт газлар ва актив металл ионлари билан бомбардимон қилиш ва кейинги қиздириш бинар ярим ўтказгичларнинг сирти ва сирт ости қатламларида наноўлчам структураларни шакллантириш (ҳосил қилиш) механизмларини намоён қилиш (очиқ бериш) ҳақидаги билимларни кенгайтиришга имкон беради.

Амалий аҳамияти: Белгиланган физикавий хусусиятларга эга наноўлчамли структураларни олиш бўйича таклиф этилаётган технологиялар

микро, нано- и оптоэлектрон қурилмаларни ривожлантиришда катта истиқболларга эга.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Ҳар хил табиатли ионлар (Na^+ , Ba^+ , O^+ ва Ar^+) билан имплантацияланган CdS ва GaAs плёнкаларининг электрон ва оптик хоссаларини ўрганиш натижалари асосида олинган CdS қатламлари Мо тагликка буфер қатлам сифатида ишлатилиши ЎзР ФА Физика-техника институтида 2018 – 2020 – йилларда бажарилган ФА-Атех-2018-234 рақамли “ A^2B^6 ярим ўтказгичли қоришмалар асосидаги фотосенсорлар ёрдамида қон плазмасининг оптик зичлигини аниқловчи янги фотоэлектрик колориметр қурилмасини ишлаб чиқиш” номли амалий лойиҳанинг илмий – техникавий вазифаларини бажаришда самарали фойдаланилган (Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академиясининг 2021 йил 16 декабрдаги №2/1255-3512 сонли маълумотномаси). Илмий натижаларнинг қўлланилиши натижасида фотосезгир Au-ZnCdS-Мо структуранинг адгезия ва фотоэлектрик хусусиятлари яхшиланишига олиб келди. Бу структуранинг сезгирлиги ва спектрал сезгирлик доираси кенгайтирилиши имконини берди.

Диссертацияда келтирилган ярим ўтказгич намуналарига Ва ва О киришма атомларини киритиб ёруғликни кенг энергия диапозонида ютувчи материаллар олиш усули, «Ўзэлтехсаноат» АК нинг «Фотон» АЖ да кришма атомлари билан легирланган CdS ва Si асосида ёруғликка сезгирлиги юқори бўлган материал олишда қўлланилган (“Ўзэлтехсаноат” АКнинг 2021 йил 11 ноябрдаги №04–3/2386 сонли маълумотномаси). Илмий натижаларни амалиётда қўллаш, намуна датчикларининг электрофизик параметрларини яхшилаш имконини берди.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари 4 та халқаро ва 5 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича 15 та илмий иш, жумладан, Ўзбекистон Республикаси ОАК да чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 1 та мақола, халқаро рўйхатдан ўтган хорижий журналларда 5 та мақола ва 9 анжуманлар тўпламларида нашр этилган.

Диссертация тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, илова ва фойдаланилган адабиётлар рўйхати, 60 та расм, 9 та жадвалдан иборат. Диссертациянинг ҳажми 133 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАСИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертасия мавзусининг долзаблиги асосланган, диссертация ишининг мақсад ва вазифалари шакиллантирилади, олинган натижаларнинг илмий янгилиги ва амалий аҳамияти баҳоланади.

Биринчи бобда “Технологик қайта ишлашнинг бинар яримўтказгичлар электрон ва оптик хусусиятларига таъсири бўйича адабиёт маълумотларининг таҳлили” мавзусида турли усуллар билан олинган CdS

нуқталари ва наноплёнкаларининг электрон ва оптик хоссалари, турли таъсирларнинг CdS плёнкаларининг физик-кимёвий хоссаларига ва унга асосланган бирикмаларига таъсири, GaAs юзасида паст энергияли ион имплантатсияси билан ҳосил қилинган наноўлчамли фазалар ва плёнкаларнинг электрон структураси таҳлил қилинди.

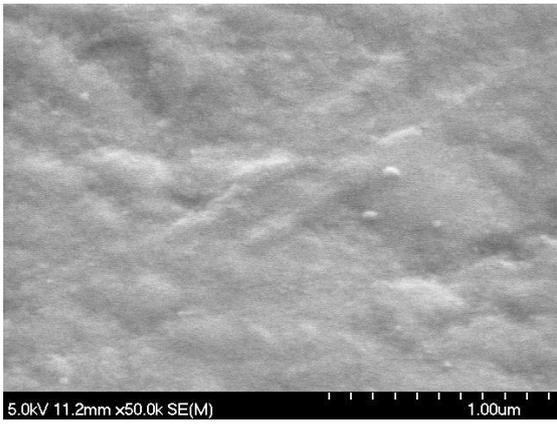
Кадмий сулфиди A^2B^6 да тўғри зонали классик яримўтказгич саналади (зона кенглиги 2.42 эВ) ва унга бўлган қизиқиш узоқ вақтдан бери давом этиб келмоқда. Сўнгги йилларда бу қизиқиш CdS нинг микроэлектроника ва оптоэлектроникада, хусусан, фотоэлектр ўзгартгичларда, қуёш элементларида, хотира элементлари ва бошқаларда қўлланилиши сабабли сезиларли даражада ошди.

Иккинчи бобда наноўлчамли тузилмаларга эга материаллар ва плёнкаларни олиш, уларнинг таркиби, тузилиши ва хусусиятларини ўрганиш учун ўта юқори вакуумли (ЎЮВ) экспериментал қурилмалар тасвирланган. Ион бомбардимон қилиш, қиздириш ва асосий тадқиқотлар универсал ўта юқори вакуумли қурилмаларда амалга оширилди. Металл ионларининг энергияси (E_0) 0,5 дан 30 кэВ гача, Ar^+ эса $E_0 = 0,5 - 5$ кэВ оралиғида ўзгартирилган. Намуналарнинг элементар ва кимёвий таркиби ОЭС усули билан, зоналарнинг энергиявий параметрлари ва валент электронлар ҳолати зичлиги ултрабинафша электронлар спектроскопияси (СБЭС), эластик қайтган электронлар спектроскопияси (ЭҚЭС) усуллари ва ўтувчи ёруғлик интенсивлигини ўлчаш йўллари билан ўрганилди.

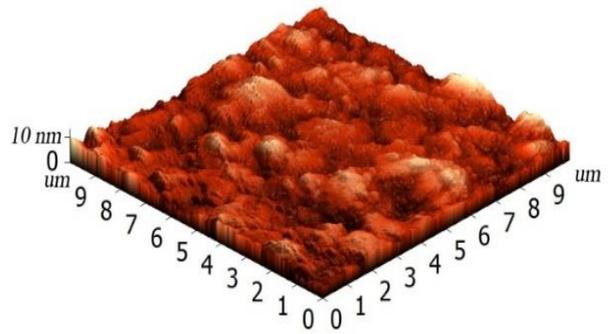
Юзалар микрорельефи ва панжаранинг параметрлари тўғрисида маълумотларни олиш учун биз қуйидаги стандарт қурилмалардан фойдаланганмиз: (РЭМ) “JEOL” сканерловчи электрон микроскоп, (ТЭМ) “ЭМР-102” тезкор электрон диффрактометр, ХИА-200 атом кучли микроскопи ва UV-1280 спектрофотометри.

Учинчи бобда “CdS плёнкаларининг таркиби ва хусусиятларига Ar^+ ионлари билан бомбардимон қилишнинг ва Ва атомлари адсорбциясининг таъсири” мавзусида плёнкаларнинг таркиби, тузилиши, хоссалари ва CdS монокристалли намуналари, сирт қатламлари тартибсизланишининг CdS плёнкаси таркиби ва электрон структурасига таъсири, Ва атомлари адсорбциясининг CdS монокристаллари эмиссияси ва оптик хоссаларига таъсири бўйича тадқиқот натижалари келтирилган.

Тадқиқотдан олдин CdS плёнкалари ўта юқори вакуумда ($P \leq 10^{-6}$ Па) 2 - 3 соат давомида $T = 1200$ К да қиздириб тозаланди. 1- а ва б расмда CdS плёнкаси $\sim 200 - 500$ нм ўлчамдаги алоҳида доналардан ташкил топганлиги кўриниб турибди (1а-расм). Бу доналарнинг чегаралари бир-бирини ёпиб, ўчамлари ~ 1 мкм дан 2-3 нм гача бўлган катта оролчаларни ҳосил қилади (1б-расм). Ушбу оролларнинг чегаралари ҳам бир-бирини ёпади ва сиртининг нотекислиги $\leq 6 - 8$ нм бўлган поликристалл плёнка ҳосил бўлади (1б-расм ва 1а-расмдаги қўшимча).



1а-расм. CdS/Mo(111) плёнқаси юзасининг РЕМ-расми.



1б-расм. CdS/Mo (111) плёнқаси юзасининг АСМ-расми.

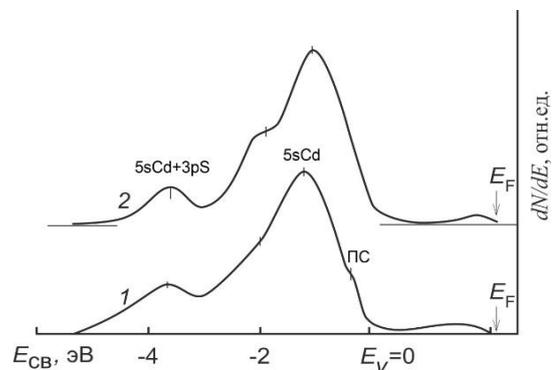
ОЕС натижаларининг таҳлили CdS плёнқаларида Cd сирт концентратсияси S концентратсиясидан бир оз камроқ ва барча аралашма атомларининг умумий концентратсияси ≤ 3 ат.% эканлигини кўрсатди. Монокристал намунада Cd ва S концентратсиялари бир-биридан кам фарқ қилади ва бу ҳолда CdS n-типли ўтказувчанликка эга бўлади. 1-жадвалда қалинлиги $\theta = 500 \text{ \AA}$ бўлган CdS/SnO₂/ситал плёнқанинг асосий оптик параметрлари келтирилган. Бу ерда $K + R + T = 1$ деб қабул қилинган.

1-жадвал

Қалинлиги 500 Å бўлган CdS/SnO₂/ситал нинг оптик параметрлари

Оптик параметрлар $h\nu$, эВ	Қайтиш коэффициенти, R			Ютилиш коэффициенти, T			Ўтказувчанлик коэффициенти, K		
	1,8	2,2	3,0	1,8	2,2	3,0	1,8	2,2	3,0
Бизнинг натижалар	0,2	0,25	0,05	0,05	0,1	0,85	0,75	0,65	0,1
Натижалар [1]	0,15	0,2	0	0,1	0,1	0,9	0,75	0,7	0,1

Кўришиб турибдики, $h\nu \leq E_g$ да плёнқанинг R ва T коэффициентларининг қийматлари атиги 0,2 га, ўтказувчанлик коэффициенти қиймати эса -0,7, -0,8 га тенг бўлади. $h\nu \geq E_g$ да ютилиш коэффициенти 0,85 га ошади. 2-расмда CdS(111) тоза монокристалли намунаси ва CdS/Mo плёнқаси учун $h\nu = 10,8$ эВ да ўлчанган фотоэлектронларнинг спектрлари келтирилган. Тоза CdS



2-расм. CdS/Mo плёнқасининг фотоэлектрон спектри (1-егри чизик) ва CdS монокристалли намунасининг спектри (2-егри чизик).

плёнкасида $E_{\text{боғли}} = -0,4; -1,3; -2,1$ ва $-3,8$ эВ да ўзига хос хусусиятлар кузатилади. Тахмин қилиш мумкинки, $E_{\text{боғли}} = -0,4$ эВ да ўзига хосликлар сирт ҳолатларидаги электронларнинг жунбушидан, $E_{\text{боғли}} = -1,3$ эВ даги чўққиси Cd нинг $5s$ ҳолатидаги электронларининг жунбушидан, $E_{\text{боғли}} = -3,6$ эВ даги чўққи эса гибридланган $5sCd + 3pS$ сатҳларидаги электронларнинг жунбушидан вужудга келган.

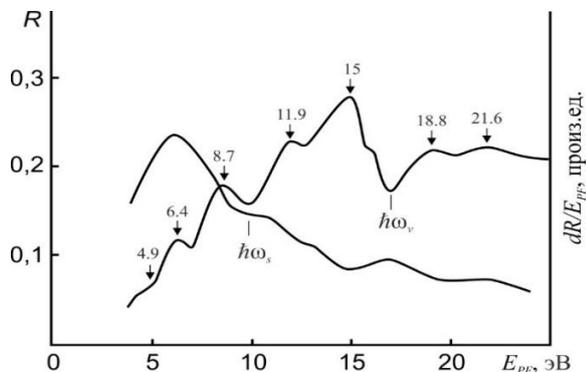
Бундан ташқари, $E_{\text{боғли}} \sim 2$ эВ бўлганда, жуда паст интенсивликка эга бўлган чўққи кузатилди, афтидан бу CdS панжараси оралиғида электр фаол бўлган Cd атомлари борлиги билан боғлиқ бўлиши мумкин. CdS монокристаллидаги чўққиларнинг ҳолати CdS плёнкасидаги чўққилардан бироз фарқ қилади,

чўққиларнинг интенсивлиги эса сезиларли даражада ўзгаради. 3-расмда CdS/Mo(111) плёнкаси учун $R(E_{\text{рF}})$ ва $-(dR/dE_{\text{рF}}(E_{\text{рF}}))$ (эластик қайтган секин электронлар (ЭҚСЭ) спектри) боғлиқликлари келтирилган.

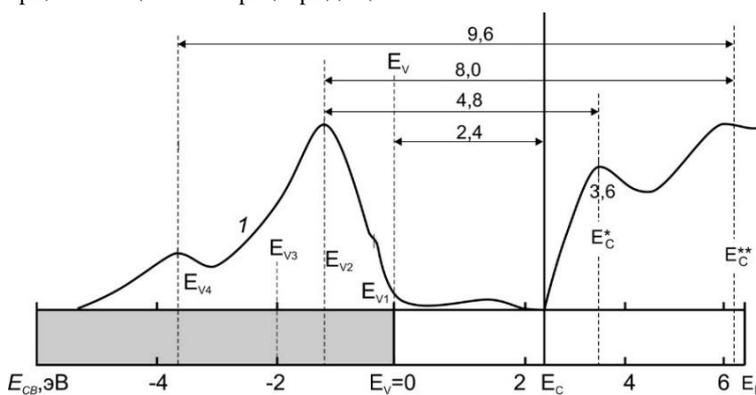
Кўриниб турибдики, энергия ортиши билан R кескин ошади, $E_{\text{р}} = 8,5$ эВ ва $R_{\text{м}} = 0,25$ да максимум оқали ўтади; энергиянинг янада ошиши билан ЭҚЭ коэффициентиси максимум ва минимум қаторларидан ўтиб, камайиб боради. Бу

ерда $E_{\text{рF}}$ - бу Ферми сатҳига нисбатан ҳисобланган ЭҚЭ энергияси, $E_{\text{р}}$ эса максимумларнинг энергия ҳолатлари зоналараро ўтишларга, валент электронларнинг коллектив тебранишларига (плазмонлар) тўғри келади. CdS учун бундай натижалар илк бор олинган. 2 ва 3-расмлар асосида CdS/Mo(111) плёнкаси зоналарининг энергиявий диаграммаси тузилган (4-расм). Ушбу диаграммани куришда қуйидаги шартлар қабул қилинади:

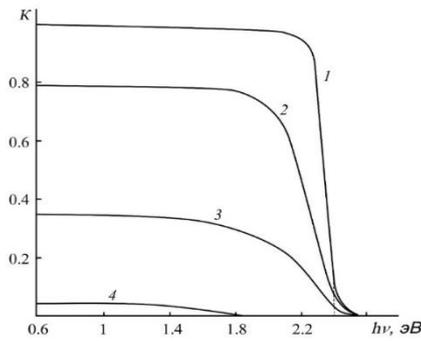
1) Фотоэлектронларнинг энергиявий тақсимот эгри чизиғи (ЭТЭЧ) валент электронлар зичлиги ҳолатини тўлиқ тавсифлайди. 2) $dR/dE_{\text{р}}(E_{\text{р}})$ эгри чизик максимумларининг энергия қиймати - $E_{\text{р}}$ нинг кичик қийматларида тўла бўлган ва эркин ҳолатлар максимумлари орасидаги масофасига тўғри келади. 5-расмда турли хил дозаларда $E_0 = 1$ кеВ бўлган Ag^+ ионлари билан бомбардимон қилинган CdS учун $K(h\nu)$ боғлиқликлар келтирилган. Тоза CdS учун $K(h\nu)$ боғлиқлик $h\nu = 0,6 - 2,2$ эВ оралиғида деярли ўзгармайди, $2,2 - 2,3$ эВ оралиғида экспоненциал, $2,3 - 2,4$ эВ оралиғида эса чизикли (кескин) камаяди ва нолга яқинлашиб боради.



3-расм. CdS/Mo(111) плёнкаси учун R ва $-dR/dE_{\text{рF}}$ нинг $E_{\text{рF}}$ га боғлиқлиги



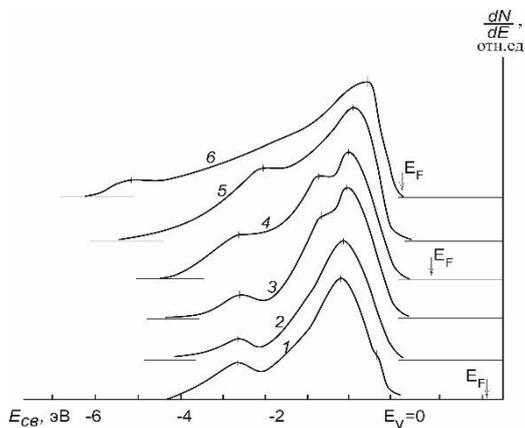
4-расм. CdS / Mo(111) плёнкасининг тармоқли энергия диаграммаси.



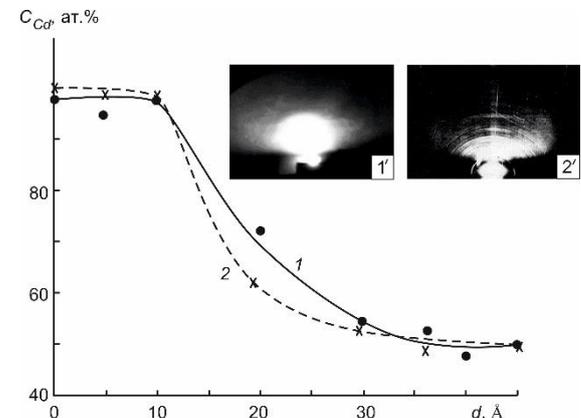
5-расм. Энергияси $E_0 = 1$ кэВ бўлган Ar^+ ионлари билан бомбардимон қилинган CdS учун ёруғлик ўтказувчанлик коэффициентини K нинг фотонлар энергиясига дозавий боғлиқлиги. D (m^2): 1-0 (тоза CdS), 2 – $5 \cdot 10^{18}$, 3 – $5 \cdot 10^{19}$, 4 – $6 \cdot 10^{20}$.

6-расмда ҳар хил $D = 10^{18} - 10^{20} m^2$ дозаларда, энергияси $E_0 = 1$ кеВ бўлган Ar^+ ионлари билан бомбардимон қилинган, яхши тозаланган CdS плёнкасининг фотоэлектрон спектрлари келтирилган. Абциссада электронларнинг боғланиш энергияси $E_{боғл}$ қўйилган.

ОЕС натижаларига таяниб, Ar^+ ионлари билан бомбардимон қилинган CdS фотоэлектронларининг энергиявий тақсимот эгри чизиқлари структурасининг ўзгариш динамикасини қуйидагича изоҳлаш мумкин. $D = 5 \cdot 10^{18} - 5 \cdot 10^{19} m^2$ оралиғида олинган Оже спектрларида боғланмаган олтингугурт атомларига характерли чўкки интенсивлигининг ошиши кузатилади. Кўринишидан, ушбу



6-расм. Ҳар хил дозаларда энергияси $E_0 = 1$ кэВ бўлган Ar^+ ионлари билан бомбардимон қилинганидан кейин олинган CdS плёнкасининг фотоэлектрон спектрлари. D, m^2 : 1 – 0 (тоза CdS), 2 – $5 \cdot 10^{18}$, 3 – 10^{19} , 4 – $5 \cdot 10^{19}$, 5 – 10^{20} , 6 – $5 \cdot 10^{20}$ (5 ва 6 эгри чизиқлари dN/dE ўқи бўйлаб 2 марта катталаштириб олинган).



7-расм. Энергияси $E_0 = 1$ кэВ бўлган Ar^+ ионлари билан $D = 5 \cdot 10^{20} m^2$ дозада бомбардимон қилинган CdS плёнкаси учун Cd атомларининг чуқурлик бўйича тақсимот профиллари ва юзасининг ЭТД расмлари (қўшимчалар): қиздиришдан олдин (1, 1') ва 30 минут давомида $T = 900 K$ ҳароратда қиздирилгандан кейинги (2, 2').

дозаларда, CdS нинг парчаланиши натижасида олтингугурт атомлари асосан сиртга интилади ва сирт бўйлаб тарқалади. Демак, сирт қатламлари S

атомлари билан, сирт ости қатламлар эса Cd атомлари билан бойитилади. s атомларининг сирт қатламларидан десорбсияси $d \approx 5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-2}$ дан бошланади, $D_{\text{тўйин}} = 5 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-2}$ да максимал буғланиш бўлади (98 - 99 ат.%). Бундай ҳолда, CdS юзаси бир хил аморфли, қалинлиги 10 - 12 Å бўлган Cd қатлами билан қопланади (7-расм). $T = 900 \text{ К}$ да қиздирилгандан сўнг, Cd поликристал наноплёнкаси шаклланади (7-расм, қўшимча-2).

6-расмда кўрсатилган спектрларни таҳлил қилиш асосида биз турли хил дозаларда, энергияси $E_0 = 1 \text{ кеВ}$ бўлган Ar^+ ионлари билан бомбардимон қилинган CdS зоналарининг энергиявий параметрларини баҳоладик (2-жадвал).

2-Жадвал

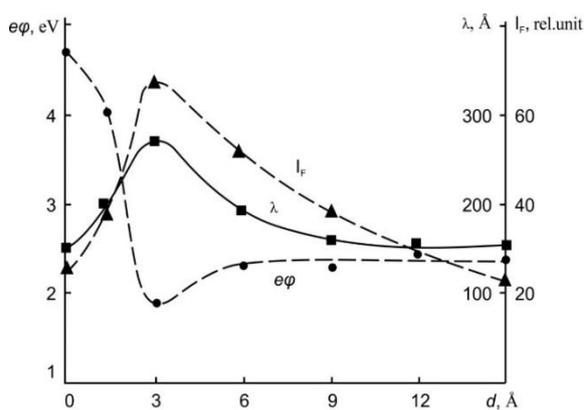
Энергияси $E_0 = 1 \text{ кеВ}$ бўлган Ar^+ ионлари билан турли хил дозаларда бомбардимон қилинган CdS сирти зоналарининг энергиявий параметрлари

Зоналар параметрлари, эВ	D, м^{-2}			
	0	$5 \cdot 10^{18}$	$5 \cdot 10^{19}$	$5 \cdot 10^{20}$
Ф	6.35	5.9	5	4.3
E_g	2.45	2.4	1.5	0
φ	4.2	–	3.7	4.3
χ	3.9	3.5	3.5	4.3

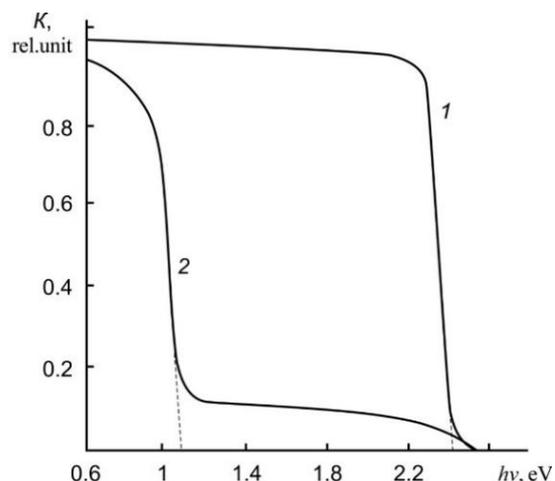
Ф-фотоэлектрон чиқиш иши, φ-термоэлектрон чиқиш иши, χ-электронга мойиллик.

Бундан кўринадики, ион бомбардимон CdS зона параметрларининг сезиларли ўзгаришига олиб келади. Ўртача дозаларда турли хил нуқсонлар пайдо бўлиши сабабли, E_v ва E_c (ўтказувчанлик зонасининг таги) яқинидаги зонада акцептор ва донор сатҳларининг тор зоналари ҳосил бўлади, шундан сўнг, плёнка E_g сининг қиймати камаяди. Юқори дозаларда сирт қатламлари металлашади ва E_g қиймати деярли нолга тушади.

Кейинги тадқиқотларимиз шуни кўрсатдики, CdS юзасида Cd плёнканинг ҳосил бўлиши, контакт беувчи металл атомларининг CdS чуқурлигига кириб боришини кескин камайтиради ва наноўлчамли контактларни олиш учун шароит яратади. Ni-CdS ва Ni-Cd-CdS системаларида контакт берувчи қатламнинг солиштирма қаршилиги $\leq 1 \text{ мкОм}\cdot\text{см}$ ни ташкил этди. Биз илк бор қалинлиги 0,5 дан 5 моноқатламгача бўлган Ва атомлари адсорбсиясининг CdS(111) монокристаллининг эмиссиявий ва оптик хоссаларига таъсирини ўргандик. 8-расмдан кўринадики, $d \approx 2,5\text{-}3 \text{ Å}$ ($\theta \approx 1$ моноқатлам) да $e\phi(d)$ боғлиқлик минимум орқали ўтади, $IF(d)$ ва $\lambda(d)$ боғлиқликлар эса максимум орқали ўтади.



8-расм. Чиқиш иши $e\phi$, фототок интенсивлиги I_F ва ХИЭ чиқиш зонасининг чуқурлиги λ данинг турли қалинликдаги CdS учун Ва/CdS плёнкаларининг қалинлигига боғлиқлиги

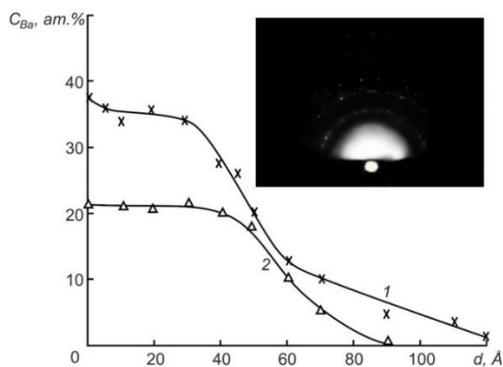


9-расм. Ёруғлик ўтказувчанлиги I интенсивлигининг фотон энергияси $h\nu$ га боғлиқлиги: 1-CdS; 2- қалинлиги ~ 20 Å бўлган Ba₂S плёнкали CdS учун.

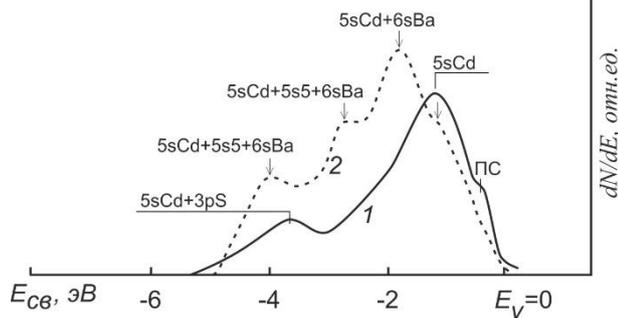
Ba + CdS тизимини қиздирганда, S нинг Ва плёнкасига диффузияланиши туфайли CdS юзасида юпқа Ba₂S плёнкаси шаклланади. 9-расмдан кўринадикки, Ba₂S учун E_g нинг тахминий қиймати ~ 1.1 эВ га тенг. Ba₂S плёнкаси жуда юпқа бўлганлиги сабабли у орқали интенсивлиги кам бўлган $h\nu = 2.4$ эВ нурланишгача ўта олади.

“CdS ва GaAs таркиби ва электрон тузилишига Ba⁺ ва Na⁺ ионларини имплантациялашнинг таъсири” деб номланган **тўртинчи боб** уч компонентли CdMeS ва GaMeAs нанокристалларини ва плёнкаларини CdS ва GaAs нинг сирт ва сирт ости қатламларида турли чуқурликларда олишга, уларни қиздириш билан бирга Ba⁺ ва Na⁺ ионларини имплантациялаб, сўнгра қиздиришга ва уларнинг таркибини, ўлчамларини, ҳосил бўлиш чуқурлигини, электрон тузилишини, эмиссиявийи ва оптик хусусиятларини ўрганишга бағишланган. 10-расмда энергияси $E_0 = 1$ кеВ, $D_{\text{тўйин}} = 6 \times 10^{20} \text{ м}^{-2}$ тўйиниш дозасида Ba⁺ ионлари билан имплантация қилинган CdS плёнкаси учун қиздирилмасдандан олдин ва $T = 800$ К қиздирилгандан кейинги барий атомларининг чуқурлик бўйича тақсимоти профиллари кўрсатилган. Оже-спектрлар ва иккиламчи ион масс спектроскопияси спектрларининг таҳлили, ион имплантация қилинган қатлам таркибида боғланмаган Ba, Cd ва S атомлари, шунингдек Ba - Cd - S ($\sim 10-15$ ат.%) ва Cd-S, Ba-S бирикмалари мавжуд эканлигини кўрсатди. Бундай ҳолда, сирт ости қатламлари бутунлай тартибсиз ҳолатга келади.

30-40 минут давомида $T = 800$ К да қиздирилгандан сўнг, сиртида 40-45 Å қалинликдаги тахминий таркиби Cd_{0.6}Ba_{0.4}S бўлган монокристалл плёнка (10-расм, кўшимчада) ҳосил бўлади. 11-расмда кўрсатилган фотоэлектронларнинг спектрларидан кўриниб турибдики, уч компонентли бирикманинг ҳосил бўлиши CdS нинг валент электронлари зичлигининг қайта тақсимланишига олиб келади.



CdS плёнкаси чуқурлиги бўйича Ba атомлари тақсимотининг концентрацион профиллари: 1-қиздиришдан олдин; 2-қиздирилгандан кейин. Қўшимчада, қиздирилгандан кейинги ТЭД картинаси.



11-расм. $h\nu = 10.8$ эВ да ўлчанган фотоэлектронлар спектри: 1 – CdS; 2 – Cd_{0.6}Ba_{0.4}S плёнкаси CdS.

Фотоэлектронлар ва эластик қайтган электронларнинг спектрларини таҳлил қилиш асосида (бу ерда кўрсатилмаган), CdS, Cd_{0.6}Ba_{0.4}S ва Cd_{0.5}Zn_{0.5}S зоналарининг энергиявий параметрлари аниқланди (3-жадвал).

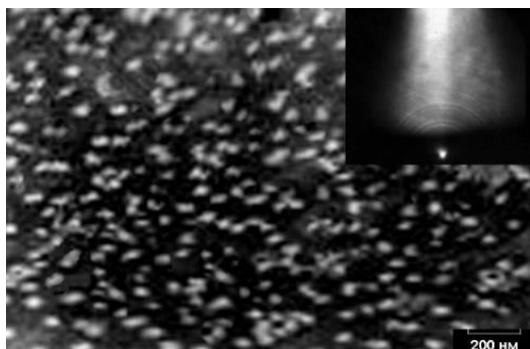
3-Жадвал

CdS, Cd_{0.6}Ba_{0.4}S ва Cd_{0.5}Zn_{0.5}S плёнкалари зоналарининг энергиявий параметрлари

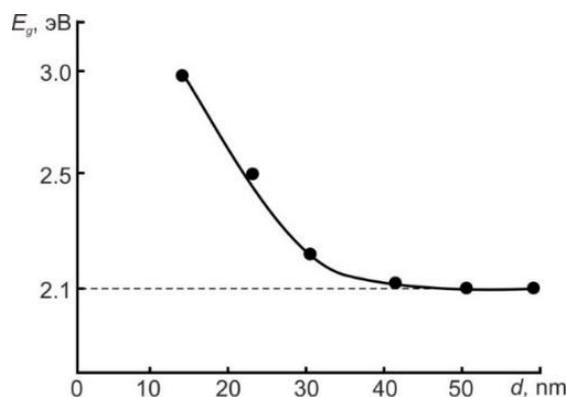
зоналар параметрлари	CdS	Cd _{0.6} Ba _{0.4} S	Cd _{0.5} Zn _{0.5} S
Ф, эВ	6.32	5.8	6.7
φ, эВ	4.2	5.6	–
E_g , эВ	2.42	2.1	2.7
χ, эВ	3.9	3.7	4

χ – электронга мойиллик.

Нурланишнинг кам дозаларида ($D \leq 5 \times 10^{19} \text{ м}^{-2}$), T = 800 К да қиздирилгандан сўнг Cd_{0.6}Ba_{0.4}S нинг нанокристалли фазалари шаклланган (12-расм).



12-расм. Cd_{0.6}Ba_{0.4}S нанокристалл фазали CdS юзасининг РЭМ-расми ва ТЭД-тасвири (қўшимчада).



13-расм. Cd_{0.6}Ba_{0.4}S/CdS нанокристалл фазалар учун $E_g(d)$ боғлиқлиги.

Кўриниб турибдики нанокристалларнинг d ўлчамлари 15-20 нм ни ва улар орасидаги масофа эса 50-60 нм ни ташкил этади. Бундай ҳолда, ТЭД

таصريда поликристалл намуналарга хос бўлган унчалик ёрқин бўлмаган консентрик ҳалқалар пайдо бўлади. $d \approx 15$ нм бўлган фазалар учун E_g қиймати 3 эВ, ~ 30 нм учун эса 2.2 эВ, бундаи ҳолатда нанокристалл фазаларда квант-ўлчамли эффектлар пайдо бўлади (13-расм).

Кейинги тадқиқотлар CdS нинг турли чуқурликларида наноўлчамли фазалар ва Cd - Ва - S қатламларини олишга қаратилди. Яширин қатламлар $E_0 = 15 - 40$ кеВ оралиғида олинган. 14-расмда $CdO_{0.7}S_{0.3}$ учун T, K ва R нинг $h\nu$ га боғлиқлиги келтирилган.

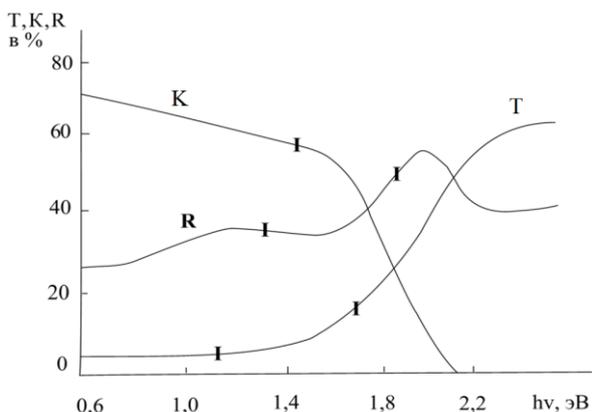
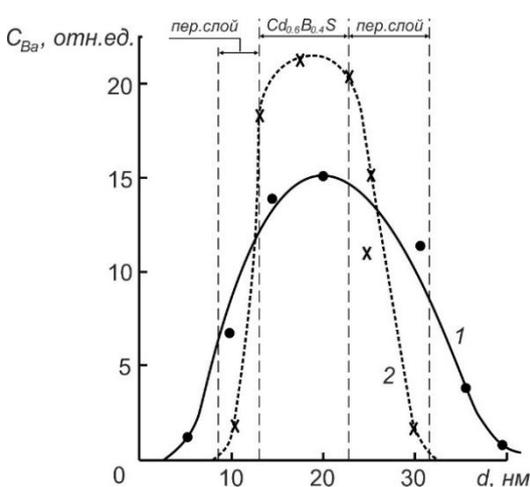


Рис. 14. Зависимости коэффициентов поглощения T, пропускания K и отражения R от $h\nu$ для системы $CdO_{0.7}S_{0.3}/CdS$.

Бу ишда энергияси $E_0=1$ кэВ бўлган O_2^+ ионларини қиздириш билан бирга имплантация қилиш орқали $CdO_{0.7}S_{0.3}$ наноўлчамли плёнкаси олинди. Кўриниб турибдики, $h\nu \approx 0.6-1.6$ эВ оралиғида K нинг қиймати $\sim 10-12\%$. $h\nu \approx 1.6-2.1$ эВ оралиғида K нинг қиймати 55% дан 10% гача камаяди ва T нинг қиймати 10% дан 72-77% гача ошади. 2.1 дан 2.6 эВ гача бўлган $h\nu$ оралиғида K 0 га камаяди. T эс абироз ошади ва $\sim 80\%$ да барқарорлашади. Бундай ҳолда, R($h\nu$) боғлиқлиги монотон ўзгармайди.

$Cd_{0.6}Ba_{0.4}S$ типидаги наноўлчамли фазалар ва қатламлар, ионли-легрланган CdS плёнкасини $T = 850 - 900$ К да қиздиргандан кейин ҳосил бўлди (15-расм). 16-расмдан кўриниб турибдики, $Cd_{0.6}Ba_{0.4}S$ қатлами учун E_g нинг қиймати $\sim 2,3$ эВ ташкил этар экан.



15 расм. $E_0 = 20$ кэВ, $D = 10^{17}$ см $^{-2}$ дозада Ba^+ ионлари билан имплантация қилинган CdS плёнкасида Ва атомларининг чуқурлик бўйича тақсимоти: 1-қиздиришдан олдин; 2-кейин

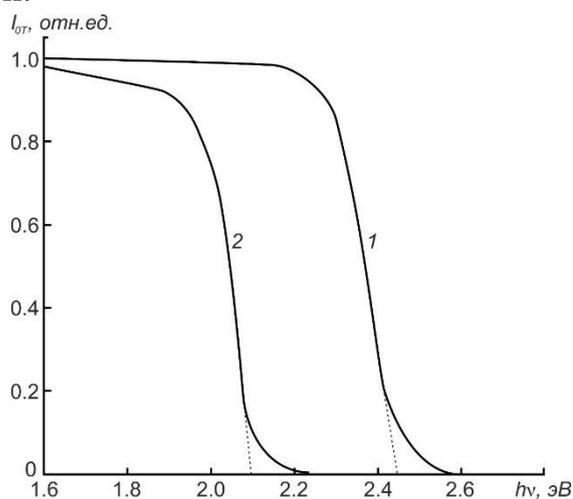


Рис. 16-расм. Ўтаётган ёруғлик интенсивлигининг фотон энергиясига боғлиқлиги: 1 – CdS; 2 –ички қатламли $Cd_{0.6}Ba_{0.4}S$ бўлган CdS.

Оптимал ҳароратда (850 К) қиздирилгандан сўнг, максимум соҳасида ($d = 20 - 30$ нм) Na атомлари концентратсиясининг ошиши ва $C_{Na}(d)$ эгри чизиги ярим кенглигининг сезиларли камайиши кузатилади.

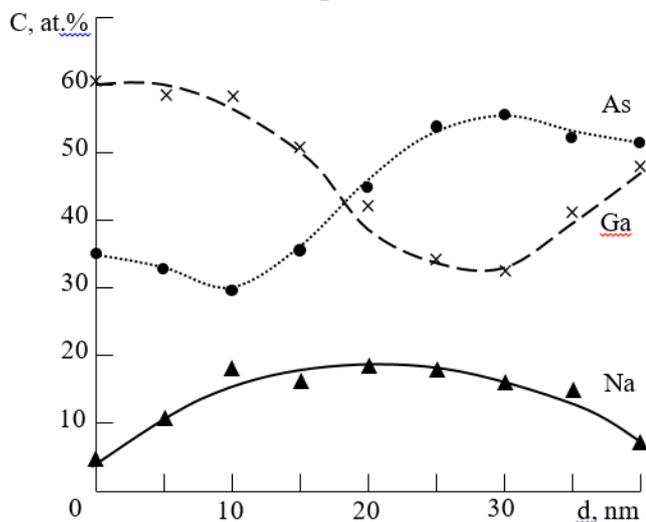


Рис. 17. Профили распределения атомов Ga, As и Na по глубине GaAs, имплантированного ионами Na^+ с $E_0 = 20$ keV при $D = 8 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-2}$.

Бунда сиртга яқин қатлам тўлиқ кристалланади ва эпитаксиал уч қаватли $GaAs - Ga_{0.5}Na_{0.5}As - GaAs$ наноплёнкалар тизими ҳосил бўлади. 17-расмда $D=D_H = 8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$, $E_0 = 20$ кеВ бўлган Na^+ ионлари билан имплантация қилинган GaAs учун Ga, As ва Na атомларининг чуқурлик бўйича тақсимоти профиллари келтирилган. Кўришиб турибдики, $d = 20 - 25$ нм оралиғида $C_{Na}(d)$ боғлиқлик максимумдан, $C_{Ga}(d)$ боғлиқлик эса минимумдан ўтади. $C_{As}(d)$ боғлиқлик янада мураккаб характерга эга:

аввал $d \approx 8 - 10$ нм да у минимумдан, сўнгра $d \approx 25 - 30$ нм да, максимумдан ўтади. Шунга кўра, Ga ва As атомларининг қайта тақсимланиши наъмуна чуқурлиги бўйича содир бўлади. Шу сабабдан, сирт ости қатлами тўлиқ кристалланади ва эпитаксиал уч қатламли $GaAs - Ga_{0.5}Na_{0.5}As - GaAs$ наноплёнка тизими шаклланади.

4-жадвал.

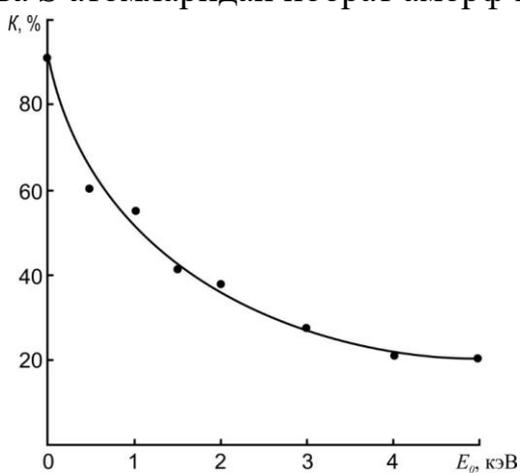
$E_0 = 1$ кеВ бўлган Va^+ ионлари билан имплантация қилинган CdS/SnO_2 учун K, T, R, эф ва σ_m нинг қийматлари

Коэффициентлар	$h\nu$, эВ	Ионлар дозаси D , см^{-2}			
		0	$5 \cdot 10^{18}$	$5 \cdot 10^{19}$	$6 \cdot 10^{19}$
K, %	1,8	85	82	75	60
	2,2	78	66	45	30
T, %	1,8	2	7	13	25
	2,2	10	22	40	50
R, %	1,8	13	11	12	15
	2,2	12	12	15	20

Шунингдек биз, Va^+ ион имплантациясининг CdS нинг оптик ва эмиссион хусусиятларига таъсирини ўрганиб чиқдик. 4-жадвалда нурланишнинг ҳар хил дозаларида $E_0 = 1$ кеВ да Va^+ ионлари билан

имплантация қилинган CdS/SnO₂ плёнкасининг ўтказувчанлик K, ютилиш T ва ёруғликнинг қайтиши R коэффициентлари қийматлари кўрсатилган.

Жадвалдан кўришиб турибдики, $D = 5 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-2}$ да K, T ва R коэффитсиентларининг $h\nu = 1,8 \text{ эВ}$ даги қийматлари озгина ўзгаради. Бу эса, нурланишнинг кам дозаларида ионларнинг сиртнинг алоҳида жойларига кириши ва ўтказувчанлик асосан нурларнинг ионли-легирланган майдонлар орасидан ўтиши билан изоҳланади ва аниқланади. Ион дозасининг ошиши билан ионли-легрланган қисмларнинг диаметрлари катталашади ва $D = 5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-2}$ да улар $\sim 30 - 40 \text{ нм}$ ни ташкил этади. Шунга мувофиқ, K камаяди, T ошади. $D = 5 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-2}$ да нурланган сирт бир хил легирланади ва $\sim 30 - 40 \text{ \AA}$ қалинликдаги Cd - Ва - S, Ва - S, Cd - S типидagi бирикма ва боғланмаган Ва, Cd ва S атомларидан иборат аморф қатлам ҳосил бўлади.



18-расм. $D=D_n$ да Ва⁺ ионлари билан имплантация қилинган CdS учун $h\nu = 1,8 \text{ эВ}$ да K ўтказувчанлик коэффитсиентининг ион энергиясига боғлиқлиги.

Ушбу бирикмалар ҳосил бўлиши ва ионли-легирланган қатламнинг қалинлиги кичиклиги туфайли $h\nu = 1,8 \text{ эВ}$ да ёруғлик ўтказувчанлик коэффитсиенти $\sim 60\%$ ни, $h\nu = 2,2 \text{ эВ}$ да эса $\sim 30\%$ ни ташкил қилади. Шундан сўнг ютилиш коэффитсиенти кескин ортади, қайтиш коэффитсиенти эса озгина ошади. 18-расмда $h\nu = 1,8 \text{ эВ}$ да ёруғлик ўтказувчанлик коэффитсиенти K нинг $D = D_n$ да ҳар хил энергияга эга Ва⁺ ионлари билан имплантация қилинган CdS/SnO

плёнкаси учун ион энергиясига боғлиқлиги кўрсатилган. Кўришиб турибдики, ион энергиясининг ортиши билан K монотон равишда камаяди ва 5 кеВ да 20% ни ташкил этади. K нинг камайишининг асосий сабаби сирт қатламларининг тартибсизланиши, ионли-легирланган қатламда турли хил, таркиби ностехиоетрик бирикмалар ҳосил бўлиши ва кўп миқдордаги Ва ва Cd атомларининг мавжудлигидадир.

Ион энергиясининг 0,5 дан 5 кеВ гача ошиши билан ионли-легирланган қатламнинг қалинлиги 3–4 нм дан 6–8 нм гача ошади ва натижада ёруғлик ютилиш коэффитсиенти ошади ва K камаяди.

ХУЛОСА

1. Яхши тозаланган CdS / Mo (111) ва CdS/SnO₂ поликристалл плёнкалари $\sim 200 - 500 \text{ нм}$ ўлчамдаги заррачалардан ташкил топганлиги ва сирт нотекислиги $\leq 6-8 \text{ нм}$ эканлиги кўрсатилган.
2. CdS плёнкалари ва монокристалл намуналарнинг электрон тузилиши, оптик ва эмиссион хусусиятлари ўрганилди. Илк бор CdS учун ҳақиқий

иккиламчи электронлар (ХИЭ) ва фотоэлектронларининг чиқиш зоналари чуқурлиги $\sim 130 - 150 \text{ \AA}$ ни ташкил этиши аниқланди. $h\nu < E_g$ да қайтиш коэффитсиентлари R ва ютилиш коэффитсенти T нинг қийматлари $0,2$ дан ошмаслиги, ўтказувчанлик коэффитсенти K нинг қиймати эса $0,7 - 0,8$ га тенг эканлиги кўрсатилган. $h\nu \geq E_g$ да T нинг қиймати $0,85$ гача кўтарилади.

3. Энергияси $E_0 = 0,5-3 \text{ кеВ}$ бўлган Ag^+ ионлари билан бомбардимон қилинганда CdS сирт қатламларининг таркиби, кристалл ва электрон тузилишлари, эмиссиявий ва оптик хусусиятларидаги ўзгаришларнинг асосий механизмлари аниқланди. Ag^+ ионларининг юқори дозаларида CdS сирт қатламлари бутунлай тартибсизланиши ва Cd атомлари билан бойитилганлиги, ўтказувчанлик коэффитсенти K нинг қиймати нолга яқинлашиши кўрсатилган. Ушбу ўзгаришлар валент электронлар ҳолатининг зичлиги ва энергия зоналари параметрларининг ўзгаришига олиб келди. Хусусан, ион бомбардимон қилишнинг барча босқичларида E_g нинг қиймати монотон камаяди ва ионларнинг юқори дозаларида нолга яқинлашади.

4. CdS плёнкасига қалинлиги $\theta \sim 1$ моноқатлам бўлган Ba атомларининг адсорбциясида $e\phi$ нинг минимал даражага ($\sim 2,2 \text{ эВ}$) тушиши, ХИЭ ва фотоэлектронларнинг чиқиш зонаси чуқурлигини сезиларли даражада ошиши, тақиқланган зона кенглигининг сезиларли бўлмаган ўзгаришига олиб келиши кўрсатилган. Бу ҳолда фотоэлектронларнинг квант чиқиши ва иккиламчи электронлар эмиссияси (ИЭЭ) коэффитсенти $\sim 1,5 - 2$ бараваргача ўсиши аниқланди. $\text{Ba} - \text{CdS}$ тизимини қиздиргандан сўнг ($\theta_{\text{Ba}} = 5$ монослой), S атомларининг Ba плёнкасига интенсив диффузияси туфайли тақиқланган зона кенглиги $\sim 1,1 \text{ эВ}$ ва тахминий таркиби Ba_2S бўлган наноплёнка ҳосил бўлади.

5. Илк бор, CdS сиртига энергияси $E_0 \leq 0,5 - 5,0 \text{ кэВ}$ бўлган Ba^+ ионларининг имплантацияси натижасида қалинлиги $30 - 40 \text{ \AA}$ дан $60 - 70 \text{ \AA}$ гача бўлган $\text{Cd}_{0,6}\text{Ba}_{0,4}\text{S}$ типдаги нанофазалар ва наноплёнкалар олинди. Уч компонентли нанофазалар ва плёнкаларнинг электрон ва кристалл тузилиши, эмиссион ва оптик хусусиятлари ўрганилди. Хусусан, валент электронлар ҳолатининг зичлиги ва зоналарнинг энергиявий параметрлари бўйича маълумотлар олинди. $\text{Cd}_{0,6}\text{Ba}_{0,4}\text{S}$ наноплёнкаларнинг фотоэлектрон спектрида $E_{\text{бофл.}} = +1,2; -1,8; -2,7; \text{ и } -3,9 \text{ эВ}$ энергияларда чўққилар кузатилиши кўрсатилган. $E_{\text{бофл.}} = +1,2 \text{ эВ}$ да чўққининг пайдо бўлиши уч компонентли плёнкада озгина ортиқча Cd атомлари борлиги билан изоҳланди, қолган барча чўққилар эса эҳтимол, $\text{Cd } 5s$ электронлари ва $\text{S } 3p$ электронларининг, барийнинг $6s$ ва $6p$ электронлари билан гибридлашиши натижасида келиб чиқади деб тахмин қилинди.

6. Илк бор $\text{Cd}_{0,6}\text{Ba}_{0,4}\text{S}$ нанофазалари тақиқланган зона кенглигининг уларнинг ўлчамларига боғлиқлиги аниқланди: нанофаза диаметри $D = 15 \text{ нм}$ да $- E_g = 3 \text{ эВ}$, $D = 25 \text{ нм}$ да $- E_g = 2,4 \text{ эВ}$, $D = 35 - 40 \text{ нм}$ да $E_g = 2,1 \text{ эВ}$ қийматга эга бўлаги, бу тахминан бутун плёнканинг E_g сига тўғри келади.

7. Энергияси $E_0 = 1 \text{ кэВ}$ бўлган O_2^+ ионлари билан имплантация қилинган CdS/Mo қиздирилгач, сиртда қалинлиги $\sim 30 \text{ \AA}$ бўлган $\text{CdO}_{0,7}\text{S}_{0,3}$ типдаги

поликристал плёнка ҳосил қилинган. шунингдек, $\text{CdO}_{0.7}\text{S}_{0.3}$ плёнканинг электрон структураси ўрганилган ва энергетик зона параметрлари аниқланган.

8. Энергияси $E_0 = 15 - 30$ кеВ бўлган Ba^+ ионларини имплантациялаш усули билан CdS сирт ости қатламида $\text{Cd}_{0.6}\text{Ba}_{0.4}\text{S}$ нинг яширин нанофазалари ва наноқатламлари олинган. Уларнинг ўлчамлари ва зоналарининг энергиявий параметрлари аниқланди.

9. Na^+ ионлари энергиясини 1 дан 40 кеВ гача ўзгаритиб имплантация қилиш, сўнгра товлаш йўли билан GaAs (111) нинг сиртида ва сирт ости қатламларининг турли чуқурликларида $\text{Ga}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{As}$ нинг монокристалл нанофазалари ва наноплёнкалари олинган. $\text{GaAs}/\text{GaNaAs}/\text{GaAs}$ тизимининг зона-энергиявий диаграммаси тузилган.

Литература:

1. Selma M. H. Al-Jawad, Ali M. Mousa, Wessal Aead Taha. Investigation of optical properties of cadmium sulfide (CdS) thin films by chemical bath deposition // Um-Salama Science Journal, 2009, Vol.6 iss. 1, pp.150-162.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.02/30.12.2019.FM.65.01 ПО
ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ
ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ И ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**ИНСТИТУТ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ И ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ИМЕНИ У.А. АРИФОВА**

СОДИКЖАНОВ ЖАХОНГИРБЕК ШУХРАТБЕК УГЛИ

**ЭЛЕКТРОННЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК CdS И GaAs
ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ИОНАМИ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ (Na⁺,
Ba⁺, O⁺ И Ar⁺)**

01.04.04 – Физическая электроника

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам

Ташкент – 2022

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2021.3.PhD/FM636 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация А.У. Арифов номидаги Ион плазма ва лазер технологиялари институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус ва инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.iplt.uz) ҳамда «ZiyoNet» ахборот-таълим порталида (www.ziynet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Умирзаков Болтаходжа Ерматович
физика-математика фанлари доктори, профессор

Расмий оponentлар:

А.К. Ташатов
физика-математика фанлари доктори, профессор

С.Е. Максимов
физика-математика фанлари доктори, катта
илмий ходим

Етакчи ташкилот

Урганч давлат университети

Диссертация ҳимояси Ион-плазма ва лазер технологиялари институти ҳузуридаги илмий даражалар берувчи DSc.02/30.12.2019.FM.65.01 рақамли илмий кенгашнинг 2022 йил «24» 02 соат 10⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100125, Тошкент шаҳри, Дўрмон йўли кўчаси, 33-уй. Тел./факс: (99871) 262-32-54, e-mail: info@iplt.uz, Ион-плазма ва лазер технологиялари институти мажлислар зали).

Диссертация билан Ион-плазма ва лазер технологиялари институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (2 рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100125, Тошкент шаҳри, Дўрмон йўли кўчаси, 33-уй. Тел: (99871) 262-31-69.)

Диссертация автореферати 2022 йил «10» 02 куни тарқатилди.
(2022 йил «10» 02 даги 2 рақамли реестр баённомаси)



Х.Б.Ашуров
илмий даражалар берувчи
Илмий кенгаш раиси,
т.ф.д., профессор

И.Д.Ялгаров
илмий даражалар берувчи
Илмий кенгаш илмий котиби,
ф-м.ф.д., катта илмий ходим

Д.Т.Усманов
илмий даражалар берувчи
Илмий кенгаш қошидаги илмий семинар
раиси, ф-м.ф.д., катта илмий ходим

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации.

Полупроводники типа $A^{II}B^{VI}$, в частности пленки и многослойные структура на основе CdS применяются при изготовлении различных видов фотоприемников, сенсоров, резонаторов излучения, лазеров, солнечных элементов и являются перспективными разработки современных приборов опто- и наноэлектроники.

Одним из перспективных методов получения нанофаз и слоев структур на поверхностных слоях и вблизи нее материалов является ионная имплантация. В частности, имплантацией ионов Ba^+ , Na^+ , Co^+ , Ni^+ в Si получены наноструктуры типа $MeSi_2$ и изучена зависимость их параметров энергетических зон и кристаллической решетки от размеров наноструктур. В случае ионов Co^+ , изменяя энергию ионов, получена двухслойная гетероэпитаксиальная система $CoSi_2/Si/CoSi_2/Si$. На основе бинарных полупроводников GaAs и CdTe ионов Ba^+ , Al^+ , Na^+ , O_2^+ получены трехкомпонентные нанопленки. Однако, механизмы их образования и физико – химические свойства этих структур до сих пор изучены недостаточно, а случае пленок CdS, такие исследования практически не проводились.

Получение, изучение закономерностей и выяснение механизмов образования одно- и трехкомпонентных нанокристаллов и слоев на поверхности и в приповерхностной области бинарных полупроводников и создание на их основе многослойных гетеросистем является актуальной проблемой современной физики поверхности и физической электроники.

В данной работе для получения наноструктур на основе CdS применяются методы и ионной имплантации сверхвысоковакуумного осаждения. Данное диссертационное исследование в определенной степени соответствует задачам, предусмотренных Указом Президента Республики Узбекистан № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» от 7 февраля 2017 года¹, Постановлениями Президента Республики Узбекистан № ПП-2789 «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Академии наук, организаций, управления и финансирования научно-исследовательской деятельности» от 17 февраля 2017 года и № ПП- 4422 «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии» от 22 августа 2019 года, а также в других нормативно-правовых документов, принятых в Республике за последние годы в данной сфере.

Соответствие исследования с основными приоритетными направлениями развития науки и технологий в республике. Диссертационная работа выполнена в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий в республике: II –

¹ Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года № ПФ-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

«Энергетика, энерго- и ресурсосбережение и развитие и использование возобновляемых источников энергии».

Степень изученности проблемы. Перспективы создания новых приборов электронной техники во многом определяются синтезом тонкопленочных многослойных гетероструктур с регулируемыми физическими свойствами. При этом наибольший интерес представляет граница раздела “нанофаза – матрица”, “нанослой – подложка”, которые обладают уникальными, присущими только им физико – химическими свойствами. В связи с этим, изучению элементного и химического состава, кристаллической структуры и электронных свойств указанных систем к настоящему времени опубликовано много работ. А.А. Зарубановым и др. обнаружено, что в нанокристаллах CdS длительность ФЛ составляет 1 мкс. Им показано, что кинетику ФЛ можно описать экспонентами с характерные времени, которых составляли ~ 30 и 160 нс. Показано, что времена затухания ФЛ возрастают с ростом размера нанокристаллов. М. Hadrich, С. Heisler и др. показали, что наиболее, эффективные современные пленочные СЭ на основе CdTe и CdS изготавливаются в тыльной конфигурации. М.А. Martinez, С. Gullien и др. установили, что для таких конструкции в качестве фронтальных электродов наиболее эффективно использование слоев ITO и SnO₂ : F.

К настоящему времени на основе полупроводниковых нанокристаллов были созданы такие устройства, как органические светоизлучающие диоды (OLED), фотовольтаические элементы, фотодетекторы и перестраиваемые в видимом диапазоне лазеры. Ш.А. Мирсагатовым и его учениками получены инжекционные фотодиоды на основе A²B⁶, в частности p – Si – n – CdS – n⁺ – CdS. Х.В. Ченг и Ж.И. Алферов показали, что гетеросистемы с наноразмерными фазами точками и пленками дают возможность управлять параметрами энергетических зон, подвижности зарядов, эффективных масс полупроводниковых кристаллов. Б.Е. Умирзаковым, М.Т. Нормурадовым и их учениками впервые имплантацией ионов в низкоэнергетической ионной имплантации получены наноразмерные кристаллы и слои на различных глубинах полупроводников и изучены закономерности их формирования.

Связь темы диссертации с исследованиями научно – исследовательской организации, где выполнена диссертационная работа. Работа выполнена в Институте ионно – плазменных и лазерных технологии в рамках Государственной программы научно – исследовательских работ РУз и проекта № ОТ – Ф3 – 13 «Механизмы формирования свободных многослойных нанопленочных структур кремний – силицид – металл и изучение их электронной и кристаллической структуры» (2017-2020 г.) и в Ташкентском Государственном Техническом университете в рамках Государственной программы научно – исследовательских работ РУз и проекта № ОТ – Ф2 – 53 «Квантово – размерные эффекты и электронные свойства двухслойных наноразмерных структур, созданных на поверхности и в приповерхностной области пленок A²B⁶» (2017-2020 г.).

Целью работы является установление основных физических закономерностей образования наноразмерных структур на различных глубинах приповерхностную слои CdS и GaAs при бомбардировке ионами Ar^+ , O_2^+ , Ba^+ и Na^+ и выяснение механизмов их влияния на электронные и оптические свойства CdS и GaAs.

Задачи исследования

- изучение изменения морфологии, состав, электронной структуры, оптические и эмиссионные свойства монокристаллических образцов и пленок CdS;

- изучение влияния осаждения Ba субмикронной толщины на оптических и эмиссионных свойствах CdS;

- получения и выяснения механизмов формирования трехкомпонентных наночастиц и пленок Cd-Ba-S и Cd-O-S на поверхности и в приповерхностном слое CdS, имплантацией ионов O^+ и Ba^+ в сочетании с отжигом.

-изучение зависимости параметров энергетических зон от размеров наноструктур, сформированных на различных глубинах пленок Cd – Ba – S;

-изучение элементного и химического состава, электронные свойства кристаллической структуры и наноразмерных слоев $Ga_{1-x}Na_xAs$, полученных в приповерхностной области GaAs имплантацией ионов натрия с последующим отжигом.

Объектами исследования являются монокристаллические образцы CdS(III), GaAs(III) и поликристаллические пленки CdS/Mo(III) и CdS/SnO₂-ситал.

Предметом исследования являются электронная структура и закономерности формирования слоев и наночастиц пленках и образцов CdS и GaAs.

Методы исследования: растровая электронная микроскопия (РЭМ), ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия (УФЭС), атомно – силовая микроскопия (АСМ), Оже – электронная спектроскопия (ОЭС), спектроскопия упруго отраженных электронов (СУОЭ), спектроскопия характеристических потерь энергии электронами (СХПЭЭ), дифракция быстрых электронов (ДБЭ), спектроскопия поглощения световых лучей.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

-впервые с использованием комплекса методов электронной спектроскопии и микроскопии определены морфология поверхности, состав, кристаллическая структура и электронные свойства, эмиссионные и оптические характеристики монокристаллических образцов и пленок CdS.

- выявлены основные механизмы формирования однокомпонентных наноструктур на поверхности пленок CdS при бомбардировке ионами Ar^+ , определены их влияния бомбардировки на структуру и физические свойства пленок CdS, а также влияние осаждения атомов Ba на глубину зоны выхода

(истинно-вторичных электронов) и на оптические, электронные свойства пленок CdS.

-впервые имплантацией ионов Ba^+ и O_2^+ на различных глубинах приповерхностной области CdS получены трехкомпонентные наноразмерные фазы и пленки типа Cd-Ba-S и Cd-O-S и изучены основные закономерности их формирования, а также определены зависимости E_g от размеров трехкомпонентных нанокристаллических фаз. Оценены критические размеры нанофаз Cd-Ba-S при котором возникнет размерные эффекты.

-впервые в приповерхностной области GaAs получены трехкомпонентные слои типа $Ga_{0.5}Na_{0.5}As$ имплантацией ионами Na^+ с $E_0 = 15-25$ кэВ в сочетании с отжигом, и определена механизмы формирования слоистой пленочной системы GaAs- $Ga_{0.5}Na_{0.5}As$ -GaAs.

Практические результаты исследования заключается в следующем:

-установлены оптимальные режимы имплантации ионов и отжига для получения одно- и трехкомпонентных наноструктур CdS и GaAs, что очень важно для разработки новых приборов физической электроники, в том числе солнечной энергетики.

-предварительная имплантация ионов Ba^+ с $E_0 \leq 3$ кэВ резко уменьшает глубину проникновения атомов контактирующего материала в CdS, что очень важно для получения ультратонких контактов и барьерных слоев на поверхности и на границах раздела многослойных гидросистем;

-наноразмерные структуры типа Cd-Ba-S с регулируемой нами параметрами энергетических зон и многослойные системы типа Cd/CdS, CdS/CdBaS/CdS и GaAs/GaNaAs/GaAs имеют перспективы для разработки приборов электроники и оптоэлектроники, в частности солнечных элементов.

Достоверность полученных результатов исследований подтверждается применением современных научных и экспериментальных методов, необходимой статистикой экспериментов, использованием комплекса независимых методик измерения и обработки данных, а также соответствием полученных результатов современными теоретическими представлениями.

Научная и практическая значимость.

Научная значимость: полученные в работе экспериментальные результаты позволяют выявить основные механизмы формирования наноразмерных структур на поверхности и в приповерхностных слоях бинарных полупроводников при бомбардировке ионами инертных газов и активных металлов в сочетании с отжигом и имеют особое значение для развития теории материалов с пониженной размерностью.

Практическая значимость: заключается в том, что предложенные технологии получения наноразмерных структур с заданными физическими свойствами имеют перспективы при разработке новых приборов микро, нано- и оптоэлектроники.

Внедрение результатов. На основе результатов исследования электронные и оптические свойства пленок CdS и GaAs, имплантированных

ионами различной природы (Na^+ , Ba^+ , O^+ и Ar^+) созданные слои CdS, в качестве буферного слоя на подложке из Mo использовано в прикладном проекте №FA-Atex-2018-234, «Разработка нового фотоэлектрического колориметрического прибора для определения оптической плотности плазмы крови с использованием фотосенсоров на основе полупроводниковых соединений A^2B^6 » выполненный в Физико-техническом институте АН РУз в 2018-2020 годах при реализации научно-технических задач (справка Академия наук Республики Узбекистан №2/1255-3512, от 16-декабря 2021 года). Применение научных результатов улучшило адгезионные и фотоэлектрические свойства фоточувствительной структуры Au-ZnCdS-Mo. Эти результаты дали возможность улучшить чувствительность структуры и расширить диапазон спектральной чувствительности.

В АО «Фотон» АК «Узэлтехсаноат» применен метод, приведенное в диссертации, для получения светопоглощающих материалов в широком диапазоне энергий путем добавления примесных атомов бария и кислорода к полупроводниковым образцам был использован для получения высокочувствительного материала на основе сульфида кадмия и кремния, легированного примесными атомами (справка АК «Узэлтехсаноат» №04-3/2386 от 11 ноября 2021 года). Практическое применение научных результатов позволило улучшить электрофизические параметры образцовых датчиков.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на 4 международных и 5 республиканских конференциях.

Публикация результатов исследований. По теме диссертации опубликованы 15 научных трудов, из них 5 статьи в зарубежных реферируемых журналах, 1 статья рекомендованной ВАК РУз для публикаций и 9 тезисов в сборниках научных конференций.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, выводов и общего заключения. Основные содержание диссертации изложено на 133 страницах, включая 60 рисунок и 9 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, сформулированы цели и задачи диссертационной работы, оценивается научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе «Литературный обзор по влиянию технологических обработок на физические свойства бинарных полупроводников» проанализированы: оптические и электронные и структурные свойства квантового размерных пленок и точек CdS, полученных методами МЛЭ, ТФЭ, ИИ и др.; влияние различных воздействий на физико-химические свойства пленок CdS и соединения на их основе; влияние образования нанофаз и пленок на электронную структуру поверхности GaAs.

Отмечено, что, сульфид кадмия является классическим прямозонным полупроводником A^2B^6 (ширина зоны 2.42 эВ), и интерес к нему проявляется

уже долгое время. В последние годы этот интерес заметно возрос благодаря возможному применению CdS в микроэлектронике и оптоэлектронике, в частности в светодиодах, лазерах, фотоэлектрических преобразователях, солнечных элементах, элементах памяти и т. д.

Во второй главе описаны экспериментальные СВВ установка получения и исследованию состава, структуры и свойства материалов и пленок с наноразмерными структурами. Ионная бомбардировка, отжиг и основные исследования проводились в универсальной сверхвысоковакуумной установке. Энергия ионов металлов варьировалось в пределах E_0 от 0,5 до 30 кэВ, а Ag^+ – в пределах $E_0=0,5-5$ кэВ. Элементный и химический состав образцов исследовались методом ОЭС, параметры энергетических зон и плотности состояния валентных электронов – методами УФЭС, СУОЭ и измерения интенсивности проходящего света.

Для получения информации о микрорельефе поверхности и параметрах решетки, использованы стандартные установки растровый электронный микроскоп (РЭМ) “JEOL”, дифрактометр быстрых электронов (ДБЭ) “ЭМР - 102”, атомно-силовой микроскоп XIA – 200 и спектрофотометр UV-1280.

В третьей главе “Влияние и осаждения атомов Ва и бомбардировки ионов Ag^+ на состав и структуру пленок CdS” приведены результаты исследований состава, структуры и свойства пленок и монокристаллических образцов CdS; влияния разупорядочения поверхностных слоев на состав и электронную кристаллическую структуру пленок CdS; влияние осаждение тонких слоев Ва на эмиссионную и эффективность вторичных электронов, квантового выход фотоэлектронов и оптические характеристики CdS(III).

Перед исследованием пленки CdS очищались прогревом при $T = 1200$ К в течение 2–3 часов в условиях сверхвысокого вакуума ($P \leq 10^{-6}$ Па). Из рис. 1 а и б видно, что Анализ РЭМ и АСМ изображений показывает, что в пленке образуются отдельные зерна с размерами $\sim 200-500$ нм. Границы соседних зерен перекрываются и образуются большие островки с размерами от ~ 1 мкм до $\sim 2-3$ мкм (рис. 3.1, б). Границы этих островков также перекрываются друг-другом, и образуется сплошная поликристаллическая пленка с шероховатостью поверхности $\leq 6-8$ нм (рис. 1, б).

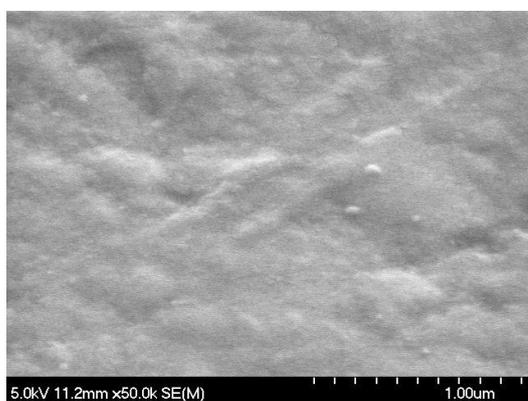


Рис. 1, а. РЭМ – изображение поверхности пленки CdS/Mo (111).

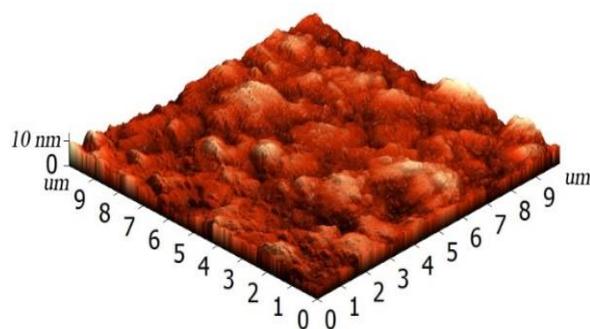


Рис. 1, б. АСМ-изображение поверхности пленки CdS/Mo (111).

Анализ результатов ОЭС показали, что в случае пленок CdS поверхностная концентрации Cd немного меньше, чем концентрация S а концентрация примесных атомов не больше, чем 3 ат.%. В случае монокристаллического образца концентрации Cd и S мало отличаются друг от друга, и в этом случае CdS имеет n-тип проводимости. В таблице 1 приведены основные оптические параметры пленки CdS/SnO₂/ситал с $\theta = 500 \text{ \AA}$. Здесь принято, что $K+R+T=1$.

Таблица 1

Оптические параметры CdS/SnO₂ с толщиной 500 Å

Оптические параметры $h\nu$, эВ	Коэффициент отражения, R			Коэффициент поглощения, T			Коэффициент пропускания, K		
	1,8	2,2	3,0	1,8	2,2	3,0	1,8	2,2	3,0
Наши данные	0,2	0,25	0,05	0,05	0,1	0,85	0,75	0,65	0,1
Данные работы [1]	0,15	0,2	0	0,1	0,1	0,9	0,75	0,7	0,1

Видно, что при $h\nu \leq E_g$ пленки значения коэффициентов R и T составляет всего лишь 0,2, а значение коэффициента пропускания – 0,7, -0,8. При $h\nu \geq E_g$ коэффициент поглощения увеличивается до 0,85. На рис. 2 приведены спектры фотоэлектронов для чистого монокристаллического образца CdS (111) и пленки CdS/Mo, измеренных при $h\nu = 10,8 \text{ эВ}$. В случае чистой пленки CdS обнаруживаются особенности при $E_{cb} = -0,4; -1,3; -2,1$ и – 3,8 эВ. Известно, что особенность при $E_{cb} = -0,4 \text{ эВ}$ обусловлена возбуждением электронов из поверхностных состояний, максимум при $E_{cb} = -1,3 \text{ эВ}$ – возбуждением электронов 5s состояний Cd, а максимум при $E_{cb} = -3,8 \text{ эВ}$ – возбуждением электронов из гибридных уровней 5sCd + 3pS. Кроме того в области $E_{cb} \sim 2 \text{ эВ}$ обнаруживается пик с очень малой интенсивностью, по – видимому, связанный с присутствием в междоузлиях решетки CdS электрически активных атомов Cd. В

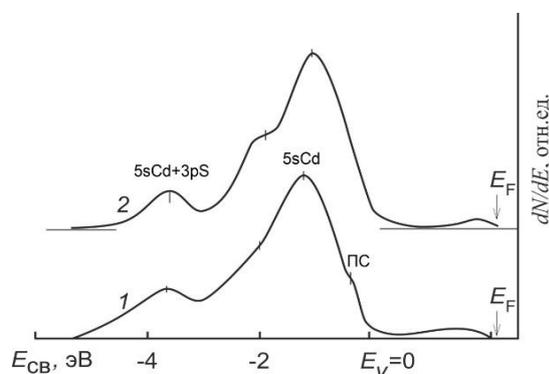


Рис. 2. Спектры фотоэлектронов для пленки CdS/Mo (кривая 1) и для монокристаллического образца CdS (кривая 2).

случае монокристаллического CdS, положения максимумов немного отличаются от таковых для пленки CdS, а интенсивности пиков существенно изменяются. На рис. 3 представлены зависимости $R(E_{pF})$ и $-(dR/dE_{pF}(E_{pF}))$ (спектр УОЭ) для пленки CdS/Mo (111). Видно, что с увеличением энергии R резко возрастает, проходя через максимум ($R_m = 0,25$) при $E_p = 8,5$ эВ; при дальнейшем увеличении энергии коэффициент УОЭ падает, проходя через ряд максимумов и минимумов, где E_{pF} -энергия УОЭ отсчитанная относительно уровня Ферми, а E_p -относительно уровня вакуума $E_{pF} = E_p + 2,4$ эВ. Энергетические положения максимумов соответствуют междузонным переходам, а минимумов – коллективным колебаниям (плазмонов) валентных электронов. Для CdS такие данные получены впервые. На основе рис. 2 и 3 построена электронно-зонная диаграмма пленки CdS/Mo (111) (рис. 4).

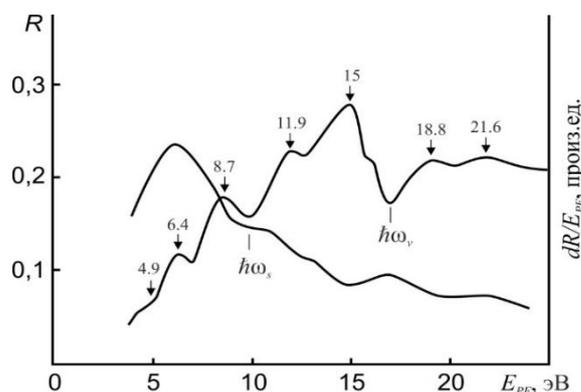


Рис. 3. Зависимости R и $-dR/dE_{pF}$ от E_{pF} для пленки CdS/Mo (111)

При построении этой диаграммы приняты следующие условия: 1) распределение кривая энергетического распределения (КЭР) фотоэлектронов полностью характеризует распределение плотности состояний валентных электронов; 2) значение энергий максимумов кривой $-dR/dE_p(E_p)$ в области малых E_p соответствует энергетическому расстоянию между максимумами заполненных и свободных состояний. На рис. 5 приведены зависимости $K(h\nu)$ для CdS, бомбардировки разными дозами аргона с энергией 1 кэВ. В случае чистого CdS зависимость $K(h\nu)$ в интервале $h\nu = 0.6-2.2$ эВ практически не меняется, в интервале $2.2-2.3$ эВ экспоненциально, а в интервале $2.3-2.4$ эВ линейно (резко)

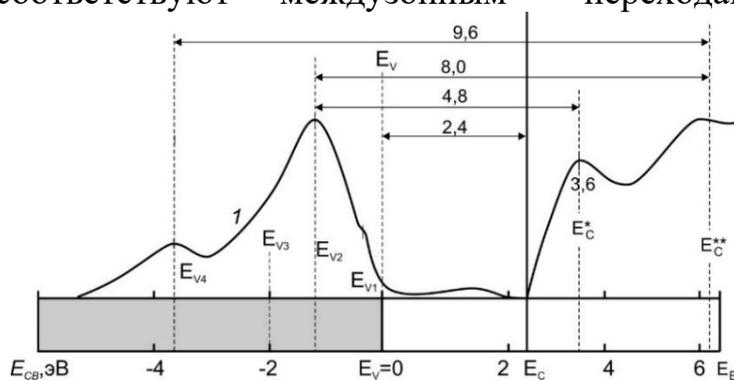


Рис. 4. Зонно-энергетическая диаграмма пленки CdS/Mo (111)

Рис. 5. Зависимости коэффициента пропускания K от $h\nu$ для CdS, облученного Ag^+ с энергией 1 кэВ и дозах D : 1 - 0 (чистый CdS), 2 - $5 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-2}$, 3 - $5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-2}$, 4 - $6 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-2}$.

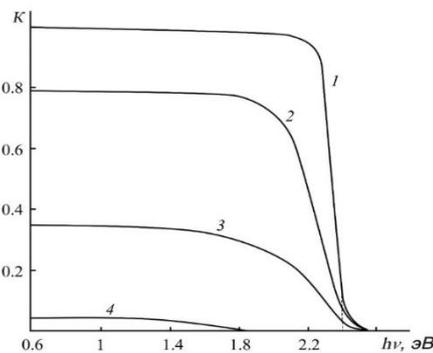


Рис. 5. Зависимости коэффициента пропускания K от $h\nu$ для CdS, облученного Ag^+ с энергией 1 кэВ и дозах D : 1 - 0 (чистый CdS), 2 - $5 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-2}$, 3 - $5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-2}$, 4 - $6 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-2}$.

снижается, почти к нулю. Экстраполяция этой части кривой к оси $h\nu$ равна 2.42 эВ, что дает оценочные значения E_g пленки CdS. При увеличении дозы ионов значение K в интервале энергии $h\nu$ монотонно уменьшается, значение E_g практически не меняется, однако интервал энергий $h\nu$ при котором K экспоненциально уменьшается, расширяется. На рис. 6 приведены фотоэлектронные спектры хорошо очищенной пленки CdS бомбардированной ионами аргона с энергией 1 кэВ разной дозой $D = 10^{18} - 10^{21} \text{ м}^{-2}$. По оси абсцисс отложена энергия связи $E_{св}$ электронов.

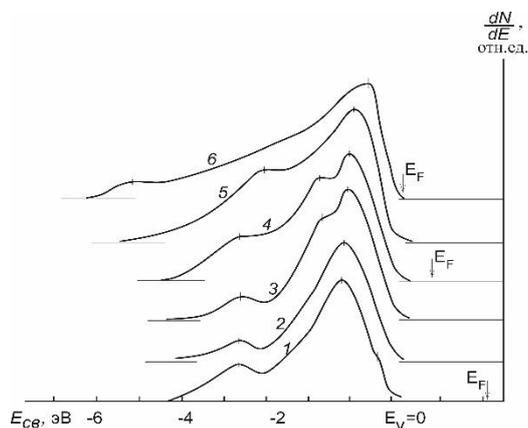


Рис. 6. Спектры фотоэлектронов для пленки CdS, снятые после ионной бомбардировки аргоном с энергией 1 кэВ и дозой дозах D , м^{-2} : 1 – 0 (чистый CdS), 2 – $5 \cdot 10^{18}$, 3 – 10^{19} , 4 – $5 \cdot 10^{19}$, 5 – 10^{20} , 6 – $5 \cdot 10^{20}$ (кривые 5 и 6 сняты при 2^x кратном увеличении по оси dN/dE).

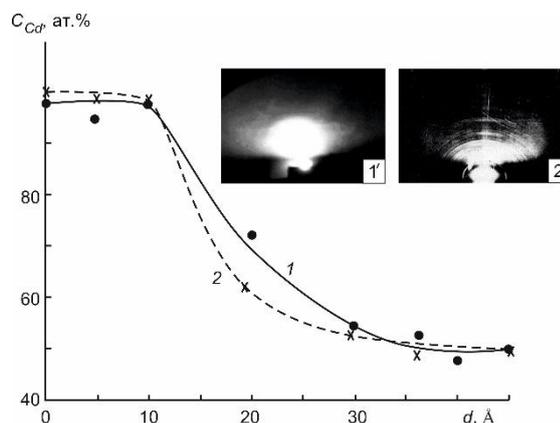


Рис. 7. Профили распределения атомов Cd по глубине и ДБЭ картины поверхности (вставки) для пленки CdS, бомбардированной ионами аргона с энергией 1 кэВ и дозой $D = 5 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-2}$ до (1, 1') и после прогрева при $T = 900 \text{ К}$ (2, 2') в течении 30 мин.

Динамику изменения структуры КЭР фотоэлектронов CdS при бомбардированной ионами аргона, опираясь на результаты ОЭС, объясняется следующим образом. В интервале $D = 5 \cdot 10^{18} - 5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-2}$ в оже-спектрах наблюдалось увеличение интенсивности пика характерного для несвязанных атомов серы. По-видимому, при этих дозах вследствие разложения CdS атомы серы преимущественно диффундируют к поверхности. Следовательно, поверхностные слои обогащаются атомами S, а приповерхностные слои - атомами Cd. С $D = 5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-2}$ начинается десорбция атомов S с поверхностных слоев, максимальное испарение (98 - 99 ат.%) которого происходит при $D = 5 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-2}$. При этом поверхность CdS покрывается однородным аморфным слоем Cd с толщиной 10 – 12 Å (рис. 7). После отжига при $T = 900 \text{ К}$ формируется поликристаллическая нанопленка Cd (рис. 7, картинка 2').

На основе анализа спектров приведенных на рис. 6 нами оценены основные параметры энергетических зон CdS, подвергнутого бомбардировке ионами аргона с энергией 1 кэВ разной дозой (таблица 2).

Видно, что ионная бомбардировка приводит к существенному изменению параметров зон. При средних дозах вследствие образования различных дефектов в запрещенной зоне вблизи E_v и E_c (дно зоны проводимости) образуются узкие зоны акцепторных и донорных уровней,

следовательно, среднее значение E_g пленки уменьшается. При высоких дозах происходит металлизация поверхностных слоев и E_g понижается почти до нуля.

Таблица 2.

Параметры энергетических зон поверхности CdS бомбардированный ионами аргона с энергией 1 кэВ разными дозами

Параметры зон, эВ	D, м ⁻²			
	0	5·10 ¹⁸	5·10 ¹⁹	5·10 ²⁰
Φ	6.35	5.9	5	4.3
E _g	2.45	2.4	1.5	0
φ	4.2	—	3.7	4.3
χ	3.9	3.5	3.5	4.3

Φ – фотоэлектронная работа выхода, φ-работа выхода электронов, χ-средство к электрону, E_g-ширина запрещенной зоны.

Наши дальнейшие исследованиями показано, что формирование пленки Cd на поверхности CdS приводит к резкому уменьшению глубины проникновения атомов контактирующего металла вглубь CdS и создает наноразмерные контакты. Удельное сопротивление контактирующего слоя в системе Ni-CdS и Ni-Cd-CdS составляла ≤ 1 мкОм·см.

Нами впервые исследовано влияние адсорбции атомов Ва с толщиной от 0.5 до 5 монослоев на физические свойства монокристалла CdS (111).

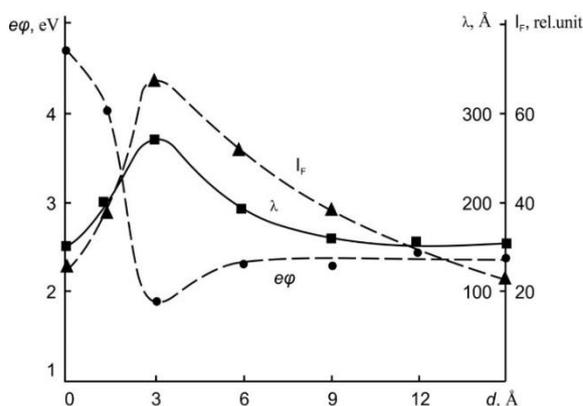


Рис. 8. Зависимости работы выхода $e\phi$, интенсивности фототока I_F и уровни выхода ИВЭ λ , от толщины пленок Ва/CdS для CdS разной толщины.

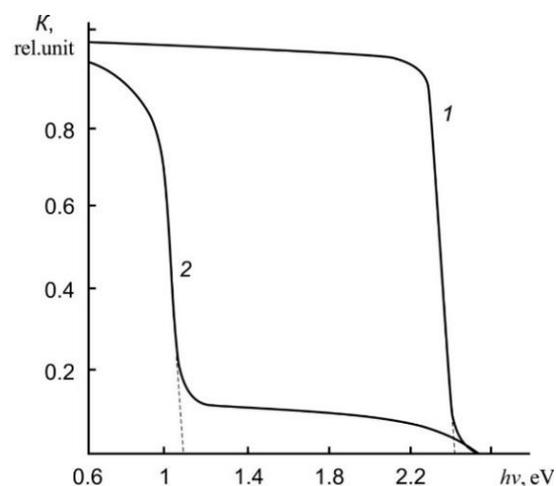


Рис. 9. Зависимости интенсивностей I проходящего света от $h\nu$ для: 1-CdS; 2-CdS с пленкой Ba_2S с толщиной ~20 Å.

Из рис. 8 видно, что зависимость $e\phi(d)$ проходит через минимум, а зависимости $I_F(d)$ и $\lambda(d)$ проходят через максимум при $d \approx 2.5-3$ Å ($\theta \approx 1$ монослой). При прогреве системы Ва+CdS вследствие диффузии S в пленку Ва на поверхности CdS формируется тонкая пленка Ba_2S . Из рис. 9 видно, что оценочное значение E_g для Ba_2S – ~ 1.1 эВ. Вследствие того, что пленка Ba_2S очень тонкая через него проходят мало интенсивные излучения вплоть

до 2.4 эВ.

Четвертая глава “Влияние имплантации ионов Ba^+ и Na^+ на состав и электронную структуру CdS и GaAs” посвящена созданию на поверхности и в различных толщинах приповерхностного слоя CdS и GaAs трехкомпонентных нанокристаллов и пленок CdMeS и GaMeAs, имплантацией ионов бария и натрия в сочетании с отжигом и изучению их состава, размеров, эмиссионные свойства, электронной структуры и оптические свойства. На рис. 10 приведены виды распределения атомов

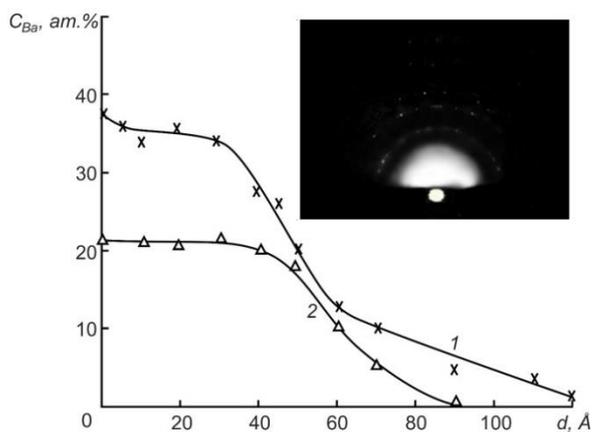


Рис. 10. Концентрационные вид распределения атомов Ba по глубине пленки CdS, имплантированной ионами Ba^+ с $E_0 = 1$ кэВ 1– до отжига; 2– после отжига на вставке картина ДБЭ.

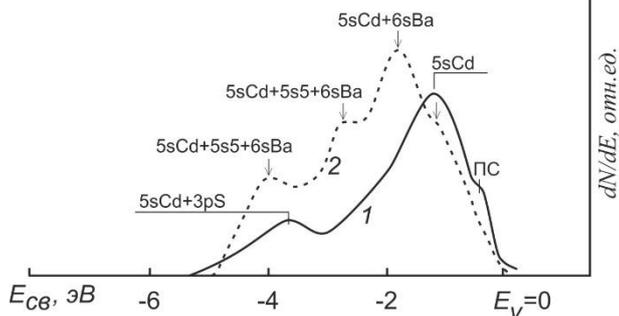


Рис. 11. Спектры фотоэлектронов, измеренные при $h\nu = 10.8$ эВ: 1 – CdS; 2 – CdS с пленкой $Cd_{0.6}Ba_{0.4}S$.

бария по глубине для пленки CdS имплантированный ионами бария с энергией 0,5 кэВ и дозой дозе насыщения $D_{нас} = 6 \times 10^{20} \text{ м}^{-2}$, измеренные до и после отжига при $T = 800$ К Анализ оже-спектров показал, что в ионно-имплантированном слое содержатся несвязанные атомы Ba, Cd и S, а также соединения типа Ba–Cd–S (~10–15 ат. %) и Cd–S, Ba–S. Приповерхностные слои полностью разупорядочиваются. После отжига при $T = 800$ К в течение 30–40 мин на поверхности формируется монокристаллическая пленка (рис. 10, вставка) с примерным составом $Cd_{0.6}Ba_{0.4}S$ толщиной 40–45 Å. Из спектров фотоэлектронов, приведенных на рис. 11 видно, что образование трехкомпонентного соединения сразу приводит к изменению плотности состояния, валентных электронов CdS.

Таблица 3

Параметры энергетических зон пленок CdS, $Cd_{0.6}Ba_{0.4}S$ и $Cd_{0.5}Zn_{0.5}S$

Параметры зон	CdS	$Cd_{0.6}Ba_{0.4}S$	$Cd_{0.5}Zn_{0.5}S$
Φ , эВ	6.32	5.8	6.7
φ , эВ	4.2	5.6	–
E_g , эВ	2.42	2.1	2.7
χ , эВ	3.9	3.7	4

χ – средство к электрону.

На основе анализа спектров фотоэлектронов и упруго отраженных электронов (здесь не приведены) определены энергетические параметры зон CdS, $\text{Cd}_{0.6}\text{Ba}_{0.4}\text{S}$ и $\text{Cl}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{S}$ (таблица 3).

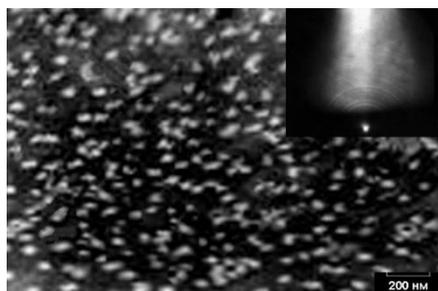


Рис. 12. РЭМ-изображение и ДБЭ-картина (вставка) поверхности CdS с нанокристаллическими фазами $\text{Cd}_{0.6}\text{Ba}_{0.4}\text{S}$.

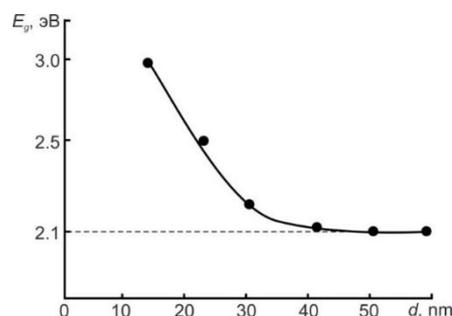


Рис. 13. Зависимость $E_g(d)$ для нанокристаллических фаз $\text{Cd}_{0.6}\text{Ba}_{0.4}\text{S}/\text{CdS}$.

При этом в ДБЭ-картине появляются не очень яркие концентрические кольца, характерные для поликристаллических образцов. Значение E_g для фаз с $d \approx 15$ нм составляло 3 эВ, а для ~ 30 нм 2.2 эВ, т.е. в случае нанокристаллических фаз проявляются квантово-размерные эффекты (рис. 13).

В работе также имплантацией ионов O_2^+ с $E_0=1\text{кэВ}$ в сочетании с отжигом получена наноразмерная пленка $\text{CdO}_{0.7}\text{S}_{0.3}$. На рис. 14. приведены зависимости T , K и R от $h\nu$ для гетероструктуры $\text{CdO}_{0.7}\text{S}_{0.3}/\text{CdS}$.

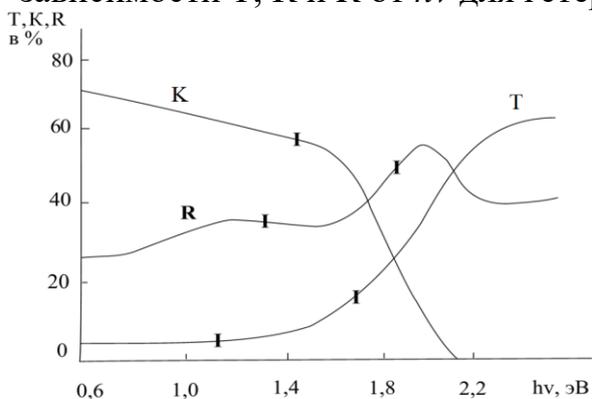


Рис. 14. Зависимости коэффициентов поглощения T , пропускания K и отражения R от $h\nu$ для системы $\text{CdO}_{0.7}\text{S}_{0.3}/\text{CdS}$.

Дальнейшие исследования были направлены на получение наноразмерных фаз и слоев $\text{Cd}-\text{Ba}-\text{S}$ на различных глубинах CdS. Скрытые слои получены в области $E_0 = 15-40$ кэВ.

Образование наноразмерных фаз и слоев типа $\text{Cd}_{0.6}\text{Ba}_{0.4}\text{S}$ происходили после прогрева ионно-легированной пленки CdS при $T = 850-900$ К (рис 15). Из рис.16 видно, что значение E_g для слоя $\text{Cd}_{0.6}\text{Ba}_{0.4}\text{S}$ составляет $\sim 2,1$ эВ. После прогрева при оптимальной температуре (850 К) наблюдается увеличение концентрации атомов Na в области максимума ($d = 20-30$ nm) и

Видно, что в интервале $h\nu \approx 0.6-1.6$ эВ значение K уменьшается на $\sim 10-12$ %. В интервале $h\nu \approx 1.6-2.1$ эВ значение K уменьшается от 55% до 10%, а коэффициент поглощения увеличивается от 10% до 72–75 %. В диапазоне $h\nu$ от 2.1 до 2.6 эВ K уменьшается до 0, а T немного увеличивается и стабилизируется на уровне ~ 80 %. При этом зависимости $R(h\nu)$ изменяло не монотонно.

заметное уменьшение полуширины кривой $C_{Na}(d)$. Соответственно, происходит перераспределение атомов Ga и As по глубине мишени.

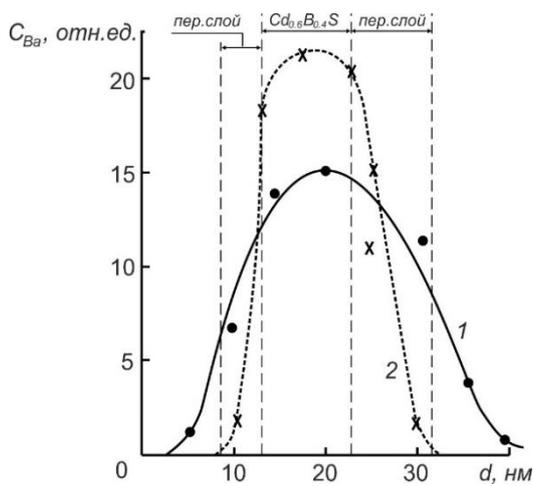


Рис. 15. Виды распределения атомов Ва по глубине пленки CdS, имплантированный ионами бария с энергией 20 кэВ и дозой $D = 10^{21} \text{ м}^{-2}$: 1 – до отжига; 2 – после отжига при $T = 850 \text{ К}$ в течение 30 мин

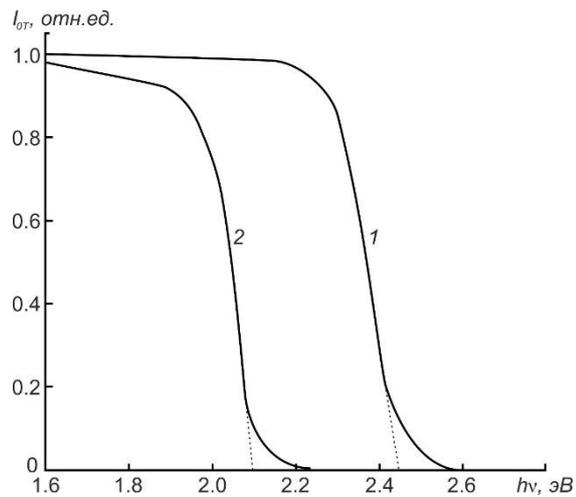


Рис. 16. Зависимость интенсивности проходящего света от $h\nu$ для: 1 – CdS; 2 – CdS с внутренним слоем $\text{Cd}_{0.6}\text{Ba}_{0.4}\text{S}$.

При этом приповерхностный слой полностью кристаллизуется и формируется эпитаксиальная трехслойная нанопленочная система GaAs – $\text{Ga}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{As}$ – GaAs.

На рис. 17 приведены профили распределения атомов Ga, As и Na по глубине для GaAs, имплантированного ионами Na^+ с $E_0 = 20 \text{ keV}$ при $D = D_H$

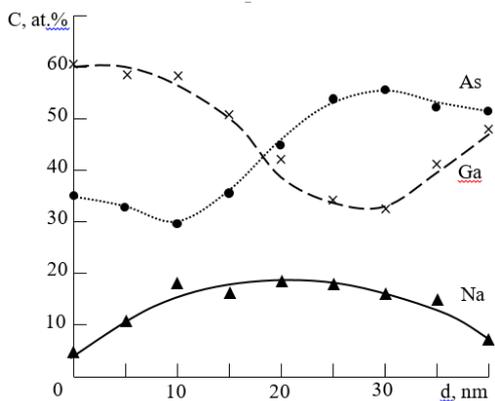


Рис. 17. Профили распределения атомов Ga, As и Na по глубине GaAs, имплантированного ионами Na^+ с $E_0 = 20 \text{ keV}$ при $D = 8 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-2}$.

$= D = 8 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-2}$. Видно, что в области $d = 20 - 25 \text{ нм}$ зависимость $C_{Na}(d)$ проходит через максимум, а зависимость $C_{Ga}(d)$ через минимум. Зависимость $C_{As}(d)$ имеет более сложный характер: сначала при $d \approx 8-10 \text{ нм}$ проходит через минимум, а затем при $d \approx 25 - 30 \text{ нм}$ – через максимум.

Нами также воздействие имплантации ионов бария на оптические свойства CdS. В таблице 4.3 приведены значения коэффициентов пропускания K , поглощения T и отражения R света пленки CdS/SnO_2 , имплантированный ионами бария с энергией 1 кэВ и дозой облучения.

Из таблицы видно, что при $D = 5 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-2}$ значения коэффициентов K , T и R при $h\nu = 1,8 \text{ эВ}$ изменяются незначительно. Это объясняется тем, что при малых дозах облучения ионы внедряются на отдельные участки поверхности

и коэффициент пропускания в основном определяется прохождением лучей между ионно-легированными участками.

Таблица 4.

Значения K , T , R , $e\phi$ и σ_m для CdS/SnO_2 , имплантированного ионами Ba^+ с $E_0 = 1$ кэВ

Коэффициент	$h\nu$, эВ E_p , эВ	Доза ионов D , m^{-2}			
		0	$5 \cdot 10^{18}$	$5 \cdot 10^{19}$	$6 \cdot 10^{20}$
K , %	1,8	85	82	75	60
	2,2	78	66	45	30
T , %	1,8	2	7	13	25
	2,2	10	22	40	50
R , %	1,8	13	11	12	15
	2,2	12	12	15	20

С увеличением дозы ионов диаметры ионно-легированных участков увеличиваются и при $D = 5 \cdot 10^{19} m^{-2}$ составляют $\sim 30 - 40$ нм. Соответственно K уменьшается, T увеличивается. При $D = 6 \cdot 10^{20} m^{-2}$ вся облучаемая поверхность легируется одинаково и формируется аморфный слой толщиной $\sim 30 - 40 \text{ \AA}$, состоящий из соединения типа $Cd - Ba - S$, $Ba - S$, $Cd - S$ и несвязанных атомов Ba , Cd и S . Из-за образования этих соединений и малой толщины ионно-легированного слоя коэффициент пропускания света при $h\nu = 1,8$ эВ составляет ~ 60 , а при $h\nu = 2,2$ эВ – ~ 30 %. Следовательно, резко увеличивается коэффициент поглощения, а коэффициент отражения увеличивается незначительно.

На рис. 18 приведена зависимость K света при $h\nu = 1,8$ эВ от энергий ионов для пленки CdS/SnO_2 , имплантированный ионами бария с разными энергиями при $D = D_n$.

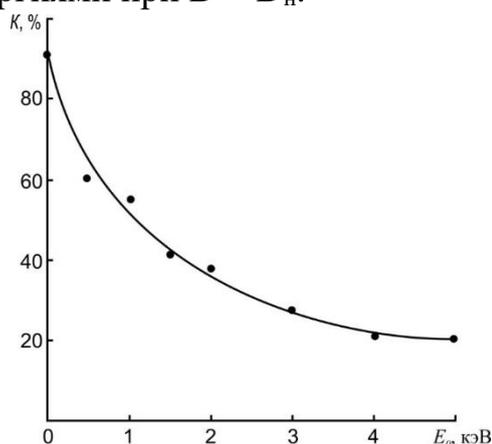


Рис. 18. Зависимость коэффициента пропускания K при $h\nu=1,8$ эВ от энергии ионов для CdS , имплантированный ионами бария $D = D_n$.

Видно, что с ростом энергии ионов K монотонно уменьшается и при ~ 5 кэВ составляет ~ 20 %. Основной причиной уменьшения K является разупорядочение приповерхностных слоев, образование в ионно-легированном слое различных соединений нестехиометрического состава и наличие большого числа атомов Ba и Cd . С увеличением энергии ионов от 0,5 до 5 кэВ толщина ионно-легированного слоя увеличивается от 3–4 нм до 6–8 нм и,

следовательно, увеличивается коэффициент поглощения света и уменьшается K .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведённых исследований сделаны следующие выводы:

1. Показано что хорошо очищенные поликристаллические пленки CdS/Mo(111) и CdS/SnO₂ состоят из отдельных зерен с размерами ~ 200 – 500 нм и шероховатости поверхности $\leq 6-8$ нм.

2. Исследовано электронные структуры, оптические и эмиссионные свойства пленок и монокристаллических образцов CdS. Впервые Установлено, что глубина выхода фотоэлектронов и ИВЭ CdS составляет ~ 130 - 150 Å. Показано, что при $h\nu < E_g$ значения коэффициентов отражения R и поглощения T не превышает 0,2, а значение коэффициента пропускания K составляет 0,7 – 0,8. При $h\nu \geq E_g$ значение T увеличивается до 0,85.

3. Установлены основные причины электронной структуры, состава, кристаллической структуры, оптических и эмиссионных свойств поверхностных слоев CdS бомбардированный ионами аргона с энергией 0,5–3 кэВ. Показано, что при больших дозах ионов Ar⁺ поверхностные слои CdS полностью разупорядочиваются и обогащаются атомами Cd и значение и коэффициента пропускания K приближается к нулю. Эти изменения приводили к изменению ситуации валентных электронов и величины энергетических зон. В частности, на всех этапах ионной бомбардировки значение E_g монотонно уменьшается и при больших дозах ионов приближается к нулю. Показано, что уменьшение ϵ_f до минимума (~ 2.2 эВ), при адсорбции атомов Ва с толщиной $\theta \sim 1$ монослой, приводит к существенному увеличению глубины зоны выхода ИВЭ и фотоэлектронов пленки CdS, без заметного изменения ее ширины запрещенной зоны. Установлено, что при этом квантовый выход фотоэлектронов и коэффициент ВЭЭ σ увеличивается до 1,5 – 2 раза. После прогрева системы Ва – CdS ($\theta_{\text{Ва}} = 5$ монослоев) вследствие интенсивной диффузии атомов S в пленку Ва формируется нанопленка с примерным составом Ва₂S с шириной запрещенной зоны ~1,1эВ.

4. Показано, что уменьшение ϵ_f до минимума (~ 2.2 эВ), при адсорбции атомов Ва с толщиной $\theta \sim 1$ монослой, приводит к существенному увеличению глубины зоны выхода фотоэлектронов и ИВЭ пленки CdS, без заметного изменения ширины запрещенной зоны. Установлено, что при этом квантовый выход фотоэлектронов и коэффициент ВЭЭ σ повышается до 1,5–2 раза. После отжига системы Ва – CdS ($\theta_{\text{Ва}} = 5$ монослоев) вследствие интенсивной диффузии атомов S в пленку Ва формируется нанопленка с примерным составом Ва₂S с шириной запрещенной зоны ~1,1эВ.

5. Впервые имплантацией ионов бария с энергией $\leq 0,5-5,0$ кэВ на поверхности CdS получены нанофазы и нанопленки типа Cd_{0,6}Ba_{0,4}S с толщиной в пределах от 30 – 40 Å до 60 – 70 Å. Изучены оптические и эмиссионные свойства, кристаллическая структура и электронная структура трехкомпонентных нанофаз и пленок. В частности, получены сведения о плотностях состояния валентных электронов и параметрах энергетических

зон. Показано, что в случае нанопленок $\text{Cd}_{0,6}\text{Ba}_{0,4}\text{S}$ на спектре фотоэлектронов наблюдаются пики при энергиях $E_{\text{св}} = +1,2; -1,8; -2,7; \text{ и } -3,9$ эВ. Появление пика при $E_{\text{св}} = +1,2$ эВ объясняется наличием в трехкомпонентной пленке избыточных атомов Cd в небольшом количестве предполагается, что все остальные пики, по-видимому, возникают вследствие гибридизации 5s электронов Cd и 3p электронов S с 6s и 6p электронами бария.

6. Впервые определена зависимость ширины запрещенной зоны наночастиц $\text{Cd}_{0,6}\text{Ba}_{0,4}\text{S}$ от их размеров: при диаметре наночастиц $d = 15$ нм значение $E_g = 3$ эВ, при $d = 25$ нм – $E_g = 2,4$ эВ, при $d = 35 - 40$ нм значение $E_g = 2,1$ эВ, что приблизительно совпадает с E_g сплошной пленки.

7. Показано, что после прогрева CdS/Mo, имплантированного ионами O_2^+ с $E_0 = 1$ кэВ на поверхности формируется поликристаллическая пленка типа $\text{CdO}_{0,7}\text{S}_{0,3}$ с толщиной ~ 30 Å. Изучены электронная структура и определены параметры энергетических зон пленки $\text{CdO}_{0,7}\text{S}_{0,3}$.

8. Имплантацией ионов бария с $E_0 = 15 - 30$ кеВ в приповерхностном слое CdS получены скрытые наночастицы и нанослои $\text{Cd}_{0,6}\text{Ba}_{0,4}\text{S}$. Определены их размеры и параметры энергетических зон.

9. Имплантацией ионов Na^+ с вариацией энергии ионов в пределах от 1 до 40 кэВ с последующим отжигом, в разных толщинах приповерхностного слоя и на поверхности GaAs (111) получены монокристаллические наночастицы и нанопленки $\text{Ga}_{0,5}\text{Na}_{0,5}\text{As}$. Построена электронно-зонная диаграмма GaAs/GaNaAs/GaAs систем.

Литература:

1. Selma M. H. Al-Jawad, Ali M. Mousa, Wessal Aead Taha. Investigation of optical properties of cadmium sulfide (CdS) thin films by chemical bath deposition // Um-Salama Science Journal, 2009, Vol.6 iss. 1, pp.150-162.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING OF SCIENTIFIC DEGREES
DSc.02/30.12.2019.FM.65.01 INSTITUTE OF ION-PLASMA AND LASER
TECHNOLOGIES**

ION PLASMA AND LASER TECHNOLOGIES INSTITUTE

SODIKJANOV JAKHONGIRBEK SHUKHRATBEK UGLI

**ELECTRONIC AND OPTICAL PROPERTIES OF CdS AND GaAs FILMS
IMPLANTED WITH IONS OF VARIOUS NATURE (Na⁺, Ba⁺, O⁺ AND Ar⁺)**

01.04.04 – Physical electronics

ABSTRACT
**of dissertation of the doctor of philosophy (PhD) on physical and
mathematical sciences**

Tashkent – 2022

The theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) on physical and mathematical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of Republic of Uzbekistan under number B2021.3.PhD/FM636.

Dissertation has been prepared at Ion plasma and laser technologies institute named after U.A. Arifov.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (uzbek, russian, english (resume)) on the scientific council website (www.iplt.uz) and on the website of "Ziyonet" Information and educational portal www.ziyonet.uz.

Research supervisors: Umirzakov Boltakhodja Ermatovich
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

Official opponents: A.K. Tashatov
Doctor of Physical and mathematical sciences, Professor

S.E. Maksimov
Doctor of Physical and mathematical sciences, senior researcher

Leading organization: Urgench State University

Defense will take place on «24» 02 2022 at 10⁰⁰ at the meeting of scientific council number DSc.02/30.12.2019.FM.65.01 at Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies (Address: 100125, Uzbekistan, Tashkent city, str. Durmon yuli 33. Phone/fax: (+99871) 262-32-54, e-mail: info@iplt.uz).

The PhD dissertation is can be looked through in the Information-Resource centre of the Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies (is registered № 2) (Address: 100125, Uzbekistan, Tashkent city, str. Durmon yuli 33. Phone/fax: (+99871) 262-31-69).

Abstract of dissertation sent out on «10» 02 2022 year.
(Mailing report № 2 on «10» 02 2022 year)



Kh.B.Ashurov
Chairman of scientific council on award of scientific degrees, doctor of technical science, professor

I.D.Yadgarov
Scientific secretary of scientific council on award of scientific degrees, doctor physical and mathematical science, senior researcher

D.T.Usmanov
Chairman of scientific seminar under scientific council on award of scientific degrees doctor of physical and mathematical science, senior researcher

The aim of the dissertation is to establish the main physical regularities of the formation of nanosized structures at different depths of the near-surface CdS and GaAs layers upon bombardment with Ar^+ , O_2^+ , Ba^+ , and Na^+ ions and to elucidate the mechanisms of their influence on the electronic and optical properties of CdS and GaAs.

The objects of study were polycrystalline films CdS/Mo(III), CdS/SnO₂-sital and single-crystal samples of CdS(III) and GaAs(III).

The scientific novelty of the research consists in the following:

- for the first time, using a complex of methods of electron spectroscopy and microscopy, the surface morphology, composition, crystal structure and electronic properties, emission and optical characteristics of single-crystal samples and CdS films were determined.

- the main mechanisms of the formation of single-component nanostructures on the surface of CdS films during bombardment with Ar^+ ions were identified, their effects of bombardment on the structure and physical properties of CdS films, as well as the effect of deposition of Ba atoms on the depth of the exit zone (true secondary electrons) and on optical and electronic properties were determined CdS films.

-for the first time, by implantation of Ba^+ and O_2^+ ions at different depths of the near-surface region of CdS, three-component nanosized phases and films of the Cd-Ba-S and Cd-O-S types were obtained and the main regularities of their formation were studied, and the dependences of E_g on the sizes of three-component nanocrystalline phases were determined. The critical sizes of Cd-Ba-S nanophases are estimated at which size effects will appear.

-for the first time, three-component layers of the Ga_{0.5}Na_{0.5}As type were obtained in the near-surface region of GaAs by implantation with Na^+ ions with $E_0 = 15\text{--}25$ keV in combination with annealing, and the mechanisms of formation of the GaAs-Ga_{0.5}Na_{0.5}As-GaAs layered film system were determined.

The implementation of research results. Based on the results of the study of the electronic and optical properties of CdS and GaAs films implanted with ions of various nature (Ar^+ , O_2^+ , Ba^+ , and Na^+), the created CdS layers were used as a buffer layer on a Mo substrate in the applied project No. FA-Atex-2018-234, "Development of a new photoelectric colorimetric device for determining the optical density of blood plasma using photosensors based on semiconductor compounds A2B6" performed at the Physical-Technical Institute of the Academy of Sciences of Uzbekistan in 2018-2020 when implementing scientific and technical tasks (reference of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan No. 2/1255-3512, December 16, 2021). The application of scientific results has improved the adhesion and photoelectric properties of the Au-ZnCdS-Mo photosensitive structure. These results made it possible to improve the sensitivity of the structure and expand the range of spectral sensitivity.

Our dissertation was applied In JSC "Foton" of JSC "Uzeltchanoat" to the method of obtaining light-absorbing materials over a wide energy range by introducing input atoms of Ba and O into semiconductor samples (Reference of

JSC “Uzeltchanoat” No. №04-3/2386 dated November 11, 2021). The application of scientific results in practice allowed to improve the electrophysical parameters of the sample sensors.

The structure and scope of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, list of references. The volume of the thesis includes 133 pages, 60 figures and 9 tables.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (чаft I; part I)

1. Kh.Kh. Boltaev, J.Sh. Sodikjanov, D.A. Tashmukhamedova, B.E. Umirzakov. Composition and structure of $Ga_{1-x}Na_xAs$ nanolayers produced near the GaAs surface by Na^+ implantation. // Technical Physics, 2017, vol. 62, iss. 12, pp. 1882-1884. (Scopus: IF = 0.786).
2. B.E. Umirzakov, D.A. Tashmukhamedova, E.M. Rabbimov, J.Sh. Sodikjanov, A. N. Urokov. Effect of ion bombardment on the density of states of valence electrons in CdS films. // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 2019, Vol. 13, No. 6, pp. 1248–1251. (Scopus: IF = 0.616).
3. J.Sh. Sodikjanov, B.E. Umirzakov. Fabrication of Cd–Ba–S Nanoscale structures on the surface and in the near-surface region of CdS films by implantation with Ba^+ Ions. // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 2021, Vol. 15, No. 2, pp. 263–266. (Scopus: IF = 0.594).
4. B.E. Umirzakov, J.Sh. Sodikjanov, D.A. Tashmukhamedova, A.A. Abduvayitov, E.M. Rabbimov. Adsorption of Ba Atoms Influences the Composition, Emission, and Optical Properties of CdS Single Crystals. // Technical Physics Letters. – 2021. – С. 1-4. (Scopus: IF = 0.714).
5. Ж. Ш. Содикжанов, Д.А. Мирзаев, М.А. Мирджалилова, Д.А. Ташмухамедова, Б.Е. Умирзаков. Влияние бомбардировки ионами Ag^+ на электронные и оптические свойства пленок CdS // УФЖ, 2019, вып 4, с.241. (01.00.00 №5)
6. Ж.Ш. Содикжанов, Б.Е. Умирзаков. Электронная спектроскопия поверхности пленок CdS имплантированных ионами Ba^+ . //“Тенденции развития современной физики полупроводников: проблемы, достижения и перспективы”. Часть II: Теоретические и экспериментальные проблемы физики полупроводников - Сборник материалов международной научно-рецензируемой онлайн конференции. // с.229-234, 28.05.2020.

II бўлим (чаft II; part II)

1. Ж.Ш.Содикжанов, Б.Е.Умирзаков. Морфология, состав и свойства пленок CdS/Mo(III). // Восьмая международная конференция по физической электронике IPES-8, 2021, Ташкент, с. 90.
2. Ж.Ш. Содикжанов, Д.А. Мирзаев, М.А. Мирджалилова, Д.А.Ташмухамедова, Б.Э. Умирзаков, А.Р. Кодиров. Влияние бомбардировки ионами Ag^+ на электронные и оптические свойства пленок CdS. “Қайта тикланувчи энергия манбалари ва барқарор атроф мухит физикаси” номли Республика илмий-амалий анжумани. Қарши-2019, 24-25-апрел, 2019-й, с. 27-28.

3. J.Sh. Sodikjanov, Z.A. Isakhanov, B.E. Umirzakov. Study of formation processes of Cd nano-phases and films on the CdS surface under ion bombardment. “Физик электроника ва фотоника” бўйича Республика анжумани. Тошкент-2019. с. 35-37.
4. Ж.Ш. Содикжанов, Б.Е. Умирзаков. Исследование профили распределения контактирующего металла вглуби пленки CdS. “Фан ва техника тараққиётида интеллектуал ёшларнинг ўрни” номи Республика илмий-техникавий анжумани. Тошкент, 25–26-апрел, 2019, с. 89-91.
5. Ж.Ш.Содикжанов, Б.Е. Умирзаков, З.А.Исаханов, Р.М. Ёркулов. Изучение эмиссионные и оптические свойства CdS при адсорбции атомов Ва. Межд. конф. ВИП-2021, Москва, 2021, С. 152-154.
6. Ж.Ш.Содикжанов, Б.Е. Умирзаков, З.А.Исаханов. Влияния имплантации ионов Ва⁺ на состав и структуры приповерхностных слоев пленок CdS // “Fotoenergetikada nanostrukturali yarimo’tkazgich materiallar” deb nomlangan xalqaro ilmiy anjumani НПМФ-2021. Ташкент, 19–20 ноября, 2021. с.
7. Ж. Ш. Содикжанов, Б.Э. Умирзаков. Получение наноразмерных структур Cd-Ва-S на поверхности CdS имплантацией ионами Ва⁺. “Физиканинг хозирги замон таълимидаги ўрни” деб номланган Республика илмий-амалий анжумани. Самарқанд-2019.
8. Ж. Ш. Содикжанов, Б.Э. Умирзаков, З.А. Исаханов. Влияние ионов Ar⁺ и Zn⁺ на электронные и оптические свойства пленок CdS. “Fotoenergetikada nanostrukturali yarimo’tkazgich materiallar” deb nomlangan xalqaro ilmiy anjumani НПМФ-2020, Ташкент, 9-10.10.2020. С. 278.
9. Ж.Ш.Содикжанов, Б.Е. Умирзаков. Изучение поверхности и приповерхностной области CdS имплантацией ионами Ва⁺. // В международная конференция "лазерные, плазменные исследования и технологии" ЛАПЛАЗ-2020. 2020 г, Москва, с. 289.

Автореферат «Тил ва адабиёт таълими» журнали таҳририятида
таҳрирдан ўтказилди.

Босишга рухсат этилди: _____ 2022 йил.
Бичими 60x84 1/8 , «Times New Roman»
гарнитурда рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табағи 2,6. Адади: 100. Буюртма: № ____

Тел: (99) 832 99 79; (97) 815 44 54

«IMPRESS MEDIA» МЧЖ босмаҳонасида чоп этилди.
Манзил: Тошкент ш., Яккасарой тумани, Қушбеги кўчаси, 6 уй.