

**ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ
ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАР ФИЗИКАСИ ВА МИКРОЭЛЕКТРОНИКА
ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.03/30.12.2019.FM/T.01.12 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**МИРЗО УЛУҒБЕК НОМИДАГИ ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ
УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАР ФИЗИКАСИ
ВА МИКРОЭЛЕКТРОНИКА ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ**

МУЗАФАРОВА СУЛТАНПАША АНВАРОВНА

**ПОЛИКРИСТАЛЛИ ЮПҚА ҚАТЛАМЛИ КАДМИЙ ТЕЛЛУРИДИ
АСОСИДАГИ ЁРУҒЛИК СЕЗУВЧИ ҚУРИЛМАЛАРНИНГ
ЭЛЕКТРОФИЗИК ВА ОПТИК ХОССАЛАРИ**

01.04.10 – Яримўтказгичлар физикаси

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc) ДИССЕРТАЦИЯСИ
АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2023

**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-mathematical sciences**

Музафарова Султанпаша Анваровна

Поликристалл юпқа катламли теллурид кадмий асосидаги ёруғлик сезувчи
курулмаларнинг электрофизик ва оптик хоссалари

3

Музафарова Султанпаша Анваровна

Электрофизические и оптические свойства фоточувствительных структур на основе
поликристаллических плёнок теллурида кадмия

29

Muzafarova Sultanpasha Anvarovna

Electrophysical and optical properties of photosensitive structures based on polycrystalline films
of cadmium telluride

55

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of publications

60

**ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ
ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАР ФИЗИКАСИ ВА МИКРОЭЛЕКТРОНИКА
ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.03/30.12.2019.FM/T.01.12 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**МИРЗО УЛУҒБЕК НОМИДАГИ ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ
УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАР ФИЗИКАСИ
ВА МИКРОЭЛЕКТРОНИКА ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ**

МУЗАФАРОВА СУЛТАНПАША АНВАРОВНА

**ПОЛИКРИСТАЛЛИ ЮПҚА ҚАТЛАМЛИ КАДМИЙ ТЕЛЛУРИДИ
АСОСИДАГИ ЁРУҒЛИК СЕЗУВЧИ ҚУРИЛМАЛАРНИНГ
ЭЛЕКТРОФИЗИК ВА ОПТИК ХОССАЛАРИ**

01.04.10 – Яримўтказгичлар физикаси

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc) ДИССЕРТАЦИЯСИ
АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2023

Физика-математика фанлари фан доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссияси В2021.1.DSc/FM175 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги Яримўтказгичлар физикаси ва микроэлектроника илмий-тадқиқот институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) илмий кенгашнинг веб-саҳифасида (www.ispm.uz) ва «Ziyonet» ахборот-таълим порталида (www.zivonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий маслаҳатчи:	Утамурадова Шарифа Бекмурадовна физика-математика фанлари доктори, профессор
Расмий оппонентлар:	Зайнабидинов Сирожиддин Зайнабиддинович физика-математика фанлари доктори, профессор, ЎзР ФА академиги Отажонов Салимжон Мидрахимович физика-математика фанлари доктори, профессор Даулетмуратов Борибай Коптлеувович физика-математика фанлари доктори, доцент
Етакчи ташкилот:	Наманган муҳандислик-технология институти

Диссертация ҳимояси Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги Яримўтказгичлар физикаси ва микроэлектроника илмий-тадқиқот институти ҳузуридаги илмий даражалар берувчи DSc.03/30.12.2019.FM/T.01.12 рақамли Илмий кенгашнинг 2023 йил «18» 03 соат 10⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади (Манзил: 100057, Ўзбекистон, Тошкент шаҳри, Янги Олмазор кўчаси, 20-уй. Тел. (99871) 248-79-94, факс: (99871) 248-79-92, e-mail: info@ispm.uz, ЎЗМУ қошидаги ЯФМ ИТИ мажлислар зали).

Диссертация билан Рақамли таълим технологиялари вазирлиги жорий этиш бўлимида танишиш мумкин (42 рақам билан рўйхатга олинган) (Манзил: 100057, Ўзбекистон, Тошкент шаҳри, Янги Олмазор кўчаси, 20-уй. Тел.(99871) 248-79-94, e-mail: info@ispm.uz).

Диссертация автореферати 2023 йил «04» 03 куни тарқатилди. (2023 йил «04» 03 даги 42 рақамли расми Бажномаси).



А.Т.Мамадалимов
Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш
раиси уринбосари, ф.-м.ф.д., академик

Ж.Ж.Хамдамов
Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш
илмий котиби, PhD, к.и.х.

Н.Тургунов
Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш
қошидаги илмий семинар раиси,
ф.-м.ф. д., доцент

КИРИШ (докторлик(DSc)диссертациясининг аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти. Жаҳонда кечаётган бугунги замонавий илмий-техникавий ўзгаришлар бевосита қаттиқ жисмлар ва яримўтказгичлар физикасидаги ютуқларга асосланган электрониканинг ривожини билан алоқадор. Ҳозирги вақтда юпқа қатлам технологияси замонавий микро ва наноэлектроника соҳасидаги юқори талаблар билан боғлиқ ҳолда катта аҳамиятга эга бўлди. Ушбу йўналишнинг ривожланиши замонавий технологияларда объектларни фаол ёки пассив аниқлаш учун ҳам, оптик алоқа тизимлари, телеметрия ва бошқа жуда кўп турли хил иловаларни яратиш учун оптик сигналлардан кенг фойдаланишнинг амалий эҳтиёжларини қондиради. Алоҳида, қуёш энергиясини электр энергиясига айлантириш тизимларининг бутун дунё бўйлаб жадал ривожланишини алоҳида таъкидлаш керак. Шу муносабат билан уларнинг қаршилигини башорат қилиш усулларини топиш ва фотодетекторлар ва фотоконверторларнинг кучли ёруғлик таъсири, радиация, юқори ҳарорат ва бошқа ташқи омиллар каби ташқи таъсирлар остида ишлаш чидамлилигини таъминлаш муаммоларини ҳал этишда муҳим аҳамият касб этади.

Сўнгги йилларда дунё миқёсида $A^{2}B^{6}$ бирикмалари асосидаги бошқа яримўтказгич қурилмалар билан бир қаторда яримўтказгич технологиясида кремний ва галлий арсенидлари билан бирга кадмий теллурид бирикмасининг технологик ва кимёвий-физик хусусиятларига қизиқиш ортди. Хусусан CdTe эриш ҳароратининг нисбатан пастлиги ва CdTe компонентларининг буг босими n- ёки p- типидagi ўтказувчанлик ва заряд ташувчилар концентрацияси $10^{16} \div 10^{18} \text{см}^{-3}$ диапазолида бўлган моно- ва поликристалл структурали CdTe бирикмаларини тайёрлашнинг турли усулларини қўллаш имконини беради.

Республикамизда ушбу соҳа бўйича поликристалл юпқа қатламли теллурид кадмий асосидаги структуралар олиш технологиясига, шунингдек яримўтказгич материаллар ва улар асосидаги асбоблар структураларининг хусусиятларини комплекс ўрганиш борасида муайян натижаларга эришилмоқда. Арзон, осон бошқариладиган технология билан керакли физик ва оптик параметрларни таъминлайдиган юпқа CdTe поликристалларини ҳосил қилиш техникасини танлаш ва ишлаб чиқиш ва улар асосида ташқи таъсирларга чидамли, барқарор чиқиш иш параметрларига эга бўлган қурилма фотоэлектрик структураларини яратиш муаммолари долзарб масалалардан биридир. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида «... мутлақо янги турдаги маҳсулотлар ва технологияларни ишлаб чиқаришни ўзлаштириш, шу асосда маҳаллий товарларнинг ташқи ва ички бозорларда рақобатбардошлигини таъминлаш»¹ вазибалари белгиланган. Мазкур йўналишда микроэлектроника қурилмаларини ишлаб чиқариш учун зарур электрофизик хусусиятларга эга

¹ Ўзбекистон Республикасининг сонли қарори. ПҚ-5032 йил 19 мартдаги 2021-сонли "Таълим сифатини ошириш ва физика соҳасида илмий тадқиқотларни такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида".

бўлган янги яримўтказгич материаллар - қаттиқ қоришмаларни яратиш муҳим илмий аҳамият касб этади.

Ушбу диссертация тадқиқоти Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2021 йил 19 мартдаги "Таълим сифатини ошириш ва физика соҳасида илмий тадқиқотларни такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида" ги ПҚ-5032-сон қарори ва Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2021 йил 12 октябрдаги "Муқобил энергетика, электротехника ва микроэлектроникани ривожлантириш, яримўтказгичлар физикаси соҳасидаги тадқиқотлар самарадорлигини оширишни давлат томонидан қўллаб-қувватлаш, шунингдек, Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги Яримўтказгичлар физикаси ва микроэлектроника илмий-тадқиқот институтини мустаҳкамлаш чора-тадбирлари тўғрисида" ги 639-сон қарорларида кўзда тутилган вазифаларни бажаришга маълум даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялар ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг III. «Энергия, энергия ресурсларини тежаш, транспорт, машинасозлик ва асбобсозлик; замонавий электроника, микроэлектроника, фотоника, электрон асбобсозликни ривожлантириш» устувор йўналишларига мувофиқ бажарилган.

Диссертация мавзуси бўйича ҳорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи¹. Ҳозирги вақтда Шоттки тўсиқ, турли кўп қатламли структуралар (яримўтказгич-диэлектрик-яримўтказгич, металл-диэлектрик – яримўтказгич) ва гетероструктуралар материалларининг физик-кимёвий хоссалари тадқиқотлари бир қатор илмий марказлари ва университетларида, институтлар ва хусусан дунёнинг етакчи мамлакатлари университетлари: А.Ф.Иоффе номидаги Физика-техника институти, Россия ФА Микроструктуралар физикаси институти (Россия) Фотоника ва нанотехнологиялар институти, Каунас политехника институтлари (Литва), Яримўтказгичлар физикаси институти (Украина),

Электроника ва амалий физика институти, Миллий қайта тикланадиган энергия лабораторияси, Жоржия технология институти, Америка физика институти (АҚШ), Физика факультети Тайз университети (Яман республикаси), Фан ва технология университети, Хартум (Судан Республикаси), Тиркит университети (Ироқ), Жилин университети, Чангчун,

¹ Диссертация мавзусига доир халқаро илмий тадқиқотларнинг таҳлили қуйидаги манбалар асосида амалга оширилган: M.Singh and others. "Ecient Autonomous Solar Panel and Thermo-Electric Generator (TEG) Integrated Hybrid Energy Harvesting System". 2016 Progress In Electromagnetic Research Symposium (PIERS), Shanghai, China, 8–11 August; S.A.Ahmad and others. "Efficiency Improvement of Photovoltaic Module by Thermo Electric Generator". NFC-IEFR Journal of Engineering & Scientific Research. DOI:10.24081/nijrsr.2017.1.0011; B.S.Dallan et al. "Performance evaluation of a photoelectric–thermoelectric cogeneration hybrid system". Solar Energy 118 (2015) 276–285.; J.Chen et al. "Photovoltaic Generation Solar Automatic Tracking System". IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 170 (2018) 042029 doi:10.1088/1755-1315/170/4/042029 DOI 10.1016/j. solener. 2015.05.034. <https://www.scopus.com>, <https://scholar.google.com>, <https://www.ieee.org>, www.sciencedirect.com, www.springerlink.com, www.elsevier.com, www.nature.com, www.oxfordjournals.org, www.sciencemag.org, www.northcarolina.edu, www.umb.edu, www.osu.edu, www.stonybrook.edu, www.bw.edu, www.msu.ru Research Symposium (PIERS), Shanghai, China, 8–11 August; S.A.Ahmad and others. "Efficiency Improvement of Photovoltaic Module by Thermo Electric Generator". NFC-IEFR Journal of Engineering & Scientific Research. DOI:10.24081/nijrsr.2017.1.0011; B.S.Dallan et al. "Performance evaluation of a photoelectric–thermoelectric cogeneration hybrid system". Solar Energy 118 (2015) 276–285.; J.Chen et al. "Photovoltaic Generation Solar Automatic Tracking System". IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 170 (2018) 042029 doi:10.1088/1755-1315/170/4/042029 DOI 10.1016/j. solener. 2015.05.034. <https://www.scopus.com>, <https://scholar.google.com>, <https://www.ieee.org>.

(Хитой), Дакка муханқдислик ва технология университети (Бангладеш), Қуёш энергияси тадқиқод институти, Кебангсаан (Малайзия), Кристалл ўсиши механизмларини ўрганиш Маркази (Франция) ва бошқаларда амалга оширилади.

Вильнюс университети профессори Юазас Вайткус бошчилигида фотоионизация ва иссиқлик эмиссияси доирасида изчил ишлайдиган чуқур (йирик ва сирт) тузоқларнинг спектрларини қайд этиш орқали юпқа қатламли кадмий теллурид ($CdTe$) гетероструктураларини ҳар томонлама тавсифлаш учун намуна тайёрлаш ва ўлчаш усулларини бирлаштириш методологияси жараёнлари ўрганилди. Даниел Жоселл ва бошқалар (АҚШ) дифференциалланган ойнасиз $CdS/CdTe$ гетероструктураларини аниқладилар. Кристалл ўсиши механизмларини ўрганиш маркази (Франция), Georgia Institute of Technology, America Physics Institute (АҚШ)да кристалларни ўсиш механизмларини аниқлаш бўйича узлуксиз тадқиқод қилинмоқда. Муаллифлар Муҳаммад А.Раззоқи ва бошқалар $CdCl_2$ иссиқлик билан ишлов беришнинг термал буғланиш йўли билан яратилган $CdTe/CdS$ фотоволтаик гетеробуғланиш хусусиятларига таъсирини ўргандилар (Ироқ). Генқианг Чжан бошчилигида термал буғланиш орқали яратилган поликристалл асосидаги $CdTe$ гетероконструкцияси асосида Қуёш элементлари ишлаб чиқилган (Хитой). Қуёш энергияси тадқиқот институтидан Ҳоссаин ва бошқалар (Малайзия), AMPS-1D дастуридан фойдаланган ҳолда кадмий теллурид қуёш батареясининг ишлашини стимуляция қилиб, серияли узлуксиз ишлаб чиқишга жорий этилди.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Ёруғлик сезувчи фотоқурилмалар, фотодетекторлар ва гетероструктурали қуёш элементларини яратишда кадмий теллуридли юпқа қатламли структуралар кенг қўлланилади. Покистонлик олим Н. Аббос Шоҳ томонидан кичик донали поликристалли кадмий теллуридга асосланган қуёш элементлари тадқиқ қилинди. Италиялик олимлар Алессио Босио, Алессандро Ромео, шунингдек Германиялик Дитер Боннлар томонидан эса поликристалли кадмий теллурид асосидаги структуралар фотовольтаикаси ўрганилди.

Шуни таъкидлаш керакки, Шоттки тўсиққа эга бўлган монокристалли қуйма кристалларда поликристалли кадмий теллурид билан бир қаторда япон олими Т.Такахашини томонидан юқори аниқликдаги нурланишли рентген ва гамма детекторлари ишлаб чиқилган. Шунингдек, украиналик олим Л.А. Косяченко томонидан қаршилиги $\rho=2.4 \cdot 10^9$ Ом·см ва никелдан ясалган ички контактга эга бўлган хусусий ўтказувчанликка эга бўлган сирт тўсиқ структуралари ишлаб чиқилган бўлиб, бу қисқа тўлқинли инфракизил нурланишни қайд этиш имконини берди. В.Ф. Дворянкин томонидан кадмий теллуридга индий диффузияси натижасида олинган р-п-ўтишга эга рентген детекторлари ишлаб чиқарилган.

Узоқ йиллар давомида мамлакатимизда илк бор Ўзбекистон Миллий университетида таниқли физик олимлари Х.Т.Ақромов, Б.Йўлдошев, А. Саидхоновлар раҳбарлигида фотосезгир юпқа қатламлар ва уларнинг конструкциялари яратилган. Профессор А.Т.Тешабоев ва унинг шогирдлари кремний ва турли яримўтказгичли бирикмалардаги жараёнларни

назарий ҳисобларини қилишган. Академик Р.А.Мўминов раҳбарлигида яримўтказгич бирикмаларининг турли компонентлари асосида фотосенсорлар, фотодетекторлар яратилган. Академиклар М.К.Бахадирхонов, А.Т.Мамадалимов, С.З.Зайнобиддинов, профессор К.П.Абдурахмоновлар томонидан яримўтказгичлар физикаси соҳасида қатор илмий тадқиқот ишлари олиб борилган.

Кейинги йилларда профессорлар Ш.А.Мирсағатов ва Т.М.Разиқов томонидан асосан A^2B^6 бирикмаларига оид илмий ишлар кенг кўламда амалга оширилди ва уларнинг асосидаги фотоэлектрик қурилмалар ҳозирги кунда ҳам ўз кучини йўқотмай, катта қизиқиш билан давом эттирилмоқда. Шу билан бирга, бугунги кунга келиб, кадмий теллурид юпқа қатламларини осон бошқариладиган, арзон технология билан ўстириш, технологик параметрларни оптималлаштириш ва улар асосида Шоттки тўсиқ, ЯДЯ ва МДЯ, мос келадиган фотовольтаик структураларни яратиш технологияси бўйича тадқиқотлар олиб борилмоқда. ЯДЯ гетероструктуралар, шунингдек, уларнинг чидамлилигини ошириш, яхшилانган операцион параметрлари билан хизмат қилиш муддатини таъминлаш йўллари аниқлаш мақсадида электрофизик ва оптик хусусиятларни ўрганиш ҳам илмий, ҳам амалий қизиқиш уйғотади.

Кадмий теллуриднинг поликристалл юпқа қатламлари асосидаги гетероструктурага эга бўлган Шоттки тўсиқлари, яримўтказгич-изолятор-яримўтказгич, металл-изолятор-яримўтказгич ва қуёш элементлари каби фотосезгир структураларни ишлаб чиқариш имкониятлари узоқ муддатли хизматини таъминлайдиган технологик жараёнлар билан боғлиқ ҳолда тўлиқ ўрганилмаган бўлиб, уларнинг параметрларини аниқлаш билан боғлиқ муаммолар мавжуд.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги.

Диссертация тадқиқоти Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги Яримўтказгичлар физикаси ва микроэлектроника илмий-тадқиқот институти илмий кенгашида тасдиқланган дастур (2019-2021йй.), институтининг илмий-тадқиқот лойиҳалари, Ўзбекистон Республикаси Инновацион ривожланиш вазирлиги томонидан ажратилган грантларнинг тематик режаларига мувофиқ амалга оширилган: А-3-116+А-4-30-рақамли «Радиацияга юқори барқарор легирланган кремний ва кремнийли диод структураларни олиш технологиясини ва кремнийли қуёш элементларининг фотосезгирлигини ошириш усулларини ишлаб чиқиш» (2015-2017 йй.) ва ОТ-Ф2-11 рақамли “d-элементлар қириндилари билан легирланган кремнийнинг сирт қатламларида ва ҳажмида наноўлчамли нуксонларнинг шаклланиш қонуниятларини тадқиқ этиш” (2017-2020 йй.)

Тадқиқотнинг мақсади Юпқа қатламли поликристалли CdTe плёнкалар ва улар асосидаги кўп қатламли фотосезгир қурилмаларнинг электрофизик ва оптик хусусиятларини тадқиқ қилиш ҳамда уларни янги қаттиқ жисми электрон қурилмаларда фойдаланиш бўйича тавсиялар ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

кадмий теллуридини олиш технологиясини ва юпқа қатламларни шакллантиришнинг оптимал режимларини ишлаб чиқиш;

CdTe асосида фотосезгир Шоттки тўсиқлари, металл-диэлектрик-яримўтказгич, яримўтказгич-диэлектрик-яримўтказгич, металл-оксид-яримўтказгич структуралари ва CdTe/CdS гетероструктураларни яратишнинг оптимал технологик шароитларини аниқлаш;

Шоттки тўсиқлари (Au-nCdTe-Mo), металл-диэлектрик-яримўтказгич, яримўтказгич-диэлектрик-яримўтказгич, металл-оксид-яримўтказгич структуралари ва CdTe/CdS-гетероструктуралари каби фотосезгир структураларнинг электрофизик ва фотоэлектрик хоссаларини тадқиқ этиш;

кадмий теллурид асосидаги Шоттки тўсиқлари, металл-диэлектрик-яримўтказгич, яримўтказгич-диэлектрик-яримўтказгич, металл-оксид-яримўтказгич структуралари ва CdTe/CdS гетероструктураларининг хоссаларига ташқи таъсирларнинг ўзига хос хусусиятларини тадқиқ этиш;

металл-яримўтказгич, яримўтказгич-яримўтказгич бўлиниш чегаралари ва Шоттки тўсиқларининг, металл-диэлектрик-яримўтказгич, яримўтказгич-диэлектрик-яримўтказгич структуралари ва CdTe/CdS гетероструктураларини ўтиш қатламларнинг тузилиши ва таркибини аниқлаш;

ёруғликка сезгир Шоттки тўсиқлари, металл-диэлектрик-яримўтказгич, яримўтказгич-диэлектрик-яримўтказгич, металл-оксид-яримўтказгич структуралари ва CdTe/CdS гетероструктураларининг энергия майдонининг зона диаграммасини қуриш;

кадмий теллуридининг юпқа қатлами асосида янги электрон қурилмалар - фотодетектор ва фотоконвекторларни яратиш бўйича тавсиялар ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти - поликристалли кадмий теллуриди, CdTe асосидаги Шоттки тўсиқлари, металл-диэлектрик-яримўтказгич, яримўтказгич-диэлектрик-яримўтказгич, металл-оксид-яримўтказгич структуралари ва CdTe/CdS гетероструктуралар.

Тадқиқотнинг предмети - яримўтказгичли структураларнинг вольт-ампер, вольт-фарада, фотоэлектрик характеристикалари, яримўтказгичли металл-молибден оксидларини ва кадмий теллуридини юпқа қатлами сиртидаги фазалараро ўтиш хоссалари.

Тадқиқот усуллари - рентген дифрактометрияси усуллари (ДРОН-3М, CuKa нурланиш $\lambda=0.15418$ нм), рентгенли микроанализ, ОЖЕ спектроскопияси, нейтрон активацияси таҳлили, шунингдек фотоэлектрик ва электр тадқиқот усуллари.

Тадқиқотнинг илмий янгилigi қуйидагилардан иборат :

Илк бор водород оқимида газни ташиш реакцияси орқали оптимал чиқиш параметрларига эга поликристалли CdTe нинг юпқа қатламларини олиш технологияси ишлаб чиқилган ва CdTe плёнкасининг ўсиш тезлиги буғланиш манбаи T_6 ва таглиги ҳароратига T_T ҳамда ташувчи газ (водород) оқим тезлигига v боғлиқлиги аниқланган;

плёнканинг оптимал ўсиш режимида ($T_n = 950$ °C $T_n = 620$ °C ва $x = 2$ л/с) катта донали, биржинсли ва мукамал, ўлчами 20÷60 микрон ва

солиштирма қаршилиги қиймати 10^4 Ом·см га эга бўлган CdTe қатлами ҳосил бўлиши кўрсатилган;

кадмий теллурид асосидаги металл-диэлектрик-яримўтказгич, яримўтказгич-диэлектрик-яримўтказгич, металл-оксид-яримўтказгич структуралари ва CdTe/CdS гетероструктураларни ишлаб чиқишнинг технологик режимлари CdTe плёнкалари сиртига кенг зонали SnO₂, In₂O₃, ITO, CdO яримўтказгич оксидларини хона ҳароратида магнетрон ионли пуркаш орқали оптималлаштирган;

SnO₂, In₂O₃, ITO, CdO шаффоф қатламлари ва поликристалли CdTe қатлами ўртасидаги бўлиниш чегарасида ҳосил бўлаётган қалинлиги $d = 20 \div 50$ Å га тенг бўлган TeO₂ диэлектрик қатлами тақиқланган зона кенглиги $E_g = (1.92 \div 3.68)$ эВ ва панжара доимийси $a = 4.87$ Å тенг р-типли яримўтказгич эканлиги илк бор аниқланган;

CdTe плёнкалари сиртига кадмий сульфидининг буфер қатламини вакуумда квазиёпиқ ҳажмда, таглик ҳарорати $T_T = 300$ °C да буғлантириш CdS_xTe_{1-x} нинг юқори компенсацияланган катта қаршиликли ($10^8 \div 10^9$) Ом·см ва CdTe/CdS гетероўтиш чегарасида CdTe ва CdS қатламларининг кристалли панжараси параметрларидаги номувофиқликларни бартараф этишга имкон берадиган ўтиш қатлами шаклланишига олиб келиши аниқланган;

pCdTe-TeO₂ нинг бўлиниш чегарасидаги потенциал чуқурда асосий бўлмаган заряд ташувчиларни тўплаш, бўлиниш чегарасидаги сирт ҳолатларига тушириш ва қалинлиги $30 \div 50$ Å га тенг TeO₂ диэлектрик қатламни потенциал тўсиқ орқали тунелланишдан иборат pCdTe асосидаги металл-диэлектрик-яримўтказгич структураларда токнинг оқиш механизми илк бор аниқланган;

γ - нурланиш таъсирида нурланиш дозаси ошиши билан асосий бўлмаган заряд ташувчиларнинг яшаш вақти $\tau \approx 10^{-6} \div 10^{-8}$ с номонотон равишда ўзгариши ва юқори қаршиликли оралик қатлам қалинлиги структура чегарасида кенгайиши ($d \approx 2.62 \div 7.2$ μm) туфайли Шоттки тўсиқлари, металл-диэлектрик-яримўтказгич, яримўтказгич-диэлектрик-яримўтказгич, металл-оксид-яримўтказгич структуралари ва CdTe/CdS асосидаги гетероструктураларининг чиқиш характеристикалари номонотон равишда ўзгариши аниқланган;

олинган фотосезгир Шоттки тўсиқлари, металл-диэлектрик-яримўтказгич, яримўтказгич-диэлектрик-яримўтказгич, металл-оксид-яримўтказгич структуралари ва CdTe/CdS гетероструктураларнинг энергетик зона диаграммаси илк бор қурилган;

поликристалли CdTe, Шоттки тўсиқлар, металл-диэлектрик-яримўтказгич, яримўтказгич-диэлектрик-яримўтказгич, металл-оксид-яримўтказгич структуралари ва CdTe/CdS гетероўтишлар асосида узоқ хизмат қилиш муддатига эга оптоэлектрон қурилмаларда ишлатиш учун мўлжалланган янги термостабил, фотосезгир фотоқабулқилгичлар ва фотоайлантиргичларни яратиш бўйича тавсиялар ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилар қуйидагилардан иборат:

водород оқимида газ ташиш реакцияси, магнетрон ион пуркаш ва вакуумда ўсиш усуллари билан оптимал чиқиш параметрларига эга поликристалл CdTe юпқа қатламларини ишлаб чиқариш технологияси ишлаб чиқилган;

барьера Шоттки тўсиғи, металл-диэлектрик-яримўтказгич, яримўтказгич-диэлектрик-яримўтказгич, металл-оксид-яримўтказгич структуралари и CdTe/CdS гетероструктуралари асосида фотосезгир тузилмаларни яратишнинг технологик режимлари ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги рентген дифрактометрияси (Дрон-3М, CuKa нурланиши $\lambda = 0.15418$ нм), рентген микроанализ, ОЖЕ спектроскопияси, нейтрон активацияси таҳлили, шунингдек юқори сезувчанликка ва юқори пикселга эга фотоэлектрик ва электр тадқиқот усуллари, яхши такрорий натижаларни турли усуллар билан олинганлиги билан асосланган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти Шоттки тўсиқлари, металл-диэлектрик-яримўтказгич, яримўтказгич-диэлектрик-яримўтказгич, металл-оксид-яримўтказгич структуралари ва CdTe/CdS гетероструктуралари билан металл - CdTe, CdTe - яримўтказгич оксидлари, яримўтказгич - CdTe -CdS яримўтказгичлари орасидаги оралиқ ўтиш қатлами сифатида яримўтказгичли курилмалар ҳақидаги ғояларни кенгайтиришдан иборат.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти шундан иборатки, спектрал сезгирлиги 0,25-0,80 мкм бўлган CdTe ва CdS юпқа қатламлари асосида самарали фотосезгирликка эга бўлган бир қатор янги электрон курилмалар-фотодетекторлар, спектрнинг ултрабинафша соҳаси учун фотоконверторлар ишлаб чиқилган. металл-диэлектрик-яримўтказгич, яримўтказгич-диэлектрик-яримўтказгич, CdTe/CdS поликристалли юпқа қатламлар асосида куёш элементлари, фотодетекторлар, фототранзисторлар ишлаб чиқиш бўйича тавсиялар ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Юпқа қатламли поликристалли CdTe плёнчалари ва уларга асосланган кўп қатламли нурга сезгир тузилмаларнинг электрофизик ва оптик хусусиятларини ўрганиш натижалари, шунингдек уларни янги қаттиқ ҳолатдаги электрон курилмаларда ишлатиш бўйича тавсиялар ишлаб чиқиш асосида:

молибден тагликда олинган CdTe/CdS гетероструктураларида Мо ва CdTe чегарасида молибден диоксиди шаклланиши аниқланган, ҳамда ушбу қатлам структуранинг ёруғликни ютиш самарадорлигига ижобий таъсир этиши кўрсатилган бўлиб, диссертация ишида таклиф этилган молибден диоксидини шакилланиш технологик режимларидан Б.А.Эргашев раҳбарлигида 2018-2019 йилларда бажарилган ЁФА-Атех-2018-205 «CdS_xTe_{1-x} юпқа қатлами асосидаги сараловчи фотоқаршиликларни ишлаб чиқиш» мавзусини бажаришда қўлланилган (ЎЗР ФА нинг 2022 йил 1 февралдаги №01-54-сон маълумотномаси). Илмий натижалардан фойдаланиш молибден тагликка ўстирилган CdS_xTe_{1-x} поликристалл юпқа қатламлари асосида фотоқаршиликлар олишда юпқа қатлам ва молибден чегарасида молибден диоксидини шакиллантиришда ва шу аснода структуранинг фотоэлектрик

хоссаларини яхишлашга эришилган. Натажада ушбу материаллар асосида юқори фотосезгирликка эга солиштирма электр каршилиги 10^6 (Ом·см) дан 10^{10} (Ом см) гача оралиқда ўзгарувчи фотоқаршилиқлар олишга эришилган.

Шоттки тўсиқ типидagi тузилмалар асосидagi оптик қабул қилувчи датчиклар (Au-nCdTe-Mo), металл-диэлектрик-яримўтказгич, яримўтказгич-диэлектрик-яримўтказгич, металл-оксид-яримўтказгич, CdTe/CdS гетероструктуралари асосида тайёрланган $-20 \div 85^{\circ}\text{C}$ температура шароитида 0,40 - 0,95 микрон спектрал хусусиятларга эга датчиклар “ФОТОН” АЖ да қўлланилган (“Uzeltexsanoat” нинг 2022 йил 9 февралдаги №04-3/251-сон маълумотномаси). Илмий натижалардан фойдаланиш “ФОТОН” АЖ да ишлаб чиқарилаётган микроэлектрон қурилмаларида узоқ муддатли узлуксиз ишлашга бардошлигини таъминлаган ҳамда бу тузилмалар ГОСТ талабларига тўлиқ мос келишини тасдиқлаш имконини берган.

MoO₃ оксиди бўлган CdTe бирикмаси қурилма конструкцияларида ёруғликни ютиш самарадорлигига ижобий таъсир кўрсатиши ва бу жараён Мо таглик ва CdTe плёнкаларини ҳосил қилиш жараёнида ягона технологик циклда содир бўлиши каби илмий янгиликлардан Г.Гулямов раҳбарлигида 2017-2020 йилларда бажарилган ОТ-Ф-2-70 рақамли “Кучли электромагнит майдондаги наноўлчамли яримўтказгич параметрларига ҳарорат, деформация ва ёруғликнинг таъсири” мавзусини бажаришда қўлланилган (Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 2022 йил февралдаги маълумотномаси). Илмий натижалардан фойдаланиш Шоттки тўсиқли тузилмалар ва гетероструктураларининг ВАХ ни ҳароратга боғлиқлигини аниқлаш имкони берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Диссертация иши натижалари 25 та халқаро ва 17 та республика илмий-амалий анжуманларида маъруза қилинган ва муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича асосий натижалар 56 та илмий ишда, жумладан 18 та мақола диссертация ишларининг асосий илмий натижаларини нащр этиш учун Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссияси томонидан тавсия этилган илмий журналларда чоп этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, бешта боб, хулоса, 81 та расм, 39 та жадвал билан 200 бетда баён қилинган бўлиб, 141 та фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати асосланган, республикадаги фан ва техника тараққиётининг асосий устувор йўналишлари билан тадқиқотларнинг ўзаро боғлиқлиги аниқланган, диссертация мавзуси бўйича илмий изланишларга умумий нуқтаи назарни, муаммонинг ўрганилиш даражасини, мақсад ва вазифаларни шакллантиради, объектлар, мавзулар ва тадқиқот усулларини аниқлайди ҳамда илмий баён қилади. Тадқиқотнинг янгилиги, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланди, уларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиб берилди,

натижаларнинг бажарилиши ва ишнинг апробацияси ҳақида қисқача маълумотлар, шунингдек диссертация ҳажми ва тузилиши келтирилган.

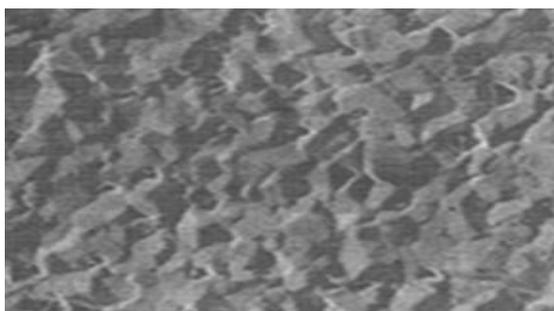
"CdTe қатламларини олиш технологияси ва улар асосида фотосезгир қурилмаларни яратиш" га асосланган биринчи бобида халкогенид бирикмаларининг ярим ўтказгич юпқа қатламларини яратиш усули, технологик параметрларнинг ядроланиш, морфология, структураларнинг стехиометриясига таъсири бўйича адабиётлар шарҳи берилган ва юпқа қатламларнинг асосий параметрларига ташқи таъсирлар ўрганилган. Замонавий илм-фанда CdTe кадмий теллурид бирикмаси микро ва радиоэлектроникада, қуёш энергиясида етакчи ўринлардан бирини эгаллайди.

Осон бошқариладиган технология ёрдамида керакли физик ва оптик параметрларга эга юпқа CdTe поликристалларини етиштириш услубини танлаш ва яратиш жараёнини ишлаб чиқиш яримўтказгичлар технологиясининг муҳим муаммоси ҳисобланади.

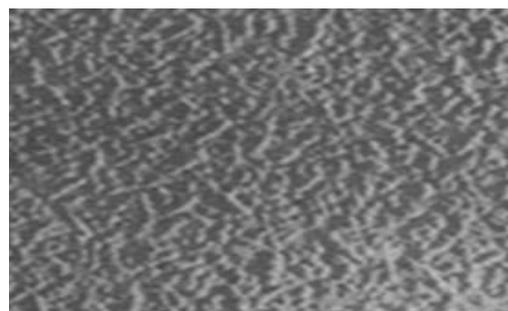
Адабиёт маълумотларининг таҳлили шуни кўрсатадики, асосий материал асосида кадмий теллуридни яратиш ва фотоэлектрик ва электрофизик хусусиятларни ҳар томонлама ўрганиш, Шоттки тўсиқлари, металл-диэлектрик-яримўтказгич, яримўтказгич-диэлектрик-яримўтказгич, металл-оксид-яримўтказгич структуралари яратилган қурилма структураларида ўтиш оралиқ қатламларининг хусусиятларини аниқлаш, металл-диэлектрик-яримўтказгич, яримўтка-згич-диэлектрик-яримўтказгич, металл-оксид-яримўтказгич структуралари ва гетероўтишларда илмий жиҳатдан жуда қизик. Ушбу йўналишдаги сўнгги йиллардаги адабиёт маълумотларини таҳлил қилиш поликристалл таркибидаги структураларнинг мукамаллиги, ядроланиш, ностехиометрийлиги, юпқа қатламларда нуқсонларга олиб келадиган билимларнинг етишмаслигини кўрсатади. CdTe поликристалли ва конструкциялари, чиқиш параметрлари бўйича барқарор бўлган фотоэлектрик қурилма конструкцияларини яратиш йўлларида асосий ташқи омилларнинг параметр хусусиятларига таъсирини ўрганиш.

Иккинчи боб **"CdTe юпқа қатламларни олиш усуллари ва электрофизик ва оптик хусусиятларини тадқиқод қилиш"** мавзусида квази-ёпиқ тизимда вакуумда ўстириш йўли билан кадмий теллурид юпқа қатламларини тайёрлашга, CdTe юпқа қатламларини газ ташиш усулига бағишланган водород оқимида етиштириш ва магнетрон ионларининг инерт аргон газ тизимида пуркалиши, улар асосида бир қатор фотосезгир қурилмаларни Шоттки тўсиқли металл-диэлектрик-яримўтказгич, яримўтка-згич-диэлектрик-яримўтказгич, металл-оксид-яримўтказгич структуралари ва гетероструктуралар CdTe/CdS яратилди. Электр ва оптик хусусиятлари тадқиқоти, рентген нурлари диффракцияси таҳлилилари ўтказилди. CdTe юпқа қатламлари структураларининг ҳақиқий таркиби ОЖЕ спектрометрия ва нейтрон фаоллаштириш таҳлили (НАА) томонидан аниқланган. CdTe юпқа қатламларининг қурилмавий морфологияси тадқиқотлари ҳам ўтказилди. Конденсатнинг буғ босими P_{Cd}/P_{Te} ва ҳароратнинг ($T_{манбаи}/T_{сувл.}$) электрофизик ва фотоэлектрик хусусиятларига таъсири ҳисобланди. $T_{п} = 150^{\circ}C$ гача паст ҳароратларда вакуум билан олинган кадмий теллурид тадқиқотлари

сифатида нисбатан юқори қаршилик $\geq 3 \times 10^9$ Ом·см, нисбатан юқори қаршиликка эришилди.



(а)



(б)

1-расм. $T_{\text{п}} = 150$ °С ҳароратда ва $T_{\text{п}} = 300 \div 320$ °С ҳароратда квази ёпиқ тизимда вакуумли буғланиш орқали ўстирилган CdTe қатламлари

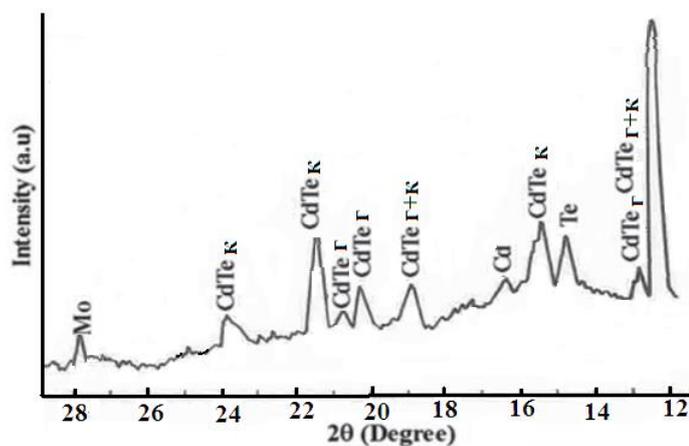
Ҳарорати $T_{\text{п}} \leq 150$ °С га яқин юпқа қатламлар ва ҳар икки томондан силлик кўринишда бўлиб, Мо тагликка ёпишиш даражаси қониқарли. Юқори ҳароратлар $T_{\text{п}} = 300 \div 320$ °С да юпқа қатлам юзасидан кадмий Cd атомларнинг қайта учиб чиқиб кетиши туфайли юпқа қатлам юзаси хира кўриниш шаклини ола бошлайди.

Водород оқимида газ транспорт усули томонидан етиштирилган pCdTe юпқа қатламларнинг қаршилиги $\rho \approx 10^5 \div 10^7$ Ω·см ва $\tau = 10^{-7} \div 10^{-6}$ с p CdTe юпқа қатламларининг қалинлиги ~ 30 микрон бўлиб, поликристалл pCdTe нинг донача кристаллари ўлчамлари 100 дан 150 мкм гача ўлчамда юпқа қатламнинг бутун қалинлигини деярли қоплайди.

Магнетрон-ионли пуркаш-МСИР, CdTe усули билан олинган юпқа қатламлар Мо молибден тагликка яхши ёпишган бўлиб, CdTe қаршилиги $R \sim 10^3$ Ом·см, $S = 2 \cdot 10^{-2}$ см², $d \sim 3 \cdot 10^{-4}$ см, $\rho_T \sim 6 \cdot 10^4$ Ом·см ташкил этади.

Барча намуналарнинг рентген нурланишининг диффракция, чўққилари $2\theta = 21,40^\circ$ бўлган кўшни (111) қирралари аниқланди. Шу каби чизиклар вакуумли сублимация билан бириктирилган поликристалли CdTe юпқа қатламларида топилган. Ушбу чизиклар юпқа қатламларда соф Cd ва Те мавжудлигига тўғри келмаслиги сабабли, уларни барча A^2B^6 бирикмаларига хос бўлган политипизмга боғлаш мумкин. Олинган натижаларга асосланиб, тахмин қилиш мумкинки, CdTe юпқа қатламларини синтез қилиш жараёнида тагликнинг оптимал ҳарорат режими $T_{\text{п}} < 700$ °С га мос келиши керак.

Бу ҳароратда кристаллитлар доналарнинг ҳажми $T_{\text{п}} = 640$ °С \div 660 °С ва $T_{\text{п}} \geq 740$ °С да синтезланган юпқа қатламлардан анча катта бўлиб, $T_{\text{п}} = 700$ °С да кристаллит ҳажми $30 \div 70$ микрон оралиғида ўзгаради.



2-расм. nCdTe юпка қатламнинг рентген нурлари диффракцияси

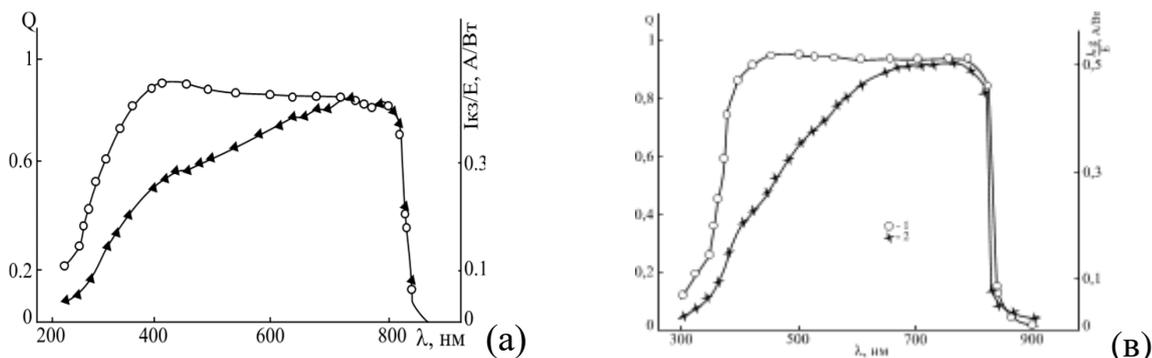
Синтезланган CdTe юпка қатламларининг юзаси ($30 \div 70 \text{ \AA}$) теллури атомлари Te нинг бойитилган қатлами эканлиги кўрсатилди, чунки ўсиш жараёнида Cd атомлари учувчан бўлиб, водород билан жуда учувчан комплекс H_2Cd ҳосил қилади. Бундай технологик шароитларда олинган CdTe юпка қатламлари фотосезгир металл-диэлектрик-яримўтказгич, яримўтка-згич-диэлектрик-яримўтказгич, металл-оксид-яримўтказгич структуралари, гомо-ва гетероструктураларни яратиш учун асосий материал бўлиб, уларда кенг бўшлиқли n-типли яримўтказгичлар билан ўтиш, диэлектрик ёки i - қатлам осонгина ҳосил бўлиши мумкин. Бундай шароитда pCdTe юпка қатлам синтезланган сирт юпка қатламлари ҳосил бўлади, яримўтказгич юпка қатлами n - тури (SnO_2 , ITO, CdO, CdS) ўртасида бир хил қалинликдаги ўтиш диэлектрик ёки i-қатлами ҳосил бўлади.

Паст таглик ҳароратида нозик, юқори қаршилиқли, камроқ ёруғлик сезувчи юпка қатламлар ҳосил бўлади, бу ерда Cd (P_{Cd}) ва Te (P_{Te}) атомларининг буғ босимининг мувозанати бузилади. Юқори ($900 \div 950^\circ\text{C}$), оптимал манба $P_{\text{Cd}}/P_{\text{Te}}=1$ ва таглик ҳароратида ($600 \div 650^\circ\text{C}$) да текстуралари, катта блокли CdTe юпка қатлам синтезланади ва ҳаракатчанлик $\mu=80 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ташкил этади.

Учинчи боб “**SnO₂/pCdTe, In₂O₃/p CdTe, ITO/pCdTe, CdTe/CdS фотоэлектрик хусусиятларини ўрганиш**” кенг диапазонли ярим ўтказгич металл оксиди ва CdS буфер қатламини олишга ва фотоволтаик асосларни ўрганишга бағишланган. Уларда поликристалли кадмий теллурид асосий материал ҳисобланади. SnO₂/p CdTe, In₂O₃/pCdTe, ITO/pCdTe, CdTe/ CdS структуралари тарқатиш ва йиғиш нисбати спектрал фотосезувчанлиги, ёруғлик оқими - кучланиш характеристикаси, структураларнинг ёруғлик сезувчилик спектрал қарамлигига боғлиқ белгиланган рекомбинация доимийси аниқ ланган. Ёруғликнинг турли даражаларида ёруғлик оқими - кучланиш характеристикаларига кўра, юпка қатламли ёруғлик сезувчи структураларнинг кетма-кет қаршилигини таҳлил қилиш амалга оширилади.

Фотосезгирлик спектрлари кварц призмаси билан ЗМП-2 монохроматорида қайд этилган. Радиация манбаи сифатида минимал рухсат этилган қувват (650 Вт) режимида ишлайдиган ДКСШ-1000 ксенон чирок

ишлатилган. Радиация РТЕ-9 кварц ойнаси бўлган термоэлемент ёрдамида мутлақ бирликларда соланади. Фотосезгирликнинг қисқа тўлқинли чўққиси (S_λ) $\lambda=300\div 400$ нм да $0,1 \div 0,2$ А / Вт га тенглиги аниқланди.



3-расм. SnO₂/pCdTe (а) ва ITO /pCdTe (в) фотосезгир тўпловчи структураларининг ва фотосезгирлик спектрал тақсимоти: 1- йиғиш коэффиценти; 2- спектрал тақсимоти характеристикалари

Хона ҳароратидаги структуралар $300 \div 850$ нм оралиғида сезгирликка эга, $S_\lambda=0,5$ А/Вт нинг максимал қиймати, $\lambda=800$ нм га тўғри келади. Ёруғлик сезувчиликнинг спектрал тақсимотининг бу эгри чизиқларидан кўришиб турибдики, фотосезгирликнинг узун тўлқинли парчаланиши квант ва 1, 46 эВ энергияларига тўғри келади, ёруғлик сезувчиликнинг узун тўлқинли чети кадмий теллурид кубининг тармоқли бўшлиғига тўғри келади. Модификация, $E_g = 1, 46$ эВ да $Q(\lambda)$ йиғиш коэффицентининг қиймати қисқа туташув оқими учун ифода ёрдамида ҳисобланади:

$$I_{kz} = qN(1-r)(1-e^{-\lambda d}) * Q(\lambda),$$

бу ерда q - квантлар сони; N - акс эттириш коэффиценти; r - ички квант чиқиши; Q - намунанинг қалинлиги.

$Q(\lambda)$ - йиғиш коэффиценти $\lambda = 400$ нм да максимал қиймат $Q(\lambda) = 0,9$ га етади ва кейин $Q(\lambda) = 0,85$ ($\lambda = 520$ нм) га туша бошлайди. Тўлқин узунлиги ортиши билан ёруғлик $\lambda = 820$ нм гача деярли ўзгармас бўлиб қолади, кейин яна кескин тушади ва $\lambda=400\div 420$ нм да $Q(\lambda)$ боғлиқлигининг кичик чўққиси, эҳтимол, спектрнинг ушбу ҳудудида фото ташувчиларнинг генерацияси заряд қатламида изолятор-ярим ўтказгичдан шундай масофада содир бўлиши билан боғлиқ. Тешикларни ушлаб қолиш эҳтимоли сирт ҳолатлари энг кичик бўлган оралиқ ўтиш қатламига ва электронлар ҳам, тешиклар ҳам фототокка қўшган ҳиссасига боғлиқ. Бу структурада I_Φ иккита фототокнинг йиғиндисидан иборат; $I_{\Phi 1}$ - заряд қатламида ташувчиларнинг пайдо бўлишидан келиб чиқадиган фототок;

$I_{\Phi 2}$ - базада ҳосил бўлган ташувчиларнинг камайиш қатламининг четига тарқалиши билан боғлиқ:

$$I_\Phi = I_{\Phi 1} + I_{\Phi 2} = q N \exp(-\lambda_2 d) \left[\frac{1 - \exp(-\alpha_1 W)}{\exp(\alpha_2 L_n)} \right]$$

бу ерда:

W - тугаган заряд қатламининг қалинлиги;

d - кенг бўшлиқли заряд қатламининг қалинлиги;

L_n - pCdTe да электрон диффузия узунлиги.

Ушбу тенгламадан $300 \div 850$ нм минтақасида ҳисобланган йиғиш коэффициентлари ($W = 5,10^{-5}$, $d = 0,6$ мкм қийматларида) бирликка тенг қийматга эга. Унинг экспериментал ва ҳисобланган қийматларига келсак, уни диэлектрик қатламда ва оралиқ ўтиш қатламининг сирт ҳолатларида ташувчининг рекомбинацияси мавжудлиги билан боғлаш мумкин.

1-жадвал. CdTe асосидаги ёруғлик сезувчи юпқа қатламли ЯДЯ структураларининг ишчи параметрлари.

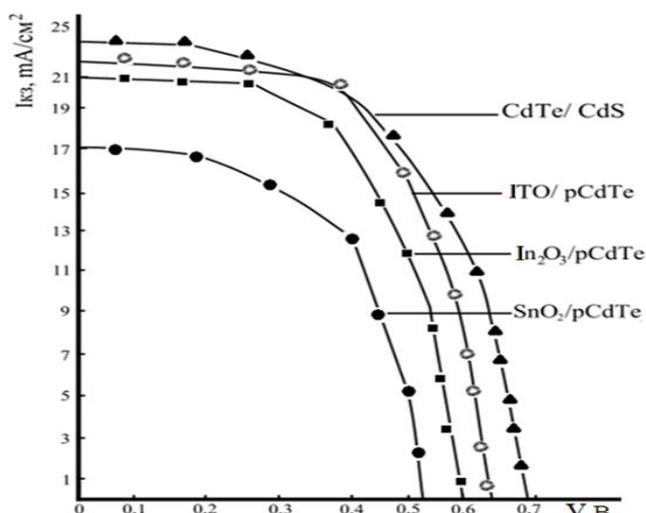
Қурилма типлари	V_{xx} , В	I_{k3} , mA/cm ²	Q	η , %
SnO ₂ /pCdTe	0,52	17	0,37	5,45
In ₂ O ₃ /pCdTe	0,6	20	0,4	8,0
ITO /pCdTe	0,65	22	0,43	10
CdTe/ CdS	0,65	24	0,48	8.6

1-жадвалда CdTe асосидаги фотосезгир юпқа қатламли ЯДЯ структураларининг ишчи параметрларининг экспериментал натижалари кўрсатилган. Маълумки, бу параметрлар: V_{xx} - очик электрон кучланиш; I_{k3} - қисқа туташув оқими; η - самарадорлик.

Кўриниб турибдики(4-расм), pCdTe асосида олинган ЯДЯ структураларининг тўлдириш коэффициенти Q анча паст ва 0,3-0,4 даражали қийматини ташкил қилади. ITO/pCdTe тузилишига эга фотосезгир қурилманинг энг юқори экспериментал ф.и.к. η қиймати ~ 10% ни ташкил қилади (1-жадвал).

Тўртинчи бобда **"CdTe юпқа қатламлари асосида ишлаб чиқарилган ёруғлик сезувчи структураларнинг электрофизик хусусиятлари"** Шоттки тўсикнинг ёруғлик сезувчи структураларининг тўғридан-тўғри ва тескари вольт-ампер хусусиятлари, металл-диэлектрик-яримўтказгич, яримўтка-згич-диэлектрик-яримўтказгич, металл-оксид-яримўтказгич структуралари ва CdTe /CdS гетероструктуралари ва сиғим-кучланиш хусусиятлари. (C-V) усули бўйича ўрганилади. pCdTe / n CdS гетероструктурасининг ҳарорат оқими-кучланиш характеристикаси ўрганилди.

Олинган натижаларга асосланиб, тахмин қилиш мумкинки, CdTe юпқа қатламларини синтез қилиш жараёнида тагликнинг оптимал ҳарорат режими $T_p < 700$ °C га мос келиши керак. Олинган натижаларга асосланиб, тахмин қилиш мумкинки, CdTe юпқа қатламларини синтез қилиш жараёнида тагликнинг оптимал ҳарорат режими $T_p < 700$ °C га мос келиши керак.



4-расм. Фотосезгир SnO₂/pCdTe, In₂O₃/pCdTe, ITO /pCdTe, CdTe/CdS структураларнинг юкланма ёруғлик характеристикаси

Олинган маълумотлар соҳа диаграммалар структуралари SnO₂/pCdTe, ITO/pCdTe ва гетеропереход p-CdTe/i-CdTe_{1-x}S_x/n-CdS ўтиш билан / n-CdS қаттиқ қотишма CdTe_{1-x}S_x pCdTe/nCdS структураларида оқим ўтказиш жараёнини аниқлаштириш учун ВАХ характеристикаси ва унинг ҳароратга боғлиқлиги ўрганилди (5-расмда). Олдинга йўналишда (+ қувват манбаи Мо га уланган) 273 ÷ 398 К ҳарорат оралиғида оқим кучланишининг характеристикаси таниқли формулалар билан тавсифланган иккита экспоненциал қисмдан иборат:

$$J = J_{01} \exp\left(\frac{qV}{c_1 kT}\right), \quad J = J_{02} \exp\left(\frac{qV}{c_2 kT}\right)$$

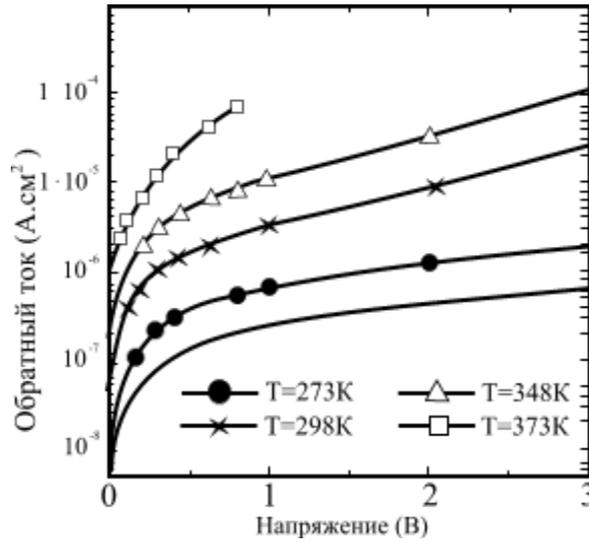
ВАХ характеристикасининг чизиқли қисмини жорий ўқига экстраполяция қилиш орқали биз I₀₁ ва I₀₂ қийматларини топамиз, сўнгра бу қийматларни ушбу формулаларга алмаштирамиз ва экспериментал I-V характеристикасига мослаштириб c₁ ва c₂ қийматларни топамиз (2- жадвал).

2-жадвал. c₁, c₂ и I₀₁, I₀₂ қийматларининг ВАХ нинг ҳароратга боғлиқлигидан аниқланиш натижалари.

T, K	c ₁	I ₀₁ , A/cm ²	c ₂	I ₀₂ , A/cm ²
273	2.1	1.8 x 10 ⁻⁹	36.9	4 x 10 ⁻⁵
298	2	1.6 x 10 ⁻⁸	33.6	3 x 10 ⁻⁴
323	1.98	5.7 x 10 ⁻⁸	22	8.3 x 10 ⁻⁴
348	1.9	4 x 10 ⁻⁷	20.5	10 ⁻³
373	1.8	5.6 x 10 ⁻⁷	20.3	2.3 x 10 ⁻³
398	1.75	10 ⁻⁶	20.9	3.6 x 10 ⁻³

Таҳлиллар шуни кўрсатадики, ҳар хил ҳароратларда ВАХ хусусиятларининг боғлиқлиги бир-бирига параллел эмас. I₀₁ = A * T² exp(- qφ_b / kT), ундан qφ_b ≈ 0.54 эВ га тенг бўлган тўсиқнинг баландлигини топиш мумкин. Бу сиғим-кучланишдан аниқланган эВ_к қийматиға яхши мос келади C⁻²(V) боғланиш V

→ 0 да. Бу ҳолда электронлар концентрацияси ҳисобланади: $n_0 \approx 4.4 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$, $V = 0.2 \text{ В}$ ва $n_0 \approx 2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ $V = 0.4 \text{ В}$.



5-расм. Турли ҳароратларда рCdTe/nCdS структураларининг тўғридан-тўғри оқим кучланиш хусусиятлари

Кучланишнинг янада ошиши билан тўсиқдан ўтайдиган термоэлектронларнинг оқими ошади ва р-п бирикмасидан инжекция қилинган тешиқларнинг концентрацияси ҳам ортади, чунки $n\text{CdTe}_{1-x}\text{S}_x$ и $p\text{CdTe}$ ўртасидаги ўтиш олдинга йўналишда ёқилади. Натижада, каттик эритманинг квазинейтрал қисмида термоэлектрон ва тешиқ рекомбинацияси эҳтимоли ортади. Бу ҳолда I_{02} қуйидаги аналитик ифода билан тавсифланади:

$$I_{02} = \frac{kT}{2q} \frac{bch d/L}{\rho L(b+1)th 2d/2L}$$

$$c_2 = 2 \frac{1+bch d/L}{1+b}$$

Бу ерда $b = \mu_n/\mu_p$, d - $\text{CdTe}_{1-x}\text{S}_x$ каттик эритманинг қалинлиги, тахминий $\approx 1 \text{ мкм}$ L_p - тешиқларнинг диффузия узунлиги; ρ - асосий қаршилик. d/L_p нисбатлари ҳар хил ҳароратларда $273 \div 398 \text{ К}$ ҳарорат оралиғида ҳисобланган (3-жадвал).

Кўриниб турибдики, ҳарорат 273 дан 398 К гача ўзгарганда диффузия узунлиги L_p $0,45 \text{ мкм}$ дан $0,5 \text{ мкм}$ гача ошади. Шундай қилиб қаршилик $\rho_{\text{базаси}} = 1,3 \cdot 10^8 \div 2,9 \cdot 10^8 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ га ортади. Шу билан бир вақтда τ_p , c $4,2 \cdot 10^{-7} \text{ с}$ $\div 7,9 \cdot 10^{-9} \text{ с}$ га ортиб, иккинчи бўлимдан характерли L_p ва τ_p катталиқлар ВАХнинг $T=273 \div 398 \text{ К}$ ҳарорат учун олинган маълумотлари адабий маълумотлар билан деярли мос келади.

Самарали ЯДЯ структураларида $p\text{CdTe}-\text{TeO}_2-n\text{SnO}_2$ қалинлиги $d=(20 \div 30) \text{ \AA}$ бўлган TeO_2 диэлектрик қатлами ҳосил бўлади, бу озчилик ташувчилар учун шаффофдир. CdTe юпқа қатламлари юзасида эркин Te атомлари совутиш пайтида Cd атомларининг учувчи компонентининг қайта бўғланиши туфайли пайдо бўлади.

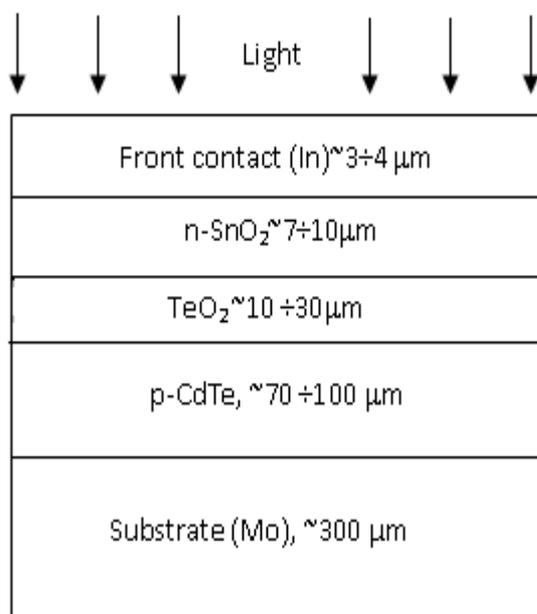
3-жадвал. Диффузия узунлигининг қийматлари L_p озчилик заряд ташувчиларнинг ишлаш муддати τ_n ва турли ҳароратларда базавий минтақанинг қаршилиги.

T, K	μ_p , см ² /В·с	d, мкм	d/L	L, мкм	τ_p ,с	ρ , Ом·см
273	0.2	1	2.2	0.45	$4.2 \cdot 10^{-7}$	$1.3 \cdot 10^8$
298	2		2.14	0.45	$3.9 \cdot 10^{-8}$	$1.3 \cdot 10^8$
323	4		2.03	0.49	$2.1 \cdot 10^{-8}$	$1.8 \cdot 10^8$
348	6.6		2	0.5	$1.3 \cdot 10^{-8}$	$2.9 \cdot 10^8$
373	8		2	0.5	$9.7 \cdot 10^{-9}$	$2.9 \cdot 10^8$
398	9.2		2	0.5	$7.9 \cdot 10^{-9}$	$2.9 \cdot 10^8$

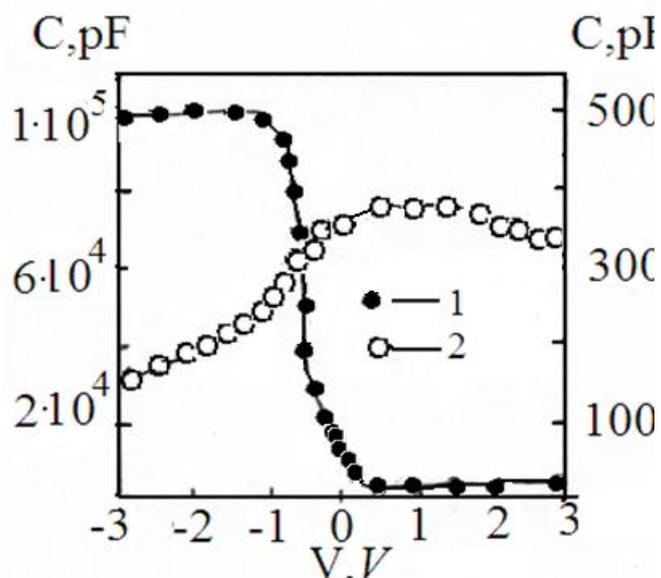
Магнетрон усулида SnO₂ шаффоф қатламларини учиритиш жараёнида Те атомлари тизимидаги қолдиқ кислород билан оксидланиб, теллур диоксида ТеО₂ ҳосил қилади. ТеО₂ оксидининг тармоқли таъқиқ оралиғи ~ 3 эВ га тенг, шунинг учун биз эВ тартиби ва сирт қатламида жойлашган электронлар учун тўсик баландлиги 1,6 эВ бўлади. Панжара доимийси қиймати ТеО₂ учун $a=4,7374 \text{ \AA}$. Текширилаётган pCdTe-TeO₂-n-SnO₂ структураларини p-CdTe, TeO₂ ва nSnO₂ қатламларидан ташкил топган учлик структура деб аташ мумкин. 6-расмда pCdTe-TeO₂-n SnO₂ қурилманинг типик намунаси кўрсатилган.

7-расмда типик pCdTe-TeO₂-nSnO₂, намунасининг C(V) характеристикаси, $f=10 \text{ кГц}$ ва $f=465 \text{ кГц}$ частоталарда берилган. 7-расмдаги 1-эгри чизикдан кўриниб турибдики, $f=10 \text{ кГц}$ да C (V) характеристикаси p-типли яримўтказгич асосли МОЯ структурасининг типик C(V) характеристикасидир. 7-расмда $f=465 \text{ кГц}$ да C (V) характеристика 2-эгри чизигидан кўриниб турибдики, ўзини n-типли асосли МОЯ яримўтказгич структураси сифатида тутди. Бу ТеО₂ бирикмасини ҳосил қилиш билан боғлиқ - оксид қатламининг юзасида юқори қаршиликга эга бўлган pCdTe юпқа қатламларига ҳослигини кўрсатади.

C (V) $f=10 \text{ кГц}$ ва $f=465 \text{ кГц}$ частоталарда олинган хусусиятларини таққослаш шуни кўрсатадики, акцептор табиатдаги нуқсонлар ва аралашмалар нисбатан узоқ вақт ушлаб туришга хусусиятига эга, шунинг учун улар асосан $f \leq 10 \text{ кГц}$ частоталарда намоён бўлади. C⁻², В координаталарида чизилган бирлашма минтақасидаги C (В) характеристикаси $f=10 \text{ кГц}$ ва шунга ўхшаш $f=465 \text{ кГц}$ да бир нечта тўғри чизиклар билан тавсифланади, бу зарядланган маҳаллий марказларнинг бир хил бўлмаган тақсимланишини кўрсатади.



6-расм. ЯДЯ pCdTe-TeO₂-n-SnO₂ қурилманинг тузилиш схемаси



7-расм. ЯДЯ қурилма pCdTe-TeO₂-n-SnO₂ (1)- f=10 кГц; (2)-f=465 кГц даги C-V характеристикаси

Устидан қалинлиги $C^{-2}-V$ га боғлиқ бўлган чизикларнинг маҳаллий қияликларининг зарядланган марказларининг ҳисобланган концентрацияси синов сигналида $10^{13} \div 10^{14} \text{ см}^{-3}$ йўлақларда ётади $f=10 \text{ кГц}$ ва $f=465 \text{ кГц}$ да у $10^{12} \div 4 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ га тенг. Олинган қийматлар зарядланган марказларнинг концентрацияси самарали маҳаллий бўлади, чунки, бунда асосий оксид қатлами TeO_2 компенсацияланган бўлади.

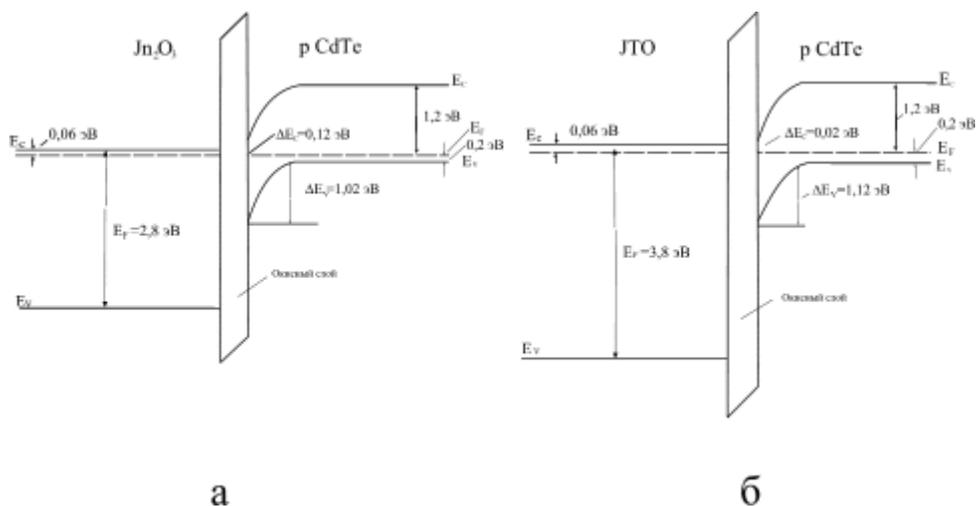
8-расмдан кўриниб турибдики, инверсион қатлам ва асосий яримўтказгич ўртасида потенциал тўсиқ пайдо бўлади, унинг тўсиқ баландлиги $\phi = KT \ln \frac{P_0 n_n}{n_i}$ $n_n=10^{17} \text{ см}^{-3}$ и $P_p=10^{15} \text{ см}^{-3}$ и $n_i=10^7 \text{ см}^{-3}$ га тенг қийматларида потенциал тўсиқнинг баландлиги $\phi=1.08 \text{ эВ}$ ни ташкил қилади.

Эътибор беринг, ϕ қиймати $C^{-2}(V)$ экспериментал боғлиқлигини (тугаш худудида) кучланишга $C^{-2}(V)$ $C(O)$ га экстраполяция қилиш йўли билан аниқланадиган $V_{отс}=1.1 \text{ эВ}$ кучланишининг қийматлари билан яхши мос келади. $\mu \approx 0,2 \text{ эВ}$, $\mu_n \approx 0,12 \text{ эВ}$ миқдорининг тармоқли диаграммасини қуришда қийматлар ҳисоблаб чиқилди.

$$P = N_v e^{\frac{\mu_p}{KT}},$$

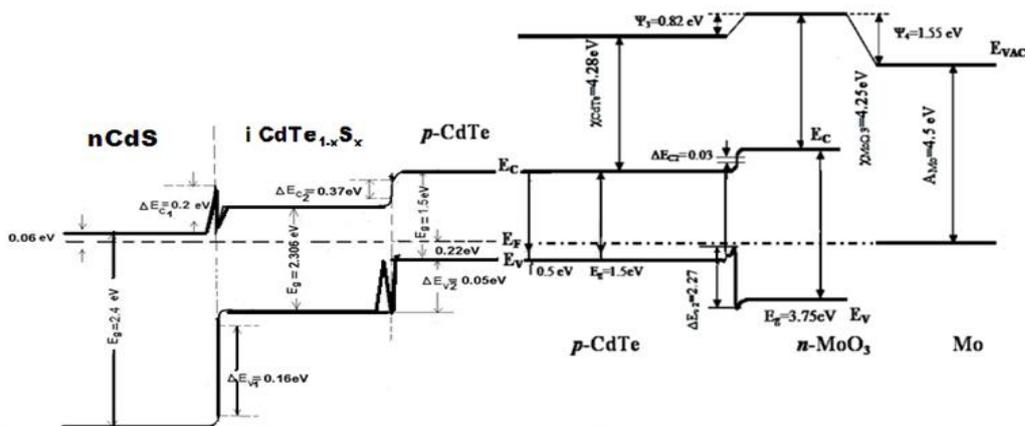
$$n = N_e e^{\frac{\mu_n}{KT}}$$

бунда, N_v ва N_e ўтказувчанлик гуруҳи ва валентлик кўрсаткичи сирт зичлиги, оксид қатлами ташувчиси концентрацияси $N=7,10^{20} \text{ см}^{-3}$ ва бир фарқли бўлган ўтказувчанлик.



8-расм. In₂O₃/pCdTe (а), ITO/pCdTe (б) структуралари қурилмаларнинг соҳа тармоқлари диаграммаси

8-расмда SnO₂/pCdTe ва ITO/pCdTe структураларининг соҳа тармоқли диаграммаси кўрсатилган. SnO₂/pCdTe ва ITO/pCdTe тузилмаларнинг тармоқли диаграммаларида In₂O₃/pCdTe структурасининг берилган тармоқли диаграммасидан диэлектрик қатлам қалинлиги ва сирт ҳолатларининг концентрацияси, шунингдек, инверсия қатламидаги μ_n қийматига қўшимча равишда фарқланади.

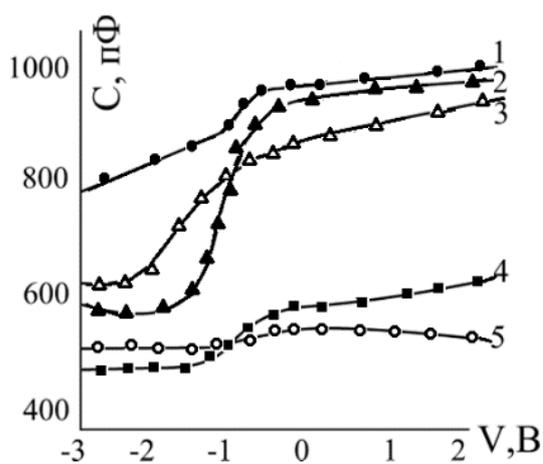


**9-расм. nCdS-pCdTe структурасининг соҳа тармоқли диаграммаси:
nCdS-pCdTe: Mo + MoO₃ + pCdTe + i CdTe_{1-x}S_x + nCdS+In**

Mo - CdTe металл субстрат-таглик орасида молибден, асосан ярим ўтказгич MoO₃ триоксиди ўртасида оралиқ ўтиш қатлами(9-расм) ва pCdTe ва nCdS ва pCdTe структураси орасидаги ўтиш қатламида каттик эритмадан ташкил топган оралиқ ўтиш қатлами -i-қатлами аниқланди. Кўрсатилгандек, асосий материал асосан CdTe кубик модификациясидан иборат. Молибден триоксиди MoO₃ газни ташишнинг технологик шароитларига, синтез ҳарорати ва газ ташувчи муҳитнинг таркибига, водород H₂ оқимида ўстирилган CdTe юпқа қатламларининг морфологиясига жуда сезгир бўлиб чиқади. Олинган маълумотларга асосланиб, структура чегарасида ўтиш қатламларининг ҳақиқий параметрларини ҳисобга олган ҳолда nCdS-pCdTe ёруғлик сезувчи гетероструктураси учун тармоқли диаграммаси тузилди (9-расм). Қалинлиги ~3÷4 мкм бўлган i-CdTe_{1-x}S_x каттик қотишмасининг nCdS ва pCdTe

катламлари орасидаги интерфейсдаги электрофизик ва фотоэлектрик хусусиятларга ва гетероструктуранинг чиқиш параметрларига таъсирини ўрганиш илмий ва амалий жиҳатдан куёш элементлари, куёш батареяларини узоқ муддатли хизмат кўрсатиши борасида катта қизиқиш уйғотади.

Бешинчи боб "**γ-нурланишнинг фотосезгир структураларга таъсири**" нурланишнинг CdTe ва CdS бирикмаларининг структура-ларига ва pCdTe/nCdS да оқим ўтказиш механизмига таъсири ўрганилди. γ-квант дозаси таъсирини SnO₂/pCdTe, ITO/pCdTe ва CdO/CdTe қурилмаларнинг ВАХ ва C-V-характеристикасига таъсирини ўрганилди. Структурани ўрганиш учун 10кГц – 10МГц частота диапазонида юқори частотали сиғимли қабул қилиш усули қўлланилган. 1700 R/c дозы тезлигида нурланиш 1,2МэВ γ-квант энергияси билан ⁶⁰Со таъсир ўрнатиш 50⁰С да амалга оширилди.



10-расм. Нурланишдан олдин ва кейинги 465 кГц частота микродоридаги сиғимнинг экспериментал ва ҳисоблангани билан боғлиқлиги яримўтказгич-изолятор-ярим ўтказгичли конструкцияларнинг нурланиш γ-квантлари: 1- $F=10^7$ R дозаси учун ҳисобланган; 2- $F=10^8$ R дозаси учун экспериментал; 3- $F=10^8$ R дозаси учун ҳисобланган; 4- $F=10^7$ R дозаси учун экспериментал; 5- $F=5 \cdot 10^7$ R дозаси учун экспериментал

10^7 R ва 10^8 R дозали γ-квантлар билан нурланишдан олдин ва кейин $f = 465$ кГц синов сигнали частотасида ITO/pCdTe ва CdO/CdTe структураларининг ўлчанган сиғим C-V характеристикаси структура учун одатий C ҳисобланади. n - типли яримўтказгичли асос (10-расм) γ-квантларнинг нурланиш дозасининг монотоник ортиши билан структуранинг сиғимининг монотон бўлмаган ўзгариши аниқланди. Имконият биринчи навбатда кўтарилади, кейин камаёди. $F = 10^8$ R дозаси билан нурланишдан сўнг, бойитишнинг иккита майдони аниқ кўринади. Юқори қаршиликли қатламнинг диэлектрик сиғими нурланиш дозасига жуда боғлиқ. Сиғимнинг $C^{-2}-V$ кучланишига квадратик боғлиқлигининг координаталарида қурилган боғлиқлик, камайиш ҳудудида бир нечта тўғри чизиқлар билан тавсифланади. Икки бўлимда кузатилган $C^2(V)$ боғлиқлигидаги букилишлар базанинг гетерогенлигини тавсифлайди. 10^7 R ва 10^8 R дозалари билан нурланишдан олдин ва кейин иккита бўлимдан иборат тўғри чизиқлар қиялигига кўра n_0 нинг аниқланган қийматлари 4-жадвалда келтирилган.

n-типли кадмий теллурид nCdTe нинг ҳосил бўлиши, эҳтимол, ярим ўтказгич - изолятор - ярим ўтказгич структурасини шакллантириш жараёнида In, Sn ва Cd нинг соф атомининг тарқалиши билан боғлиқ, n-типли кадмий

теллурид катламида бир жинслиликнинг намоён бўлиши кадмий атомларининг буғланиши натижасида ҳосил бўлган р-типли кадмий теллурид юпқа қатламларининг сиртга яқин қатламининг бир жинсли бўлмаганлигини кўп акс этиши билан боғлиқ.

4-жадвал. γ - Квант дозасининг CdTe асосидаги яримўтказгич-диэлектрик-ярим ўтказгич структурасининг сиғим ва электрофизик параметрларига таъсири.

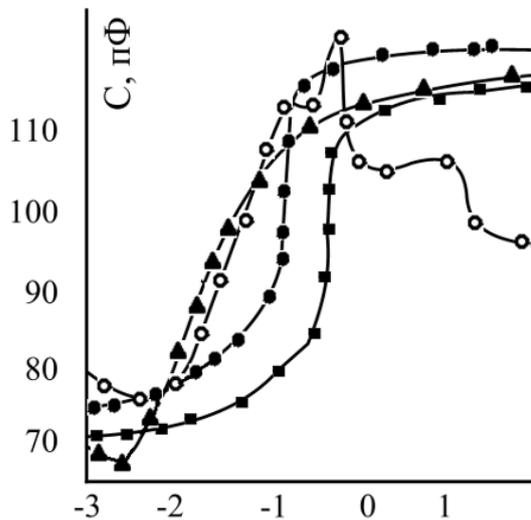
Нур лати ш доза мик дор и, F,R	Асосий булмаган заряд ташувчиларнинг концентрацияси, n_0 , см^{-3}	Диэлектрик қатламнинг сиғими C_i , пФ/ см^2	Х тўсиқ орқали ўтган электронларнинг концентрацияси n^*_{0} , см^{-3}	Ташқи ҳолат концентрацияси, N_s , см^{-2}	Хажми й заряд қалинлиги d_n , см	Диэлектрик қатлам қалинлиги d , нм
0	3×10^{14} 6×10^{13}	934	3×10^{13}	2.6×10^9	8.7×10^{-6} 4.3×10^{-5}	0,83
10^7	3×10^{14} 2.4×10^{14}	1150	10^4	4.4×10^9	1.5×10^{-5} 1.8×10^{-5}	0,70
10^8	7.3×10^{12} 1.4×10^{12}	108	5×10^{11}	2.5×10^8	3.4×10^{-5} 1.7×10^{-4}	6,70

Яримўтказгич-изолятор-ярим ўтказгич қурилмалари ИТО/pCdTe ва CdO/CdTe нурланишдан олдин ва кейин экспериментал маълумотлар тузилишига кўра γ - нурлар нафақат сиғимнинг кучланишга боғлиқлигига n_0 ва сиғими юқори қаршилик қатлами ҳамда мувозанатсиз заряд ташувчиларнинг концентрацияси ҳам боғлиқлиги ўзгариши кузатилади. n - типли CdTe филмлари CdTe синтези жараёнида кадмий H_2Cd бирикмаси шаклида водород билан осонгина учиб кетади.

Экспериментал ва ҳисобланган сиғим хусусиятларини таққослаш (11-расм) шуни кўрсатадики, нурланишдан олдин, кучланишнинг сиғимга боғлиқлиги $|-V| \leq |0.5V|$ барча ижобий ва салбий томонлар учун ҳисобланган эгри чизиқларнинг чап томонига салбий тескари кучланиш қўлланилишидан олдин жойлашган. Салбий тескари кучланиш қўлланилгандан сўнг $|-V| \geq |0.5V|$, сиғим кучланишига боғлиқлик ўнг томонга ўтади.

Субстрат-таглик сиртининг ўтказувчанлик туридан қатъий назар, мусбат заряд Q_s кучланишнинг сиғимга боғлиқлигини салбий кучланиш соҳаси томон силжийди, салбий заряд Q_s - ижобий силжишлари кузатилади. Шунинг учун биз $F=10^8$ R дозаси билан нурланишдан олдин ва кейин оксид-ярим ўтказгич интерфейсида мусбат зарядланган сирт ҳолатлари устунлик қилади, деб ишонишга ҳақлимиз.

Ўз навбатида сирт ҳолатларининг зичлигини сиғимнинг қўлланиладиган кучланишга квадратик боғлиқлигининг турли бўлимларида топилган электронлар зичлигига тенглаштириб, $C^{-2}-V$ pCdTe даги γ - квантнинг турли дозаси бир ҳил бўлмаган ҳудудларнинг қалинлигини ва унинг нурланишдан кейин динамикасини аниқладик (4-жадвалга қаранг). Частотали тадқиқотлар шуни кўрсатдики, n-типидаги кадмий теллурид нафақат қалинлиги, балки таркиби бўйича ҳам мустаҳкамдир.



11-расм. Ярим ўтказгич-изолятор-ярим ўтказгич конструкцияларнинг γ -квантлари нурланишидан олдин ва кейин 10 кГц частотадаги сиғимининг кучланишға экспериментал ва ҳисобланган қийматларига боғлиқлиги :
 1- $F=10^7 R$ дозаси учун ҳисобланган; 2- $10^8 R$ дозаси учун экспериментал; 3- учун мўлжалланган доза $F=10^8 R$; эмпирик учун доза 4 - $F=10^7 R$

Интерфейсда, изолятор - ярим ўтказгичда ва структуранинг асосий қатламида қабул қилувчи марказлар асосан паст частоталарда ($10^3 \div 10^4$ Гц) намоён бўлади, донор марказлар 10 кГц ва ундан юқори частоталарда устунлик қилади. Изолятор - ярим ўтказгич интерфейсида асосан донор типидеги нурланиш нуқсонлари тўпланади, асосий материалнинг сирт қатламларида эса қабул қилувчи типидеги зарядланган фаол маҳаллий марказлар устунлик қилади. Бу салбий кучланиш ўқиға $C-V$ боғлиқлиги ($f=10$ кГц) нинг сиғимли кучланишға боғлиқлигида плато мавжудлиги далолат беради (11-расмға қаранг). Кадмий теллурид CdTe нинг p-типи поликристалл қатламлари ва кенг бўшлиқли яримўтказгич қатламлари ўртасидаги юқори қаршиликли ўтиш қатлами ITO - индий ва қалай оксиди аралашмаси ва CdO - кадмий оксиди, қалинлиги ва таркиби бўйича бир ҳил эмас. Ўтиш оксиди қатламининг, чуқурлиги $\approx 1-2$ мкм.

Доза нурланиш кўрсаткичи $F \leq 10^8 \div 5 \times 10^8 R^8$ бўлганда яримўтказгич ва таянч нурланишда қалинлиги донор типидеги нуқсон асосан тўпланиб келиб чиқиши ва $F > 10^8 \div 5 \times 10^8 R$ дозаларда p-акцептор тури нуқсонлар комплекслари қабул қилувчи тури тўлқин шакли синов частотаси 10^4 Гц да интерфейс-оралиқ диэлектрик - яримўтказгич кадмий теллурид CdTe яққол намоён бўлади, сирт муҳитлари концентрацияси N_s донор тури эса 465 кГц ва ундан юқори частотада номоён бўлади.

ХУЛОСА

Поликристалл юпка қатламли теллурид кадмий асосидаги ёруғлик сезувчи қурилмаларнинг электрофизик ва оптик хоссаларини ўрганишдаги тадқиқотлар асосида қуйидаги хулосалар қилинди:

1. Ўрганилган адабиётлар манбалари натижалари ташхиси асосида водород оқимида газни ташиш реакцияси, магнетрон ионларини пуркаш ва вакуумда учириш усуллари билан оптимал чиқиш параметрларига эга поликристалл CdTe юпка қатламларини олиш технологияси ишлаб чиқилган. Шоттки, металл-диэлектрик-яримўтказгич, яримўтка-згич-диэлектрик-яримўтказгич, металл-оксид-яримўтказгич структуралари CdTe/CdS гетероструктуралари каби бир қатор фотоқабулгич структураларни шакллантириш учун берилган талаб қилинган параметрларга эга нозик мукамал CdTe юпка қатламларини яратишнинг илк бор технологик параметрлари оптималлаштирилди.
2. Илк бор Қуёш радиациясининг ёруғлик сезувчилиги ва SnO₂/pCdTe, In₂O₃/pCdTe фотоволтаик иссиқлик параметрларининг кенг доирасини қамраб олувчи SnO₂/CdTe типидagi поликристалли кадмий теллурид, ITO/pCdTe, CdO/CdTe асосида ташқи таъсирларга чидамли яримўтказгич-диэлектрик-яримўтказгич структураларини яратиш имконияти яратилди. Чидамли, арзон технологик танлашга эришилди - поликристалл юпка қатлам CdTe ва оксидланиш билан бойитилган теллур Те атомлари ҳосил бўлган юқори электрод орасидаги интерфейсда диэлектрик қатламини олиш режимлари ТеО₂ - оксид қатлами CdTe юпка қатламлар яратилиш пайтида металл оксидлари асосида кенг ман этилган соҳали шаффоф юпка қатламлар SnO₂, In₂O₃, ITO, CdO олинди.
3. Илк бор ВАХ характеристикасининг ҳароратга боғлиқлигини ўрганиш оқимнинг кучланишга боғлиқлигини кўрсатади, Шоттки тўсиқли структуралар, металл-диэлектрик-яримўтказгич, яримўтка-згич-диэлектрик-яримўтказгич, металл-оксид-яримўтказгич структуралари ва CdTe/CdS гетероструктураларининг ток оқими ўтказиш механизмининг очиб берди. ВАХ характеристикасининг ҳар бир кўрсаткичи учун коэффицентлар аниқланди, идеал бўлмаган коэффицентлар, тўсиқ баландлиги, базанинг қаршилиги, диффузия узунлиги, заряд ташувчининг ишлаш муддати ва Шоттки тўсиқ структураларининг асос минтақасининг қалинлиги, Шоттки, металл-диэлектрик-яримўтказгич, яримўтка-згич-диэлектрик-яримўтказгич, металл-оксид-яримўтказгич структуралари ва CdTe/CdS гетероструктуралари учун ҳисоблаб чиқилди.
4. Илк бор ITO/pCdTe и In₂O₃/pCdTe и SnO₂/pCdTe ва CdTe/CdS гетероструктуралари учун $f = 10$ кГц ва $f = 465$ кГц частоталарда синов сигналининг экспериментал ва назарий C (V) хусусиятларини солиштириш орқали CdTe сирт потенциали ва заряд ташувчилар концентрациясининг функцияси сифатида сирт ҳолатининг зичлигини тақсимланиши аниқланди, тўсиқнинг баландлиги ҳисобланиб, олинган структуралар учун қурилмалар учун тармоқли соҳа диаграммалари тузилди.

5. Илк бор CdTe юпқа қатламлари ва CdS буфер қатлами орасидаги CdTe/CdS структурасининг гетероинтерфейсида CdTe таркибидаги олтингугурт S ва /CdS да теллур Te нинг диффузияланиши натижасида юқори қаршилиққа эга, ўта бир жинсли бўлмаган каттик эритма қатлами ҳосил бўлиши аниқланди, бу асос ҳисобланади. Бу қатлам CdTe_{1-x}S_x нинг каттик қотишмадан иборат эканлиги кўрсатилди. CdTe/CdS гетероструктурасининг тармоқли соҳа диаграммаси CdTe_{1-x}S_x интерфейсининг ўтиш қатламини ҳисобга олган ҳолда тузилди.
6. Илк бор бу нурланиш таъсирида кўрсатилган микдорда $F \leq 5 \cdot 10^7 \div 10^8$ R каттик қотишмада CdTe_{1-x}S_x асосан мусбат зарядланган радиация донор тури камчиликларини рағбатлантирилиши ва маълум дозаларда йиғилиб $F > 5 \cdot 10^7 \div 10^8$ R нуқсонли қабул қилувчи турлари тўпланиши аниқланди. Акцептор характердаги радиация билан стимуляция қилинган электр фаол маҳаллий марказлар нисбатан узоқ тутилиш вақти ($\tau_{зах} \approx 1/f = 10^{-3} \div 10^{-4}$ с), радиация билан стимуляция қилинган электр фаол маҳаллий донор типдаги марказлар эса нисбатан узоқ давом этиши анча қисқа олиш вақтлари билан тавсифланганлиги ($\tau_{зах} \approx 10^{-6} \div 10^{-8}$ с) илк бор аниқланди.
7. Илк бор Шоттки, металл-диэлектрик-яримўтказгич, яримўтка-згич-диэлектрик-яримўтказгич, металл-оксид-яримўтказгич структуралари ва гетероструктура CdTe/CdS қуёш элементи ва қуёш батареялари конструкцияларининг чиқиш параметрлари-нинг нурланиш дозасига γ - боғлиқлиги давомидаги монотоник бўлмаган ўзгаришлар туфайли монотоник эмаслиги кўрсатилди. Озчилик заряд ташувчиларнинг вақти $\tau_{зах}$ ва ортиб бораётган доза γ -билан структуралар интерфейсида юқори қаршилиқли оралиқ қатлам d қалинлигининг кенгайиши γ - нурланиш таъсирида кузатилди.
8. Илк бор γ - нурланиш дозасининг ортиши билан нафақат қисқа туташув токи, балки CdTe//CdS гетероструктуралари асосидаги қуёш батареяларининг самарадорлиги ҳам ошиши мумкинлиги экспериментал равишда кўрсатилди. Озчилик заряд ташувчилар, уларнинг концентрациясининг ортиши билан бундай ҳолатларда, доза билан самарадорликнинг ошиши очик туташув кучланишининг пасайишига нисбатан қисқа туташув оқимининг тезроқ ошиши натижасида юзага келиши кўрсатилди.
9. Илк бор Шоттки тўсиқ, металл-диэлектрик-яримўтказгич, яримўтка-згич-диэлектрик-яримўтказгич, металл-оксид-яримўтказгич структуралари структураларида ва CdTe / CdS гетероструктураларида Мо ва CdTe оралиқ интерфейсида молибден таглик ва оралиқдаги молибден оксиди МоО₃ ва бошқа компонентларнинг кенг бўшлиқли ярим ўтказгич қатлами мавжуд эканлиги топилди. МоО₃ оксиди бўлган CdTe бирикмаси курилма конструкцияларида ёруғликни ютиш самарадорлигига ижобий таъсир кўрсатиши тасдиқланди . Бу жараён Мо таглик ва CdTe юпқа қатламларини ҳосил қилиш жараёнида ягона технологик циклда содир бўлиши илк бор тасдиқланди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.12.2019.FM/T.01.12 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ
ИНСТИТУТЕ ФИЗИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ И
МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ ПРИ НАЦИОНАЛЬНОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ УЗБЕКИСТАНА**

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ФИЗИКИ
ПОЛУПРОВОДНИКОВ И МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ ПРИ
НАЦИОНАЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ УЗБЕКИСТАНА**

МУЗАФАРОВА СУЛТАНПАША АНВАРОВНА

**ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ
ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЁНОК ТЕЛЛУРИДА КАДМИЯ**

01.04.10 – Физика полупроводников

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА (DSc)
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК**

Тема диссертации доктора наук (DSc) по физико-математическим наукам зарегистрировано в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером B2021.1.DSc/FM175.

Диссертация выполнена в Научно-исследовательском институте физики полупроводников и микроэлектроники при Национальном университете Узбекистана.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекском, русском, английском (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (ispm.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).

Научный консультант:

Утамурадова Шарифа Бекмурадовна
доктор физико-математических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Зайнабидинов Сирожиддин Зайнабидинович
академик АН РУз, доктор физико-математических наук, профессор

Отажонов Салимжон Мадраҳимович
доктор физико-математических наук, профессор

Даулетмуратов Борибай Копилеуович
доктор физико-математических наук, доцент

Ведущая организация:

Ниманганский инженерно-технологический институт

Защита диссертации состоится «18» 03 2023 года в 10⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.FM/Г.01.12 при Научно-исследовательском институте физики полупроводников и микроэлектроники Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека по адресу: 100057, г.Ташкент, ул. Янги Олмазор, дом 20. Тел: (+99895)146-77-44, факс: (99871) 246-19-76,, e-mail: info@ispm.uz.

С диссертацией можно ознакомиться в отделе внедрения цифровых образовательных технологий института (зарегистрирована № 42) по адресу: 100057, г.Ташкент, ул. Янги Олмазор, дом 20. Тел: (+99895)146-77-44, факс: (99871) 246-19-76.

Автореферат диссертации размещен на

(реестр протокола рассылки

2023 года.

2023 года).



А.Т.Мамедовичев
заместитель председателя Научного совета
по присуждению ученых степеней,
д.ф.-м.н., профессор, академик

Ж.Ж.Хамдамов
ученый секретарь Научного совета
по присуждению ученых степеней,
PhD

Н.А.Тургунов
заместитель председателя научного семинара
при Научном совете по присуждению ученых степеней,
д.ф.-м.н., доцент

ВВЕДЕНИЕ (Автореферат докторской (DSc) диссертации)

Актуальность и востребованность темы диссертации. В последние годы тонкослойные технологии приобрели большое значение в связи с высокими требованиями в области современной микро- и наноэлектроники. Развитие этого направления позволит удовлетворить потребности широкого использования оптических сигналов для активного или пассивного обнаружения объектов в современной технике, а также для создания систем оптической связи, телеметрии и многих других применений. В частности, следует отметить бурное развитие систем преобразования солнечной энергии во всем мире. В связи с этим возникает проблема поиска способов прогнозирования их стойкости и обеспечения стойкости фотоприемников и фотопреобразователей при внешних воздействиях, таких как сильное световое излучение, радиация, высокая температура и другие внешние факторы. В последние годы во всем мире возрос интерес к технологическим и химико-физическим свойствам соединений теллурида кадмия, арсенида галлия и кремния в полупроводниковой технике, а также к другим полупроводниковым приборам на основе соединений A^2B^6 . В частности, относительно низкие температура плавления CdTe и давление паров компонентов CdTe, проводимость n- или p-типа и концентрация носителей заряда в диапазоне $10^{16} \div 10^{18} \text{см}^{-3}$ позволяют использовать различные способы получения соединений CdTe с моно- и поликристаллической структурой.

В нашей республике в этой области достигаются определенные результаты, касающиеся технологии получения структур на основе поликристаллического тонкослойного теллурида кадмия, а также комплексного изучения свойств структур из полупроводниковых материалов и устройств на их основе. Одним из актуальных вопросов является выбор и разработка методов формирования тонких поликристаллов CdTe, обеспечивающих необходимые физические и оптические параметры при недорогой, легко контролируемой технологии, и создание приборных фотоэлектрических структур, устойчивых к внешним воздействиям и имеющих стабильный выходной сигнал, рабочие параметры на их основе. Постановление Президента Республики Узбекистан № ПП-5032 от 19 марта 2021 года «О мерах по повышению качества образования и совершенствованию научных исследований в области физики» гласит: обеспечение неразрывной связи научных исследований в области физики с производством, расширение масштаба научных работ, направленных на решение проблем в отраслях экономики; повышение результативности и практического значения научных исследований и инновационной деятельности...»¹. Определение в этом направлении большое научное значение имеет создание новых полупроводниковых материалов - твердых смесей с необходимыми электрофизическими свойствами для производства устройств микроэлектроники.

¹ Постановление Республики Узбекистан № ПП-5032 от 19 марта 2021 года «О мерах по повышению качества образования и совершенствованию научных исследований в области физики».

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в постановлении Президента Республики Узбекистан «О мерах по повышению качества образования и совершенствованию научных исследований в области физики» от 19 марта 2021 года № ПП-5032 и Постановлении Кабинета Министров Республики Узбекистан «О мерах по развитию альтернативной энергетики, электротехники и микроэлектроники, государственной поддержке повышения эффективности исследований в области физики полупроводников, а также о мерах по укреплению Научно-исследовательского института физики полупроводников и микроэлектроники при Национальном университете Узбекистана имени Мирзо Улугбека» от 12 октября 2021 года № 639, Стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017-2021 годах, утвержденной Указом Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года № УП-4947, а также в других нормативно-правовых актах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий в Республике Узбекистан. Данное исследование проводилось в соответствии с приоритетами развития науки и техники в стране: III. «Энергетика, энергосбережение, транспорт, машины и оборудование; разработка современной электроники, микроэлектроники, фотоники, электронных устройств.

Обзор международных научных исследований по теме диссертации¹. Исследования физико-химических свойств многокомпонентных материалов типа барьеров Шоттки, структур полупроводник-диэлектрик-полупроводник, металл-диэлектрик-полупроводник и гетероструктур проводятся в научных центрах, институтах и университетах ведущих стран мира таких как: Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе (Санкт-Петербург, Россия); Институт фотоники и нанотехнологий, Каунасский политехнический институт (Литва), Институт физики полупроводников (Киев, Украина), Институт электроники и прикладной физики (Гейтерсберг, Мэриленд, США), Физический факультет, Университет Тайз (Республика Йемен), Университет науки и технологии, Хартум (Республика Судан), Университет Тиркита, Тиркит, Университет Джиллин (Ирак), Университет Цзилинь, Чангчунь, (Китай), Университет инженерии и технологии Дакки (Бангладеш), Научно-исследовательский институт солнечной энергии, Университет Кебангсаан (Малайзия),

¹ Обзор зарубежных исследований по теме диссертации: ¹: M.Singh and others. "Ecient Autonomous Solar Panel and Thermo-Electric Generator (TEG) Integrated Hybrid Energy Harvesting System". 2016 Progress In Electromagnetic Research Symposium (PIERS), Shanghai, China, 8–11 August; S.A.Ahmad and others. "Efficiency Improvement of Photovoltaic Module by Thermo Electric Generator". NFC-IEFR Journal of Engineering & Scientific Research. DOI:10.24081/nijesr.2017.1.0011; B.S.Dallan et al. "Performance evaluation of a photoelectric-thermoelectric cogeneration hybrid system". Solar Energy 118 (2015) 276–285.; J.Chen et al. "Photovoltaic Generation Solar Automatic Tracking System". IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 170 (2018) 042029 doi:10.1088/1755-1315/170/4/042029 DOI 10.1016/j. solener. 2015.05.034. <https://www.scopus.com>, <https://scholar.google.com>, <https://www.ieee.org>, www.sciencedirect.com, www.springerlink.com, www.elsevier.com, www.nature.com, www.oxfordjournals.org, www.sciencemag.org, www.northcarolina.edu, www.umb.edu, www.osu.edu, www.stonybrook.edu, www.bw.edu, www.msu.ru Research Symposium (PIERS), Shanghai, China, 8–11 August; S.A.Ahmad and others. "Efficiency Improvement of Photovoltaic Module by Thermo Electric Generator". NFC-IEFR Journal of Engineering & Scientific Research. DOI:10.24081/nijesr.2017.1.0011; B.S.Dallan et al. "Performance evaluation of a photoelectric-thermoelectric cogeneration hybrid system". Solar Energy 118 (2015) 276–285.; J.Chen et al. "Photovoltaic Generation Solar Automatic Tracking System". IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 170 (2018) 042029 doi:10.1088/1755-1315/170/4/042029 DOI 10.1016/j. solener. 2015.05.034. <https://www.scopus.com>, <https://scholar.google.com>, <https://www.ieee.org>.

Национальная лаборатория возобновляемых источников энергии, Голден, Колорадо, (США), Грузинский Технологический институт Грузии), Институт физики (США), Институт физики микроструктур РАН (Россия), Центр изучения механизмов роста кристаллов (Франция) и другие.

Под руководством профессора Вильнюсского университета Юазаса Вайткуса были исследованы процессы совмещения методов подготовки и измерений для комплексной характеристики тонких гетероструктур теллурида кадмия (CdTe) путем регистрации спектров глубоких (крупных и поверхностных) ловушек, работающих последовательно в условиях фотонизации и термоэмиссии. Daniel Josell и др. (США) идентифицировали дифференциальные бесстекольные гетероструктуры CdSe/CdTe. Центр изучения механизмов роста кристаллов (Франция), Технологический институт Грузии, Американский институт физики (США) ведут непрерывные исследования. А. Razoоqі и др. изучали влияние термообработки CdCl₂ на свойства фотогальванического гетероперехода CdTe/CdS, образованного термическим испарением (Тикрит, Ирак). Разработаны солнечные элементы на основе поликристаллической гетероструктуры CdTe, полученной методом термического испарения Genqiang Zhang (Jilin University, Changchun, КНР). Хоссейн и др., Научно-исследовательский институт солнечной энергии (SERI), Малайзийский университет Кебангсаан (Банги, Селангор, Малайзия), ввели стимуляцию солнечных элементов теллуридом кадмия, внедрили в серийное производство разработку с использованием программы AMPS-1D.

Степень изученности проблемы. Изучение электрофизических и оптических свойств ПДП и гетероструктур, а также способов обеспечения их долговечности, ресурса с улучшенными эксплуатационными параметрами представляет как научный, так и практический интерес. Теллурид кадмия широко используется в производстве светочувствительных фотоприемников, фотоприемников и детекторных структур, а также при создании гетероструктурных солнечных элементов. пакистанские ученые Под руководством Аббаса Шаха мелкозернистые поликристаллические солнечные элементы на основе теллурида кадмия и итальянские ученые Алесслио Бозио, Алессандро Ромео, немецкий фотоэлектрический техник Дитер Бонн изучали фотоэлектрические эффекты на поликристаллических структурах на основе теллурида кадмия. Следует отметить, что в монокристаллических литых кристаллах с барьером Шоттки наряду с поликристаллическим теллуридом кадмия под руководством японских ученых Т. Такахаша были разработаны высокоточные детекторы излучения (X) рентгеновского и гамма (g) излучения. Также украинские ученые Л.А. Косяченко разработал поверхностные барьерные структуры с удельным сопротивлением $\rho=2,4 \cdot 10^9 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ и почти удельной проводимостью с внутренним контактом из никеля (Ni), что позволило регистрировать коротковолновое инфракрасное излучение. Под руководством В.Ф. Дворянкина разработаны детекторы рентгеновского излучения с р-н-соединением, полученным диффузией индия на основе теллурида кадмия.

В проблемной лаборатории полупроводников и диэлектриков Национального университета под руководством узбекских ученых Акрамова

Х.Т., Юлдашева Б.Д., Саидханова А.С. созданы тонкие светочувствительные слои и их структуры. Профессор А. Т. Тешабоев и его ученики проводили теоретические расчеты различных процессов в кремнии и различных полупроводниковых соединениях. Под руководством академика Р.А. Муминова были созданы фотодатчики, фотоприемники на основе различных компонентов полупроводниковых соединений. Академиками Бахадырхановым, С. Зайнабиддиновым, профессором К.П. Абдурахмановым детально изучены свойства кремния и показаны способы создания различных полупроводниковых устройств. Академиком А.Т.Мамадалимовым обнаружены полупроводниковые свойства природных волокон. В последующие годы профессор Ш.А. Мирсагатов и ныне профессор Разиков Т.М. Проведены масштабные научные работы, в основном по соединениям A^2B^6 , в самых разных областях, а фотоэлектрические устройства на их основе до сих пор находятся в стадии постоянных исследований, представляющих широкий спектр практического интереса. Однако на сегодняшний день ведутся исследования по выращиванию тонких слоев теллурида кадмия по простой в управлении малозатратной технологии, оптимизации технологических параметров и тиражированию технологии создания барьера Шоттки, ПДП МДП, совместимых фотоэлектрических структур на их основе.

Несмотря на большое количество экспериментальных данных по изучению свойств барьеров Шоттки, структур полупроводник-изолятор-полупроводник, металл-изолятор-полупроводник и солнечных элементов с гетероструктурой на основе поликристаллических тонких слоев теллурида кадмия, до настоящего времени отсутствуют данные, позволяющие прогнозировать поведение и надежность функциональных параметров различных устройств на их основе.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного или научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках тематических планов научных исследований Научно-исследовательского института физики полупроводников и микроэлектроники при Национальном университете Республики Узбекистан (2019-2021гг.), а также проектов научных исследований в соответствии с тематическими планами грантов Министерства инновационного развития Республики Узбекистан: А-3-116+А-4-30 «Разработка технологии получения легированного кремния и кремниевых диодных структур с повышенной радиационной стойкостью и способов повышения fotocувствительности кремниевых солнечных элементов» (2015-2017гг.), ОТ-Ф2-11 «Исследование закономерностей формирования наноразмерных дефектов в приповерхностных слоях и объеме кремния с примесями d-элементов» (2017-2020 гг.).

Цель исследования – исследование электрофизических и оптических свойств тонкослойных поликристаллических плёнок CdTe и многослойных fotocувствительных структур на их основе, а также разработка рекомендаций по их использованию в новых твердотельных электронных устройствах.

Задача исследований:

разработать технологию получения теллурида кадмия и оптимальных режимов формирования тонких слоев;

определить оптимальные технологические условия создания на основе CdTe фоточувствительных структур типа барьеров Шоттки, металл-диэлектрик-полупроводник, полупроводник-диэлектрик-полупроводник, металл-окисел-полупроводник и гетероструктур CdTe/CdS;

исследовать электрофизические и фотоэлектрические свойства фоточувствительных структур типа барьеров Шоттки (Au-nCdTe-Mo), металл-диэлектрик-полупроводник, полупроводник-диэлектрик-полупроводник, металл-окисел-полупроводник, CdTe/CdS гетероструктур;

исследовать особенности влияния внешних воздействий на свойства барьеров Шоттки, металл-диэлектрик-полупроводник, полупроводник-диэлектрик-полупроводник, металл-окисел-полупроводник и гетероструктур CdTe/CdS на основе теллурида кадмия;

определить структуру и состав границы раздела металл-полупроводник, полупроводник-полупроводник и переходных слоев барьеров Шоттки, структур металл-диэлектрик-полупроводник, полупроводник-диэлектрик-полупроводник, металл-окисел-полупроводник и гетероструктур CdTe/CdS;

построить зонную диаграмму энергетического поля созданных светочувствительных барьеров Шоттки, металл-диэлектрик-полупроводник, полупроводник-диэлектрик-полупроводник, металл-окисел-полупроводник и гетероструктур CdTe/CdS;

разработать рекомендации для создания новых электронных устройств - фотоприемников и фотоконвекторов на основе тонкого слоя теллурида кадмия.

Объект исследования - поликристаллический теллурид кадмия, фоточувствительные структуры на основе CdTe - барьеры Шоттки, структуры металл-диэлектрик-полупроводник, полупроводник-диэлектрик-полупроводник, металл-окисел-полупроводник и CdTe/CdS гетероструктуры;

Предмет исследования - вольтамперные, вольт-фарадные, фотоэлектрические характеристики полупроводниковых структур, свойства полупроводниковых оксидов металл-молибден, межфазных переходов на поверхности тонкого слоя теллурида кадмия.

Методы исследования - методы рентгеновской дифрактометрии (ДРОН-3М, SuKa излучение $\lambda=0,15418\text{нм}$), рентгеновского микроанализа, ОЖЕ-спектроскопии, нейтронно-активационного анализа, а также фотоэлектрические и электрические методы исследований.

Научная новизна исследований заключается в следующем:

впервые разработана технология получения тонких слоев поликристаллического CdTe с оптимальными выходными параметрами методом газотранспортной реакции в потоке водорода и установлено, что скорость роста пленки CdTe зависит от температуры источника испарения $T_{\text{и}}$, подложки $T_{\text{п}}$ и скорости потока газа-носителя (водорода) v ;

показано, что при оптимальном режиме роста пленки ($T_{\text{и}} = 950^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{п}}=620^{\circ}\text{C}$ и $v = 2$ л/час) образуется крупнозернистая, однородная и совершенная пленка CdTe с размером зерен $20\div 60$ мкм и величиной удельного сопротивления 10^4 Ом·см;

оптимизирован технологический режим изготовления структур металл-диэлектрик-полупроводник, полупроводник-диэлектрик-полупроводник, металл-окисел-полупроводник и гетероструктур CdTe/CdS на основе теллурида кадмия путем нанесения широкозонных полупроводниковых оксидов SnO₂, In₂O₃, ITO, CdO методом магнетронного ионного распыления на поверхность пленок CdTe при комнатной температуре;

впервые установлено, что диэлектрический слой TeO₂, образующийся на границе раздела между прозрачными слоями SnO₂, In₂O₃, ITO, CdO и поликристаллическим слоем CdTe, с толщиной $d = 20\div 50$ Å является полупроводником p-типа шириной запрещенной зоны $E_g = (1.92\div 3.68)$ eV и постоянной решеткой $a = 4,87$ Å;

обнаружено, что напыление буферного слоя сульфида кадмия на поверхность пленок CdTe квазизамкнутом объеме в вакууме, при температуре подложки $T_{\text{п}}=300^{\circ}\text{C}$ приводит к образованию переходного сильнокомпенсированного высокоомного ($10^8 \div 10^9$) Ом·см слоя CdS_xTe_{1-x}, позволяющего устранить несоответствия параметров кристаллической решетки слоев CdTe и CdS на границе гетероперехода CdTe/CdS;

впервые установлен механизм протекания тока в структурах типа металл-диэлектрик-полупроводник на основе pCdTe, который заключается в накоплении неосновных носителей в потенциальной яме на границе раздела pCdTe-TeO₂, захвате на поверхностные состояния на этой границе раздела и туннелировании через потенциальный барьер с диэлектрической прослойкой TeO₂, толщиной $30\div 50$ Å.

обнаружено, что в результате γ - облучения происходит немонотонное изменение выходных характеристик барьеров Шоттки, структур металл-диэлектрик-полупроводник, полупроводник-диэлектрик-полупроводник, металл-окисел-полупроводник и гетероструктур CdTe/CdS с ростом дозы облучения вследствие немонотонного изменения времени жизни неосновных носителей заряда $\tau \approx 10^{-6}\div 10^{-8}$ с и расширения толщины высокоомного промежуточного слоя $d \approx 2.62\div 7.2$ мкм на границе структур;

впервые построена энергетическая зонная диаграмма полученных фоточувствительных структур типа барьеров Шоттки, металл-диэлектрик-полупроводник, полупроводник-диэлектрик-полупроводник, металл-окисел-полупроводник и CdTe/CdS гетероструктур;

разработаны рекомендации по созданию новых термостабильных, фоточувствительных фотоприемников и фотопреобразователей, предназначенных для эксплуатации в оптоэлектронных устройствах с долговременным сроком службы на основе поликристаллического CdTe барьеров Шоттки, структур металл-диэлектрик-полупроводник, полупроводник-диэлектрик-полупроводник, металл-окисел-полупроводник и гетеропереходов CdTe/CdS.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработана технология получения тонких слоев поликристаллического CdTe с оптимальными выходными параметрами методом газотранспортной реакции в потоке водорода, магнетронного ионного распыления и вакуумного выращивания в вакууме;

разработаны технологические режимы создания фоточувствительных структур на основе барьеров Шоттки, структур металл-диэлектрик-полупроводник, полупроводник-диэлектрик-полупроводник, металл-окисел-полупроводник и гетероструктур CdTe/CdS CdTe.

Достоверность результатов исследований подтверждается применением методов рентгеновской дифрактометрии (ДРОН-3М, CuKa излучение $\lambda=0,15418\text{нм}$), рентгеновского микроанализа, ОЖЕ-спектроскопии, нейтронно-активационного анализа, а также фотоэлектрических и электрических методы исследований, имеющих высокую чувствительность и высокую разрешающую способность, а также хорошую воспроизводимость результатов, полученных разными методами.

Научная и практическая значимость результатов исследований.

Научная значимость результатов исследований заключается в том, что барьеры Шоттки, структуры металл-диэлектрик-полупроводник, полупроводник-диэлектрик-полупроводник, металл-окисел-полупроводник и гетероструктуры CdTe/CdS и промежуточный переходный слой между оксидами металл-CdTe, CdTe-полупроводник, полупроводник Полупроводники -CdTe-CdS как расширение представлений о полупроводниковых приборах.

Практическая значимость результатов исследований заключается в том, что на основе тонких слоев CdTe и CdS со спектральной чувствительностью 0,25-0,80 мкм разработан ряд новых электронных устройств с эффективной светочувствительностью, фотоприемники и фотопреобразователи для ультрафиолетового диапазона спектра. . разработаны рекомендации по разработке солнечных элементов, фотоприемников, фототранзисторов на основе тонких поликристаллических слоев металл-диэлектрик-полупроводник, полупроводник-диэлектрик-полупроводник, CdTe/CdS.

Внедрение результатов исследований. По результатам исследования электрофизических и оптических свойств тонкослойных поликристаллических плёнок CdTe и многослойных фоточувствительных структур на их основе, а также по разработке рекомендаций по их использованию в новых твердотельных электронных устройствах:

разработанные датчики являющимися оптическими приёмниками для широкого спектра использования и назначения с большим сроком службы и работающие в агрессивных средах, выполнены на основе структур барьеров Шоттки, структур металл-диэлектрик-полупроводник, полупроводник-диэлектрик-полупроводник, металл-окисел-полупроводник и гетероструктур CdTe/CdS. Эксплуатировать их можно при температурах до 85°C без дополнительного охлаждения и выдерживать температурные перегрузки до

95°C. Принципы контроля: потускнение и селективный контроль. Регистрирует пульсации яркости светого излучения в видимой и УФ области спектра. Диапазон спектральной характеристики, 0,40 - 0,95 мкм. Максимальная спектральная характеристика макс, 0,56 мкм. Допустимая температура эксплуатации, - 20...+ 85°C. Температурная перегрузка с сохранением работоспособности, +95 °C. Напряжение питания датчика, 5 ÷ 30 В. Такие фотоприемники необходимы для помехоустойчивого УФ позиционирования; экология (например, «борьба с озоновыми дырами» на Земле), биотехнология (синтез витаминов D2 и D3); медицина (физиотерапия, аутоотрансфузия крови, профилактика простудных заболеваний, радиационная защита); в материаловедении - позволяет определять состав веществ (металлов и их сплавов) и электронное строение элементов. Фотоприемники на основе ряда фоторецепторных структур, таких как барьер Шоттки, металл-диэлектрик-полупроводник, полупроводник-диэлектрик-полупроводник, металл-окись-полупроводник широко использованы в АО «FOTON» Акционерной компании «Узэлтехсаноат» (Справка АК «Узэлтехсаноат» от 01 февраля 2022 года №23). Использование научных результатов позволило выдерживать длительную бесперебойную работу в долгосрочной перспективе, даже при температуре 80 °C и выше, без существенных изменений рабочих параметров. Эти данные позволяют подтвердить, что исследуемая структура полностью соответствует требованиям ГОСТа, согласно которой гарантируется все полупроводниковые поликристаллические датчики как барьер Шоттки, металл-диэлектрик-полупроводник, полупроводник-диэлектрик-полупроводник, металл-окись-полупроводник фотоэлектрические устройства на основе CdTe соответствуют требованиям температурного диапазона 80°C и выше;

применение научных результатов диссертации позволило улучшать фотоэлектрические свойства структур тонкослойных поликристаллических плёнок CdS_xTe_{1-x} выращенных на подложке молибдена, получение фоторезисторов на их основе, а также формированию диоксида молибдена на границе молибдена (Справка Академии наук Республики Узбекистан от 05 декабря 2021 года № 2/1255-295). Использование научных результатов позволило на основе этих материалов получить высокочувствительные фоторезисторы с удельным сопротивлением в интервале $10^6 \div 10^{10}$ Ом·см;

разработанная технология получения поликристаллических плёнок CdTe с оптимальными выходными параметрами методами газотранспортной реакцией в потоке водорода, магнетронным ионным распылением и вакуумным нанесением позволило оптимизировать технологические параметры создания тонких совершенных пленок CdTe с заданными востребованными параметрами для формирования ряда фоточувствительных структур, как барьер Шоттки, металл-диэлектрик-полупроводник, полупроводник-диэлектрик-полупроводник, металл-окись-полупроводник и гетероструктур CdTe/CdS (Справка АК «Узэлтехсаноат» от 09 февраля 2022 года №04-3/251). Использование научных результатов позволило создать пленочные структуры чувствительные в широкой области спектра 0,25+0,80 мкм, обладающие высокой термостойкостью. На их основе созданы

эффективные фоточувствительные приборы: фотоприемники для УФ области спектра, фотопреобразователи, которые нашли широкое применение в микро схемных устройствах и в ряде новых изделий электронной техники, (пионерские, принципиально новые, качественно новые модификации, модернизация старых разработок).

Апробация результатов исследования. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 25 международных и 17 республиканских научно-практических конференциях.

Публикации результатов исследования. Основные результаты по теме диссертации опубликовано 56 научных статьях, в том числе 18 статьи в научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, содержащего общую характеристику работы, пяти глав и заключения. Она изложена на 200 страницах и включает 81 рисунков, 39 таблиц, 141 наименований библиографий и приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, определена связь исследований с основными приоритетными направлениями развития науки и технологий в республике. Произведен обзор научных исследований по теме диссертации, определена степень изученности проблемы, сформулированы цели и задачи. Определены объекты, предметы и методы исследования, изложена научная новизна исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта их теоретическая и практическая значимость, приведены краткие сведения о внедрении результатов и апробации работы, а также об объеме и структуре диссертации.

В первой главе «**Технология получения слоев CdTe и создание фоточувствительных структур на их основе**» представлен литературный обзор по методике созданий тонких полупроводниковых пленок халькогенидных соединений, влияния технологических параметров на зародышеобразование, морфологию, стехиометричность структур и внешних воздействий на основные параметры пленок.

В современной науке соединение теллурида кадмия CdTe занимает одно из ведущих мест в микро и радиоэлектронике, солнечной энергетике.

Выбор и разработка методики выращивания тонких поликристаллов CdTe с требуемыми физическими, оптическими параметрами легкоуправляемой технологией является важной задачей в полупроводниковой технологии.

Анализ литературных данных показывает, что создание на основе базового материала теллурида кадмия и комплексное исследование фотоэлектрических и электрофизических свойств, выявление свойств переходных промежуточных слоев в созданных приборных структурах в барьерах Шоттки, металл-диэлектрик-полупроводник, полупроводник-диэлектрик-полупроводник, металл-окись-полупроводник и в гетеро-переходах является весьма научно интересным. Анализ литературных данных

последних лет в этом направлении, показывает недостаточность изученности совершенства структур, зародышеобразования, нестехиометричности по составу поликристалла, приводящие пленок к дефектности, исследования влияния внешних воздействий на свойства поликристалла CdTe и структур, пути создания стабильных по выходным параметрам приборных фотоэлектрических структур на его основе этой области.

Вторая глава «**Методы получения и исследование электрофизических и оптических свойств пленок CdTe**» посвящена получения пленок теллурида кадмия методами вакуумного нанесения в квазизамкнутой системе, газотранспортным методом выращивания пленок CdTe в потоке водорода и магнетронным ионным распылением в системе инертного газа аргона с целью создания на их основе ряда фоточувствительных структур, как барьер Шоттки, металл-диэлектрик-полупроводник, полупроводник-диэлектрик-полупроводник, металл-окись-полупроводник и гетероструктур CdTe/CdS. Исследования электрофизических и оптических свойств, проведены рентгеноструктурный анализ пленок CdTe. Исследованы также примесный реальный состав пленочных структур методом ОЖЕ спектроскопии и методом нейтронно-активационного анализа(НАА).

Проведены структурные исследования пленок CdTe, морфология. Рассчитаны влияние упругости паров конденсата P_{Cd}/P_{Te} и температуры ($T_{ист}/T_{подл.}$) на обратимые электрофизические и фотоэлектрические свойства пленок. Как показывают исследования пленки теллурида кадмия полученные вакуумным методом при низких температурах $T_{п} = 150^{\circ}C$ получают относительно высокоомными $\geq 3 \cdot 10^9$ Ом.см, при относительно высоких температурах. При температурах подложки $T_{п} \leq 150^{\circ}C$ пленки получают гладкими, зеркальными с обеих сторон. Адгезия к подложке Мо удовлетворительная. При повышении $T_{п} = 300 \div 320^{\circ}C$ поверхность пленки начинает приобретать вид матовости за счёт реиспарения атомов кадмия Cd.

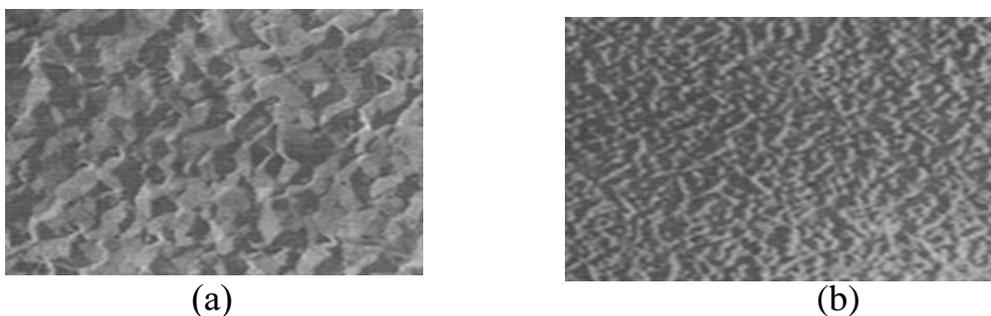


Рис 1. Слои CdTe, нанесенные при температурах $T_{п} = 150^{\circ}C$ и температурах $T_{п} = 300 \div 320^{\circ}C$ вакуумным испарением в квазизамкнутой системе

Пленки pCdTe выращенные при газотранспортном методе в потоке водорода имели удельное сопротивление $\rho \approx 10^5 \div 10^7$ Ом.см и время жизни неосновных носителей порядка $\tau = 10^{-7} \div 10^{-6}$ с. Толщина пленок p CdTe составляла ~ 30 мкм. Размеры зерен поликристаллического pCdTe находятся в пределах от 100 до 150 мкм, зерна охватывают всю толщину пленки.

Полученные пленки методом магнетронно-ионного распыления-МСИР, CdTe обладали хорошей адгезией с подложкой молибден Мо. CdTe имел

сопротивления порядка $R \sim 10^3$ Ом·см, при $S = 2 \cdot 10^{-2}$ см², $d \sim 3 \cdot 10^{-4}$ см, отсюда $\rho_T \sim 6 \cdot 10^4$ Ом·см.

На рентгенограммах всех образцах обнаружены примыкающие к нему (111), пички с $2\theta = 21,40^\circ$. Аналогичные линии были обнаружены и в поликристаллических пленках CdTe, осаждения вакуумной сублимацией. Поскольку, эти линии не соответствуют наличию в пленках чистых Cd и Te, они могут быть отнесены на счет политипизма характерным для всех соединений A^2B^6 .

Исходя из полученных результатов, можно предположить, что при синтезе пленок CdTe, оптимальный температурный режим подложки должен соответствовать $T_{п} < 700^\circ\text{C}$.

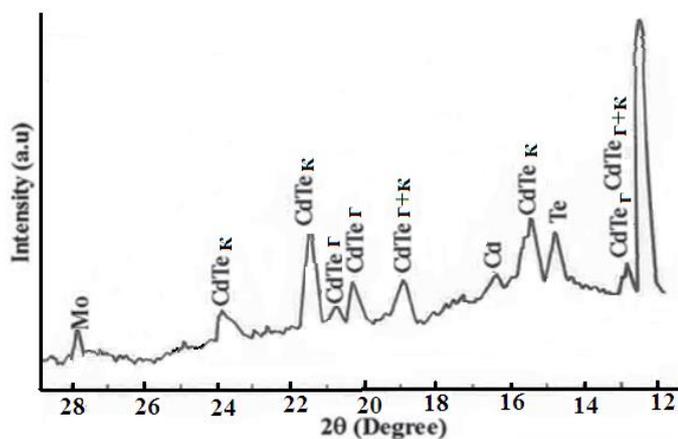


Рис.2. Рентгенограмма пленки pCdTe

При этой температуре размер зерен кристаллитов значительно крупнее, относительно пленок, синтезированных при $T_{п} = 640^\circ\text{C} \div 660^\circ\text{C}$ и $T_{п} \geq 740^\circ\text{C}$. При $T_{п} = 700^\circ\text{C}$ размер кристаллитов варьируется в диапазоне $30 \div 70$ мкм.

Показано, что приповерхность ($30 \div 70$ Å) синтезированных пленок CdTe являлись обогащенным слоем атомами теллура Te, так как в процессе роста атомы Cd улетучиваются, образуя соединение с водородом легколетучий комплекс H_2Cd . Полученные пленки CdTe при таких технологических условиях являются базовым материалом для создания фоточувствительных металл-диэлектрик-полупроводник, полупроводник-диэлектрик-полупроводник, гомо – и гетероструктур, в которых можно легко формировать переходной, диэлектрический или i-слой при нанесении широкозонного полупроводникового материала n-типа. При таких условиях на поверхности синтезированных пленках pCdTe образовывается тонкий слой, более однородный по толщине переходной диэлектрический или i-слой между полупроводниковой пленкой n – типа (SnO_2 , ITO, CdO, CdS).

При низких температурах подложки образуются мелкозернистые, высокоомные, менее фоточувствительные пленки, где нарушается равновесие давления упругости паров атомов Cd (P_{Cd}) и Te (P_{Te}). При высоких ($900 \div 950^\circ\text{C}$), оптимальных температурах источника и подложки ($600 \div 650^\circ\text{C}$) синтезируются текстурированные, крупноблочные пленки CdTe при упругости давлений паров $P_{\text{Cd}}/P_{\text{Te}} = 1$ с удельным сопротивлением $= 10^3$ Ом/см и подвижностью $\mu = 80$ см²/В·с.

Третья глава «Исследование фотоэлектрических свойств структур $\text{SnO}_2/\text{pCdTe}$, $\text{In}_2\text{O}_3/\text{pCdTe}$, ITO/pCdTe , CdTe/CdS » посвящена получению широкозонных полупроводниковых оксидов металла и буферного слоя CdS и исследованию фотопреобразователей на их основе, где поликристаллический теллурид кадмия является базовым материалом. Исследованы спектральное распределение fotocувствительности и коэффициент собирания структур $\text{SnO}_2/\text{pCdTe}$, $\text{In}_2\text{O}_3/\text{pCdTe}$, ITO/pCdTe , CdTe/CdS , нагрузочная вольт-амперная характеристика, определены рекомбинационные постоянные из спектральной зависимости fotocувствительности структур. Проведен анализ последовательного сопротивления пленочных fotocувствительных структур по нагрузочной характеристике при различных уровнях освещенности.

Спектры fotocувствительности снимались на монохроматоре ЗМП-2 с кварцевой призмой. В качестве источника излучения использовалось ксеновая лампа ДКСШ-1000, работающая в режиме минимально допустимой мощности (650Вт). Излучение отградуировано в абсолютных единицах при помощи термоэлемента с кварцевым окошком РТЭ-9. На рис. 3 а, представлено спектральные распределение коэффициента собирания и fotocувствительности структур $\text{SnO}_2/\text{pCdTe}$ (а), структуры, ITO/pCdTe (в). Коротковолновый край fotocувствительности (S_λ) уже при $\lambda=300\div400$ нм достигает $0,1\div0,2$ А/Вт.

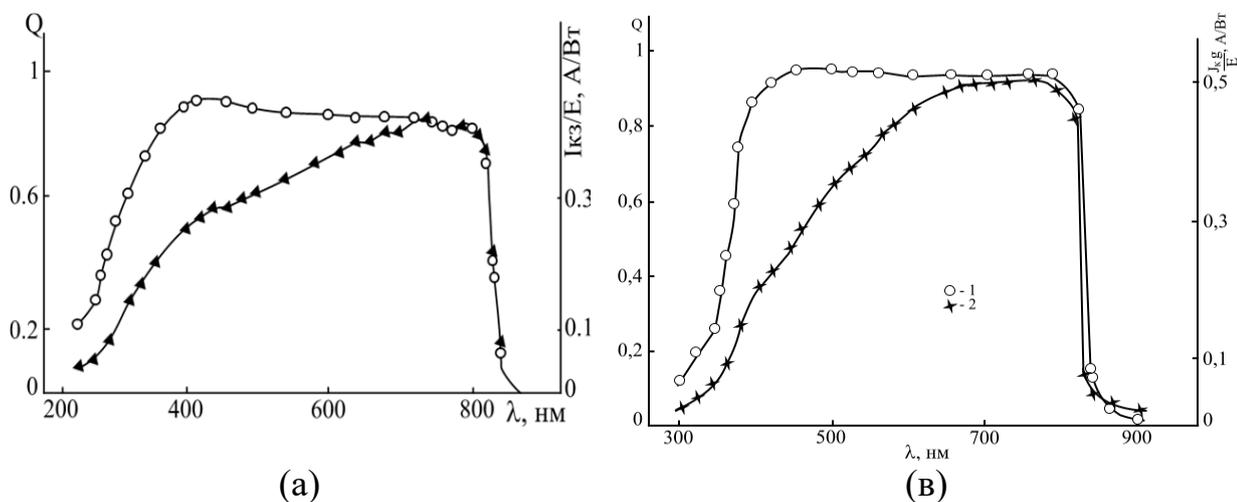


Рис.3. спектральные распределение коэффициента собирания и fotocувствительности структур $\text{SnO}_2/\text{pCdTe}$ (а), структуры, ITO/pCdTe (в). 1-спектральные распределение коэффициента собирания структур; 2 - fotocувствительность структур

Структуры при комнатной температуре обладают чувствительностью в области $300\div850$ нм, максимальное значение $S_\lambda=0,5$ А/Вт, которой соответствует $\lambda=800$ нм. Как видно из этих кривых спектрального распределения fotocувствительности, длинноволновый спад fotocувствительности соответствует энергиям квантов и $1,46$ эВ, что длинноволновый край fotocувствительности, соответствует ширине запрещенной зоны теллурида кадмия кубической модификации, $E_g=1,46$ эВ. Вычислено значение коэффициента собирания $Q(\lambda)$ с использованием выражения для тока короткого замыкания:

$$I_{к3} = qN(1-r) (1-e^{-\lambda d}) *Q(\lambda),$$

где N – число квантов;
 r – коэффициент отражения;
 Q - внутренний квантовый выход;
 d – толщина образца.

$Q(\lambda)$ - коэффициент собирания достигает своего максимального значения $Q(\lambda) = 0,9$ при $\lambda = 400$ нм и после чего начинает падать до $Q(\lambda) = 0,85$ ($\lambda = 520$ нм), а далее с ростом длины волны света он остается почти постоянным до $\lambda = 820$ нм, затем вновь резко падает. Небольшой пик в зависимости $Q(\lambda)$ при $\lambda = 400 \div 420$ нм, по всей вероятности, связан тем, что в этой области спектра генерации фото носителей происходит в слое объемного заряда на таком расстоянии от границы раздела диэлектрик-полупроводник, что вероятность захвата дырок поверхностными состояниями наименьшая и в фототок вносят вклад как электроны, так и дырки. В этой структуре I_{Φ} состоит из суммы двух фототоков; $I_{\Phi 1}$ - фототок, возникающий вследствие генерации носителей в слое объемного заряда;

$I_{\Phi 2}$ - фототок, связанный с диффузией генерированных в базе носителей к краю обедненного слоя:

$$I_{\Phi} = I_{\Phi 1} + I_{\Phi 2} = q N \exp(-\lambda_2 d) \left[\frac{1 - \exp(-\alpha_1 W)}{\exp(\alpha_2 L_n)} \right]$$

где W – толщина слоя обедненного заряда;
 d – толщина слоя широкозонного заряда;
 L_n – длина диффузии электронов в pCdTe.

Вычисленный из этого уравнения коэффициент собирания в области $300 \div 850$ нм (при значениях $W = 5 \cdot 10^{-5}$, $d = 0,6$ мкм) имеет величину равную единице. Что касается его экспериментальном и рассчитанных значениях можно отнести за счет существования рекомбинации носителей в слое диэлектрика и на поверхностных состояниях границы раздела.

В таблице 1. приведены экспериментальные результаты эксплуатационные параметры фоточувствительных пленочных МДП-структур на основе CdTe. Как известно, этими параметрами являются: V_{xx} – напряжение холостого хода; $I_{к3}$ – ток короткого замыкания; η - коэффициент полезного действия.

Таблица 1. эксплуатационные параметры фоточувствительных пленочных МДП-структур на основе CdTe.

Типы структур	V_{xx} , В	$I_{к3}$, mA/cm ²	Q	η , %
SnO ₂ /pCdTe	0,52	17	0,37	5,45
In ₂ O ₃ /pCdTe	0,6	20	0,4	8,0
ITO /pCdTe	0,65	22	0,43	10

CdTe/CdS	0,65	24	0,48	8.6
----------	------	----	------	-----

Как видно из таблицы 1. коэффициент заполнения Q полученных МПД структур на основе pCdTe довольно низкий и составляет величину η порядка 0,3÷0,4. Наиболее высокое экспериментальное значение η у полученных ФП с ПДП структурой ИТО/pCdTe составляет ~10%(рис.4).

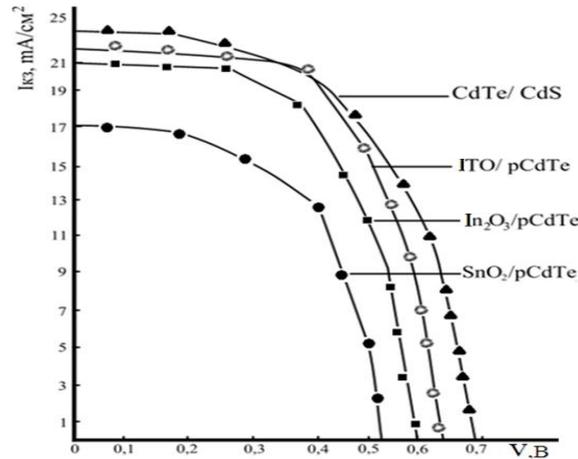


Рис.4. Нагрузочная характеристика фоточувствительных структур SnO₂/pCdTe, In₂O₃/pCdTe, ИТО /pCdTe, CdTe/CdS.

В четвёртой главе «Электрофизические свойства изготовленных фоточувствительных структур на основе пленок CdTe» исследованы прямые и обратные вольтамперные характеристики фоточувствительных структур барьера Шоттки, металл-диэлектрик-полупроводник, полупроводник-диэлектрик-полупроводник, металл-окись-полупроводник и гетероструктур CdTe/CdS и вольт фарадные характеристики(C-V) методом. Исследована температурная вольтамперная характеристика гетероструктуры pCdTe/nCdS. На основе полученных данных построены зонные диаграммы фоточувствительных структур SnO₂/pCdTe, ИТО/pCdTe и гетероперехода p-CdTe/i-CdTe_{1-x}S_x/n-CdS с переходным i –слоем из твердого раствора CdTe_{1-x}S_x.

Для выяснения процесса переноса тока в структурах pCdTe/nCdS, была исследована ВАХ и ее температурная зависимость, которая приведена на Рис.5.В прямом направлении (+ источника питания соединен с Мо) в интервале температур 273÷398 К вольтамперная характеристика состоит из двух экспоненциальных участков, описываемых известными выражениями:

$$J = J_{01} \exp\left(\frac{qV}{c_1 kT}\right) \quad , \quad J = J_{02} \exp\left(\frac{qV}{c_2 kT}\right)$$

Экстраполяцией линейного участка ВАХ на ось токов находим значения J₀₁ и J₀₂, затем подставляя эти значения в эти формулы и подгоняя к экспериментальной ВАХ, находим значения c₁ и c₂, которые приведены в таблице 2.

Таблица 2. Значения c₁, c₂ и J₀₁, J₀₂ определенные из температурной зависимости ВАХ.

T, К	c ₁	J ₀₁ , A/cm ²	c ₂	J ₀₂ , A/cm ²
273	2.1	1.8 x 10 ⁻⁹	36.9	4 x 10 ⁻⁵
298	2	1.6 x 10 ⁻⁸	33.6	3 x 10 ⁻⁴

323	1.98	5.7×10^{-8}	22	8.3×10^{-4}
348	1.9	4×10^{-7}	20.5	10^{-3}
373	1.8	5.6×10^{-7}	20.3	2.3×10^{-3}
398	1.75	10^{-6}	20.9	3.6×10^{-3}

Анализы показывают, что зависимость ВАХ при разных температурах, не являются параллельными друг другу. $J_{01} = A \cdot T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_b}{kT}\right)$, из которого можно найти высоту барьера, которая равно $q\phi_b \approx 0.54$ эВ. Это хорошо согласуется с величиной eV_k определенной из вольт-емкостной зависимости $C^{-2}(V)$ при $V \rightarrow 0$. При этом концентрация электронов составляет $n_0 \approx 4.4 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$ при $V = 0.2$ В и $p_0 \approx 2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ при $V = 0.4$ В.

С дальнейшим увеличением напряжения поток термоэлектронов, прошедших через барьер, увеличивается, а также повышается концентрация дырок, инжектированных из р-п перехода, поскольку переход между $n\text{CdTe}_{1-x}\text{S}_x$ и $p\text{CdTe}$ включен в прямом направлении.

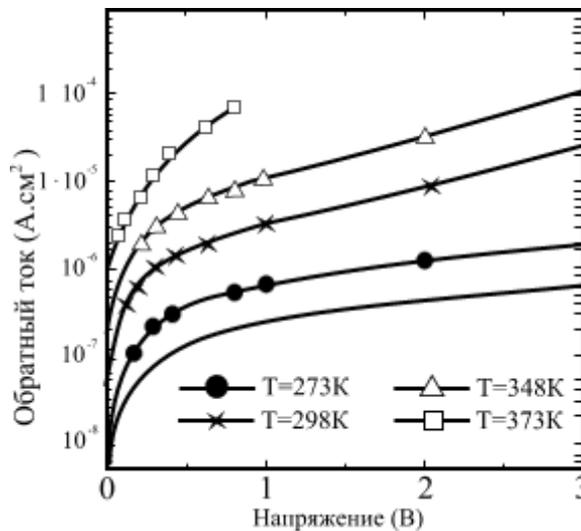


Рис.5. Прямые вольтамперные характеристики структур pCdTe/nCdS при различных значениях температуры.

В результате повышается вероятность рекомбинации термоэлектронов и дырок в квазинейтральной части твердого раствора. При этом J_{02} описывается следующим аналитическим выражением:

$$J_{02} = \frac{kT}{2q} \frac{bch d/L}{\rho L(b+1)th 2d/2L}$$

$$c_2 = 2 \frac{1 + bch d/L}{1 + b}$$

Где $b = \mu_n/\mu_p$, d – толщина твердого раствора $\text{CdTe}_{1-x}\text{S}_x$ по оценке ≈ 1 мкм. L_p – длина диффузии дырок; ρ – удельное сопротивление базы.

Вычислены отношения d/L_p в интервале температур 273÷398 К при различных температурах (Таблица 3.)

Таблица 3. Значения диффузионной длины L_p , времени жизни τ_p неосновных носителей заряда и удельного сопротивления базовой области при разных значениях температуры.

T, К	μ_p , см ² /В·с	d, мкм	d/L	L, мкм	τ_p ,с	ρ , Ом·см
273	0.2	1	2.2	0.45	$4.2 \cdot 10^{-7}$	$1.3 \cdot 10^8$
298	2		2.14	0.45	$3.9 \cdot 10^{-8}$	$1.3 \cdot 10^8$
323	4		2.03	0.49	$2.1 \cdot 10^{-8}$	$1.8 \cdot 10^8$
348	6.6		2	0.5	$1.3 \cdot 10^{-8}$	$2.9 \cdot 10^8$
373	8		2	0.5	$9.7 \cdot 10^{-9}$	$2.9 \cdot 10^8$
398	9.2		2	0.5	$7.9 \cdot 10^{-9}$	$2.9 \cdot 10^8$

Как видно длина диффузии L_p при изменении температуры от 273 до 398 К возрастает от 0,45 мкм до 0,5 мкм. При этом удельное сопротивление $\rho_{базы}$ возрастает от $1,3 \cdot 10^8$ до $2,9 \cdot 10^8$ Ом·см. В то же время уменьшается более чем на два порядка от $4,2 \cdot 10^{-7}$ с до $7,9 \cdot 10^{-9}$ с при возрастании температуры от 273 до 398 К. Полученные данные для L_p и τ_p из второго участка ВАХ согласуются с литературными данными.

В эффективных полупроводник-диэлектрик-полупроводник структурах pCdTe-TeO₂-nSnO₂ формируется диэлектрическая прослойка TeO₂ толщиной $d = (20 \div 30) \text{ \AA}$, которая прозрачна для неосновных носителей. Свободные атомы Te на поверхности пленок CdTe появляются за счет реиспарения легколетучего компонента атомов Cd в процессе охлаждения. В процессе нанесения прозрачных слоёв SnO₂ магнетронным методом атомы Te окисляются с остаточным кислородом в системе, образуя диоксид теллура TeO₂. Ширина запрещенной зоны окисла TeO₂ порядка ~ 3 эВ, поэтому примем высоту барьера для электронов порядка 1 эВ, а высота для электронов, находящихся на поверхностных состояниях равна 1,6эВ. Значение параметра для TeO₂, $a = 4,7374 \text{ \AA}$ и для CdTe. Исследуемые структуры pCdTe-TeO₂-n-SnO₂ можно назвать тройной структурой, состоящей из p-CdTe, TeO₂ и - n SnO₂ слоёв. На рис.6. приводится схематическое изображение типичного образца pCdTe-TeO₂-n SnO₂.

На рис.7. приводится C(V) характеристика типичного образца pCdTe-TeO₂-n SnO₂, структуры при частотах $f = 10 \text{ кГц}$ и $f = 465 \text{ кГц}$. Как видно на рис.7. кр.1, что C(V) характеристика при $f = 10 \text{ кГц}$ является типичной C(V) характеристикой металл-окись-полупроводник структуры с полупроводниковой базой p-типа. C(V) характеристика при $f = 465 \text{ кГц}$ рис.7, кр.2, ведет себя как металл-окись-полупроводник структура с полупроводниковой базой n-типа которая связано с образованием соединения TeO₂ – высокоомного окисного слоя на поверхность пленок pCdTe.

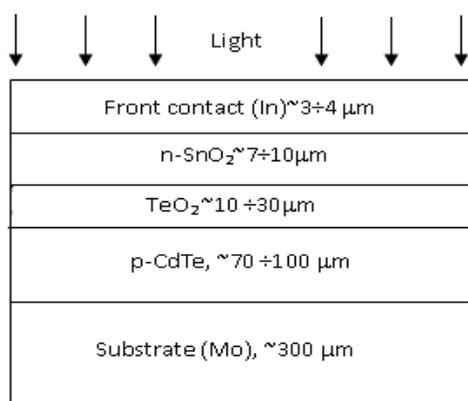


Рис.6. Схематическое изображение ПДП структуры pCdTe- TeO₂-n-SnO₂.

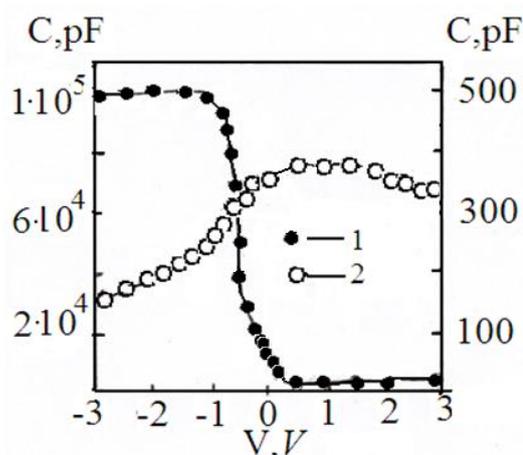


Рис.7. Вольт – емкостная характеристика структуры pCdTe-TeO₂-nSnO₂ (1)-f=10кГц; (2)- f = 465 кГц.

Сопоставления $C(V)$ характеристик, снятых при частотах $f=10\text{кГц}$ и $f=465\text{кГц}$ показывает, что дефекты, примеси акцепторной природы обладают сравнительно большими захвата времени, поэтому они преимущественно проявляются при частотах $f \leq 10\text{кГц}$. $C(V)$ характеристика в области объединения построенная в координатах C^{-2} , V описывается несколькими прямыми линиями как при $f=10\text{кГц}$ и так при $f=465\text{кГц}$, что показывает неоднородное распределение заряженных локальных центров по толщине. Вычисленная концентрация заряженных локальных центров из наклона прямых зависимости C^{-2} , V лежат в пределах $10^{13} \div 10^{14} \text{см}^{-3}$ при тестовом сигнале $f=10 \text{кГц}$, а при $f=465\text{кГц}$ она равна $10^{12} \div 4 \cdot 10^{12} \text{см}^{-3}$. Разумеется, полученные значения концентрации заряженных локальных центров являются эффективными, поскольку база структуры окисного слоя TeO_2 является компенсированным материалом.

Как видно из рис. 8, потенциальный барьер возникает между инверсионным слоем и базовым полупроводником высота барьера которого

$$\phi = KT \ln \frac{P_0 n_n}{n_i}$$

при значениях $n_n=10^{17} \text{см}^{-3}$ и $P_p=10^{15} \text{см}^{-3}$ и $n_i=10^7 \text{см}^{-3}$ высота потенциального барьера $\phi=1.08 \text{эВ}$.

Заметим, что величина ϕ хорошо согласуется со значениями напряжения отсечки $V_{\text{отс}}=1.1 \text{эВ}$, определенным экстраполяцией экспериментального зависимости $C^{-2}(V)$ (в области обеднения) при $C^{-2}-V$ (O) на ось напряжения.

При построении зонный диаграмма величины $\mu \approx 0,2 \text{эВ}$, $\mu_n \approx 0,12 \text{эВ}$ были вычислены значения

$$P = N_v e^{\frac{\mu_p}{KT}}, \quad n = N_c e^{\frac{\mu_n}{KT}}$$

Исследование влияния твердого раствора $iCdTe_{1-x}S_x$ с толщиной $\sim 3\div 4$ мкм на границе раздела между слоями nCdS и pCdTe на электрофизические и фотоэлектрические свойства и на выходные параметры гетероструктуры имеет большой научный и практический интерес для создания солнечных элементов-СЭ долгосрочной службы.

В пятой главе «Влияние γ -облучения на фоточувствительные структуры» исследованы влияние облучения на структуры соединений CdTe и CdS и на механизм переноса тока в pCdTe/nCdS. Показаны влияния γ -квантов на структуры ИТО/pCdTe и CdO/CdTe и на ВАХ структуры SnO₂/pCdTe. Исследованы влияния дозы облучения γ -квантами на C-V-характеристики структур SnO₂/pCdTe. Для исследования структуры был применен высокочастотный емкостной метод полной проводимости в диапазоне частот 10кГц – 10МГц. Облучение при мощности дозы 1700 R/c проводили при 50⁰C на установке оснащенный ⁶⁰Co с энергией γ -квантов 1,2 МэВ.

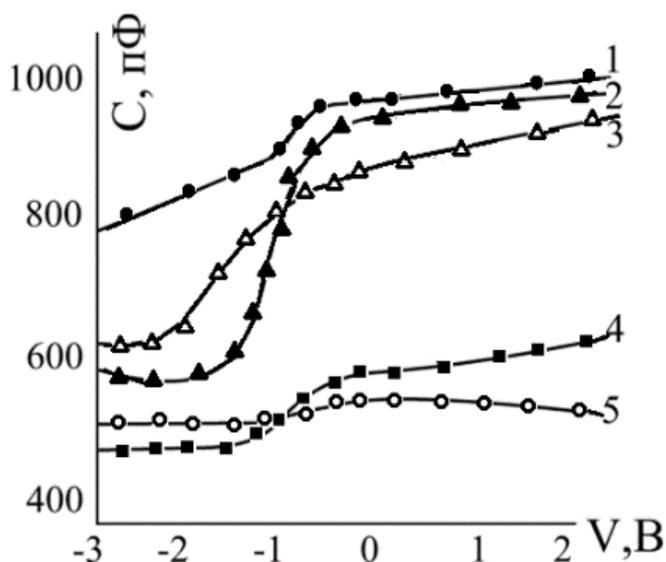


Рис.10. Экспериментальная и расчетная зависимость ёмкости от напряжения при 465 кГц до и после облучения γ -квантами структур полупроводник – диэлектрик-полупроводник : 1- Расчетное для дозы $F= 10^7$ R; 2-Экспериментальное для дозы $F= 10^8$ R; 3-Расчетное для дозы $F= 10^8$ R; 4- Экспериментальное для дозы $F=10^7$ R; 5 - Экспериментальное для дозы $F= 5 \cdot 10^7$ R

Измеренная вольтемкостная C-V характеристики структуры ИТО/pCdTe и CdO/CdTe при частоте тестового сигнала $f = 465$ кГц до и после облучения -квантами с дозой 10^7 R и 10^8 R является типичной C-V для структуры с полупроводниковой базой n – типа (рис.10).

Обнаружено немонотонное изменение емкости структуры при монотонном росте дозы облучения - квантов. Сначала емкость повышается, затем уменьшается. После облучения с дозой $F= 10^8$ R четко проявляются два участка обогащения. Ёмкость диэлектрика высокоомного слоя сильно зависит от дозы облучения. Зависимость, построенная в координатах квадратичной зависимости емкости от напряжения C^{-2} -V, в области обеднения описывается несколькими прямыми линиями. Изломы в зависимостях C^{-2} -V, которые наблюдаются в двух участках, характеризуют неоднородность базы. Определенные значения n_0 , по наклону прямых, состоящих из двух участков, до и после облучения дозой 10^7 R и 10^8 R приведены в таблице. 4.

Образование теллурида кадмия n – типа nCdTe, вероятно, обусловлено диффузией чистого атома In, Sn и Cd в процессе формирования структуры полупроводник – диэлектрик - полупроводник. Проявление неоднородности в слое теллурида кадмия n – типа связано с зеркальным отражением неоднородности приповерхностного слоя пленок теллурида кадмия p – типа, которая образовалась из-за испарения атомов кадмия из поверхности пленок CdTe p-типа. Кадмий в процессе синтеза CdTe легко улетучивается с водородом в виде соединения H₂Cd. Согласно экспериментальным данным у структуры полупроводник-диэлектрик-полупроводник ИТО/pCdTe и CdO/CdTe до и после облучения - квантами изменяется не только зависимость емкости от напряжения, но также концентрации неравновесных носителей заряда – n₀ и емкость высокоомного слоя.

Таблица 4. Влияние дозы γ - квантов на емкостные и электрофизические параметры структуры полупроводник-диэлектрик-полупроводник на основе CdTe.

Доза облучения, F, R	Концентрация неосновных носителей, n ₀ , см ⁻³	Ёмкость диэлектрического слоя C _i , пФ/см ²	Концентрация электронов прошедших через барьер n* ₀ , см ⁻³	Концентрация поверхностных состояний, N _s , см ⁻²	Толщины объемного заряда d _n , см	Толщина диэлектрического слоя d, нм
0	3×10 ¹⁴ 6×10 ¹³	934	3×10 ¹³	2.6×10 ⁹	8.7×10 ⁻⁶ 4.3×10 ⁻⁵	0,83
10 ⁷	3×10 ¹⁴ 2.4×10 ¹⁴	1150	10 ⁴	4.4×10 ⁹	1.5×10 ⁻⁵ 1.8×10 ⁻⁵	0,70
10 ⁸	7.3×10 ¹² 1.4×10 ¹²	108	5×10 ¹¹	2.5×10 ⁸	3.4×10 ⁻⁵ 1.7×10 ⁻⁴	6,70

Сопоставление экспериментальных и расчетных вольтемкостных характеристик показывает (рис.11), что до облучения измеренная емкостная зависимость от напряжения находится до подачи отрицательного обратного напряжения $|-V| \leq |0.5V|$ слева от расчетных кривых при всех положительных и отрицательных смещениях. После подачи отрицательного обратного напряжения $|-V| \geq |0.5V|$, емкостная зависимость от напряжения переходит на правую сторону.

Независимо от типа проводимости подложки положительный заряд на поверхности Q_s сдвигает емкостной зависимость от напряжения в сторону отрицательных напряжений смещения, отрицательный заряд Q_s – в сторону положительных смещений. Поэтому мы вправе считать, что на границе оксид-полупроводник до и после облучения дозой F= 10⁸ R преобладают положительно заряженные поверхностные состояния.

Приравнивая плотности поверхностных состояний поочередно к плотности электронов, найденных на различных участках квадратичной зависимости емкости от приложенного напряжения C⁻²-V_{по} определяли

толщину неоднородных областей в nCdTe и ее динамику изменения после облучения различной дозой γ - квантов (см. таблицу 4). Частотными исследованиями установлено, что теллурид кадмия n типа является, неоднородным не только по толщине, но и по составу. Акцепторные центры на границе раздела, диэлектрик-полупроводник и в базовом слое структуры преимущественно проявляются сравнительно при низких частотах ($10^3 \div 10^4$ Гц), донорные центры доминируют при частоте 10 кГц и выше. На границе раздела, диэлектрик-полупроводник преимущественно скапливаются, радиационные дефекты донорного типа, в то же время при поверхностных слоях базового материала преобладают заряженные активные локальные центры акцепторного типа. Об этом свидетельствует наличие плато в емкостной зависимости от напряжения C-V зависимости ($f=10$ кГц) на отрицательной оси напряжения (см. рис.11).

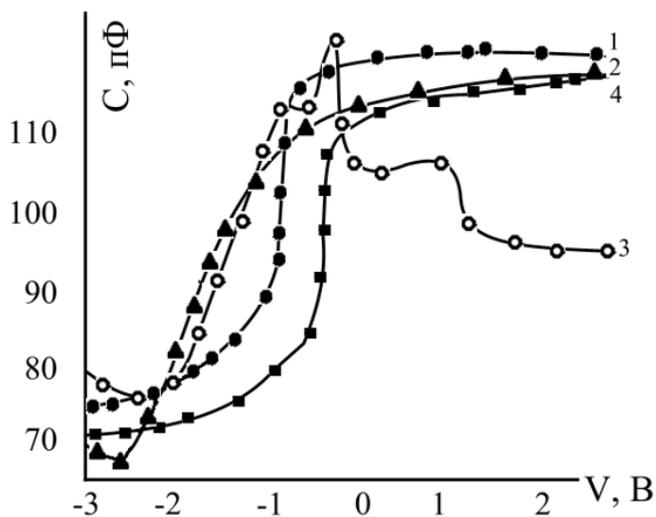


Рис.11. Экспериментальная и расчетная зависимость ёмкости от напряжения при 10 кГц до и после облучения γ - квантами структур полупроводник – диэлектрик-полупроводник : 1- Расчетное для дозы $F=10^7$ R; 2- экспериментальное для дозы $F= 10^8$ R; 3-Расчетное для дозы $F=10^8$ R; 4- экспериментальное для дозы $F= 10^7$ R

Высокоомный переходной слой между поликристаллическими слоями р-типа теллурида кадмия CdTe и проводящими широкозонными полупроводниковыми слоями ИТО – смесь оксидов индия и олова и CdO - оксида кадмия, неоднороден как по толщине, так и по составу. Глубина залегания переходного оксидного слоя составляет $\approx 1 \div 2$ мкм.

Показано, что до дозы облучения $F \leq 10^8 \div 5 \times 10^8$ R на границе раздела оксид – полупроводник и в толщине базы преимущественно скапливаются примеси (дефекты) донорного происхождения, а при дозах облучения $F > 10^8 \div 5 \times 10^8$ R – акцепторного типа. Примеси (дефекты), комплексы акцепторного типа на границе раздела, диэлектрик – полупроводник теллурид кадмия CdTe наиболее выражено проявляются при частоте тестового сигнала 10^4 Гц, концентрация поверхностных состояний N_s донорного типа проявляются при частоте 465 кГц и выше.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана технология получения поликристаллических плёнок CdTe с оптимальными выходными параметрами методами газотранспортной

реакцией в потоке водорода, магнетронным ионным распылением и вакуумным нанесением.

2. впервые разработаны оптимальные технологические режимы создания фоточувствительных структур на основе поликристаллического теллурида кадмия - барьеры Шоттки МДП, ПДП, МОП и гетероструктуры CdTe/CdS, обладающие фотовольтаическими параметрами, устойчивыми к внешним воздействиям - солнечному свету и температуре и охватывающие широкий спектр диапазона солнечного излучения;
3. впервые определены способы выращивания тонкого слоя сульфида кадмия CdS в квазизамкнутом объеме вакууме и получения прозрачных проводящих слоев оксидов металла SnO₂, In₂O₃, ITO, CdO методом магнетронного ионного распыления;
4. впервые обнаружено, что на границе раздела между прозрачными слоями и поликристаллическим слоем CdTe, образуется диэлектрический слой из оксида TeO₂ в процессе нанесения прозрачных оксидов SnO₂, In₂O₃, ITO, CdO;
5. впервые установлены механизмы переноса тока в фоточувствительных структурах на основе CdTe и определены высота барьера, базовое сопротивление, диффузионная длина, время жизни носителей и толщина базовой зоны барьерных структур Шоттки, МДП, ПДП-структур;
6. Впервые установлено, что на гетерогранице структуры CdTe/CdS между пленками CdTe и буферным слоем CdS формируется высокоомный, сильно неоднородный слой твердого раствора CdTe_{1-x}S_x обусловленный диффузией серы S в CdTe и теллура Te в CdS и построена энергетическая зонная диаграмма полученных фоточувствительных структур.
7. Показано, что γ - облучение приводит к немонотонному изменению времени жизни неосновных носителей заряда τ и расширению толщины высокоомного промежуточного слоя d на границе барьеров Шоттки и структур МДП, ПДП и солнечных элементов на основе гетероструктуры CdTe/CdS с ростом дозы γ - облучения.
8. Установлено, что при дозах облучения $F \leq 5 \cdot 10^7 \div 10^8$ R в твердом растворе CdTe_{1-x}S_x преимущественно скапливаются положительно заряженные радиационно стимулированные локальные центры донорного типа, характеризующиеся достаточно малыми временами захвата ($\tau_{зах} \approx 10^{-6} \div 10^{-8}$ с), а при дозах $F > 5 \cdot 10^7 \div 10^8$ R скапливаются дефектные центры акцепторного типа, которые характеризуются сравнительно большими временами захвата ($\tau_{зах} \approx 1/f = 10^{-3} \div 10^{-4}$ с).
9. впервые на основе тонких слоев CdTe были созданы новые термостабильные светочувствительные фотоприемники и фотопреобразователи, предназначенные для эксплуатации в электронных устройствах с долговременным сроком службы.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.03/30.12.2019.FM/T.01.12 ON AWARDING
SCIENTIFIC DEGREES AT THE RESEARCH INSTITUTE OF
SEMICONDUCTOR PHYSICS AND MICROELECTRONICS AT THE
NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN**

**RESEARCH INSTITUTE OF SEMICONDUCTOR PHYSICS AND
MICROELECTRONICS AT THE NATIONAL UNIVERSITY OF
UZBEKISTAN**

MUZAFAROVA SULTANPASHA ANVAROVNA

**ELECTRO PHYSICAL AND OPTICAL PROPERTIES OF
PHOTOSENSITIVE STRUCTURES BASED ON POLYCRYSTALLINE
CADMIUM TELLURIDE FILMS**

0.01.10 - Physics of Semiconductors

**ABSTRACT OF THE DOCTOR'S DISSERTATION (DSc) PHYSICAL AND
MATHEMATICAL SCIENCES**

Tashkent –2023

INTRODUCTION (Abstract of doctoral (DSc) dissertati

The aim of the thesis is to de a technique for growing polycrystalline CdTe films and multilayer photosensitive systems, photosensitive structures based on them with a cheap, easily controllable technology, providing the required physical, optical properties and a comprehensive study of their composition, phase structure, energy state. Study of the mechanisms of the observed phenomena, development of practical recommendations for the application of the discovered effects in new devices of solid-state electronics.

Research objectives:

to study the technological possibilities of creating thin films of cadmium telluride, cadmium sulfide and transparent leading oxides with various methods in combination with doping, annealing (in vacuum, atmosphere);

to determine the influence of the contact areas of the rear and front contacts on the current characteristics of semiconductor film structures based on CdTe;

determine the characteristic parameters - the concentration of charge carriers, the height of the potential barrier and other basic parameters of the structures;

determine the electrophysical and photoelectric characteristics of the fabricated structures;

Determine the optimal modes of their formation of cadmium telluride films.

- to develop a method for obtaining stable thin base films of cadmium telluride with the required specified parameters.

- to investigate the structure and properties of CdTe, CdS films and transparent conducting layers SnO₂, In₂O₃, ITO, CdO.

- based on the obtained polycrystalline CdTe films to fabricate photosensitive structures:

- Schottky barrier Au-pCdTe-Mo-structure;

- MDS, SIS structure

- CdTe / CdS heterostructures

- to study the technological features of the formation of photosensitive structures such as the Schottky barrier, heterostructure, MOS and SIS structures.

- to identify the main mechanisms of the patterns of current flow in them;

- Investigation of the structure and composition of transition layers at the metal-semiconductor, semiconductor-semiconductor interface in Schottky barrier, MDS, SIS structures and on CdTe / CdS heterostructures.

- to study the photoelectric and optical properties of structures such as Schottky barriers, heterostructures, MDS and SIS.

- Build an energy band diagram of the created photosensitive structures;

- to study the roles in the electrophysical and photoelectric properties of the transition intermediate layer at the metal-semiconductor interface, Schottky barrier, MDS, SIS and interface on CdTe / CdS heterostructures.

- to study the influence of external influences on the properties of device structures such as the Schottky barrier, MDS, SIS and CdTe / CdS heterostructures based on cadmium telluride.

give scientifically grounded recommendations on the use of the results obtained in the development of new electronic devices.

The objects of study are the structures of the Schottky barrier, MDS, SIS, MOS and CdTe / CdS heterostructures based on polycrystalline cadmium telluride CdTe.

The subject of research is the regularities and physical mechanisms of the formation of thin films of cadmium telluride on the surface of a metal - molybdenum, wide-gap semiconductor oxides, transition interface nanolayers in the created structures.

Research methods. Morphological studies of cadmium telluride layers were also investigated on a Jeol-JXA-8900 microanalytical complex using a LINK ISIS energy-dispersive spectrometer (EDS) (Japan), the crystal structure of a cadmium telluride film was studied using an X-ray diffractometer (DRON-3M, with CuK α radiation $\lambda = 0.15418\text{nm}$), Study of the nature of the high-resistivity intermediate layer located at the boundary of the transition layer of the Schottky barrier, MDS, SIS, and on CdTe / CdS heterostructures, measurements were carried out on the Kameka setup, by X-ray microanalysis, OJE spectroscopy, neutron activation analysis - NAA. To determine the composition and lattice parameter of the formed material at the interface of the transition layer at the interface of the Schottky barrier, SIS, MDS, CdTe / CdS heterostructures, studies were carried out by X-ray structural analysis and photoelectric methods. To study the optical, photoelectric and electrophysical properties of the obtained films of cadmium telluride and structures based on it, approved standard methods for measuring the light and dark current-voltage and capacitive characteristics were used.

The scientific novelty of the research is as follows:

a technology has been developed for obtaining polycrystalline CdTe films with optimal output parameters by methods of gas transport reaction in a hydrogen flow, magnetron ion sputtering and vacuum deposition. Optimized technological parameters for the creation of thin perfect CdTe films with the specified required parameters for the formation of a number of photosensitive structures, such as the Schottky barrier, MIS, SDS and CdTe / CdS heterostructures;

It is shown that it is possible to create structures stable to external influences based on polycrystalline cadmium telluride of the SnO₂ / pCdTe, In₂O₃ / pCdTe type, covering a wide spectrum of photosensitivity of solar radiation and ITO / pCdTe, CdO / CdTe with heat-resistant photoelectric parameters, which are achieved by selecting technological modes for obtaining dielectric the TeO₂ layer at the interface between the polycrystalline CdTe film and the upper electrode formed due to oxidation of the surface layer of CdTe films enriched with tellurium atoms during the deposition of a buffer transparent layer based on metal oxides SnO₂, In₂O₃, ITO, CdO;

The study of the temperature dependence of the I - V characteristic shows the dependence of the current on the voltage; the mechanism of current transfer of the structures of the Schottky barrier, MIS, PDS, MOS and CdTe / CdS heterostructures is revealed. The coefficients for each exponent of the I - V characteristic were determined, the coefficients of nonideality, the barrier height, the base resistivity, the diffusion length, the carrier lifetime and the thickness of the base region of the

Schottky barrier structures, MIS, SIS, MOS and CdTe / CdS heterostructures were calculated;

By comparing the calculated and experimental C (V) characteristics at test signal frequencies $f = 10$ kHz and $f = 465$ kHz for the ITO / pCdTe and $\text{In}_2\text{O}_3/\text{pCdTe}$ and $\text{SnO}_2/\text{pCdTe}$ structures and CdTe/CdS heterostructures, the distributions of the surface state density are determined as a function of the surface potential and concentration of charge carriers, the height of the barrier is estimated. A zone diagram for the resulting structures has been compiled;

It was found that at the heterointerface of the CdTe / CdS structure between the CdTe films and the CdS buffer layer, a high-resistivity, highly inhomogeneous solid solution layer is formed due to the diffusion of sulfur S in CdTe and tellurium Te in CdS, which is the base. It is shown that this layer is a $\text{CdTe}_{1-x}\text{S}_x$ solid solution. The band diagram of the CdTe / CdS heterostructure was compiled taking into account the transition layer of the $\text{CdTe}_{1-x}\text{S}_x$ interface;

It has been shown experimentally that at irradiation doses of $F \leq 5 \cdot 10^7 \div 10^8$ R in the $\text{CdTe}_{1-x}\text{S}_x$ solid solution, positively charged radiation-stimulated donor-type defects predominantly accumulate, and at doses $F \leq 5 \cdot 10^7 \div 10^8$ R defect acceptor type accumulate. It was found that radiation-stimulated electrically active local centers of an acceptor nature are characterized by relatively long capture times ($\tau_{\text{ax}} \approx 1/f = 10^{-3} \div 10^{-4}$ s) while radiation-stimulated electrically active local donor-type centers are characterized by rather short capture times ($\tau_{\text{ax}} \approx 10^{-6} \div 10^{-8}$ s);

It is shown that the dependence of the output parameters of the structures of the Schottky barrier, MDS, SIS, and solar cells based on the CdTe / CdS heterostructure on the γ - irradiation dose is nonmonotonic due to the nonmonotonic change in the lifetime of minority charge carriers τ and the expansion of the thickness of the high-resistance intermediate layer d at the interface of the structures with increasing dose γ - radiation;

It has been experimentally shown that not only the short-circuit current, but also the efficiency of solar cells based on CdTe / CdS heterostructures can increase with an increase in the dose of γ - irradiation due to a sharp increase in the lifetime of minority charge carriers with an increase in their concentration. In this case, an increase in the efficiency with a dose takes place as a result of a faster increase in the short-circuit current in relation to a decrease in the open circuit voltage;

A wide-gap semiconductor layer of molybdenum oxide MoO_3 and other components created on the basis of a molybdenum substrate at the Mo and CdTe interface was found in the structures of the Schottky barrier, MIS, PDP and on the CdTe / CdS heterostructures. Compound CdTe with MoO_3 oxide favorably affects the efficiency of light absorption in device structures. This process occurs in a single technological cycle during the formation of CdTe films on a Mo substrate.

Approbation of research results. The main results of the dissertation were presented and discussed at 25 international and 17 republican scientific conferences. **Publication of research results.** On the subject of the dissertation 56 scientific papers were published 18 articles of them published in journals recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan/

The structure and scope of the disertation. The research work consists of introduction, five chapters, a conclusion. It is presented on 200 pages, including 81 figures, 39 tables and 141 references.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙЎАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED SCIENTIFIC WORKS
I-бўлим (I часть, part I)

1. Музафарова С.А. Термодинамический расчёт парциальных давлений составляющих газовой фазы теллурида кадмия, в потоке водорода. // Uzbek Journal of Physics.– 2005. №4(7). – С.272-276. (01.00.00; №5).

2. Мирсагатов Ш. А., Музафарова С.А., Шукуров А.Х., Азимходжаев Х.О. Исследование электрофизических свойств крупноблочных поликристаллических пленок CdTe. // Доклады. АН РУз. –2005. №5. – С.15-18. (01.00.00; №7).

3. Музафарова С.А., Мирсагатов Ш.А. Исследование ультразвукового воздействия на гетероструктуру nCdS/pCdTe // Украинский физический журнал. –2006. №11-12. Т.51.– С.1125-1129 (01.00.00; №51).

4. Mirsagatov Sh ,Muzafarova S.A.,A., Janabergenov J. Mechanism of charge Transfer in n-CdS/p-CdTe heterojunctions // Journal of physics of Solid State. –2007, –V.49. №6. –pp.1168-1174. (№3 Scopus).

5. Музафарова С.А., Мирсагатов Ш.А., Жанабергенов Ж. Исследование промежуточного слоя гетерогранице n+ CdS-pCdTe// ФТП. – 2008. Т.42. №12. –С.1409-1413. (№3 Scopus).

6.Мирсагатов Ш.А., Музафарова С.А., Баиев М.С., Ачилов А.С. Исследование реального строения диода с барьером Шоттки Al – pCdTe // Uzbek Journal of Physics. –2010. –Vol.12. №3. – С.154-160. (01.00.00; №5).

7. Музафарова С.А.Ёруғлик сезувчан курилмани тайёрлаш услуги. 25.11.2005. Утверждено 2008 г. Патент № IAP 03702.

8. Музафарова С.А. Определение усредненных среднеквадратичных динамических смещений теллурида кадмия в зависимости от температуры // Доклады Академии Наук Республики Узбекистан. – 2006. №4.–С.12-16. (01.00.00; №7).

9. Музафарова С.А., Жанабергенов Ж. Образование твердых растворов CdTe_{1-x}S_x на гетерогранице CdTe/CdS // Журнал “Неорганические материалы”. – 2007. Том 43, №7. – С.1-3. (№3 Scopus).

10. Музафарова С.А., Усаров А. Влияние γ - квантов на крупноблочные структуры теллурида кадмия // Атомная энергия. –2008. Том 104, выпуск 2. – С.122-124. (№3 Scopus).

11. Музафарова С.А. Айтбаев Б.У., Мирсагатов Ш.А., Дуршимбетов К., Жанабергенов Ж. Исследование промежуточного слоя на гетерогранице nCdS/pCdTe // ФТП. – 2008.Том 42, №12. – С.1409-1414. (№3 Scopus).

12. Утамурадова Ш.Б., Музафарова С.А. Ачилов А.С., Файзуллаев.К.М. Тонкие пленки твердого раствора соединения A²B⁶ на основе Cd_xZn_{1-x}S выращенные в потоке инертного газа – водорода. // Euroasian Journal of

Semiconductors Science and Engineering. –2021. –Том 3, выпуск 5.–С.52-57. (01.00.00; №16).

13. Музафарова.С.А. Фотоприемник на основе МОП структуры pCdTe/ITO. Uzbek journal of Physics. – Vol. 12(№3).–2011.– С.157-160. (01.00.00; №5).

14. Музафарова С.А. Мирсагатов Ш.А., Шамирзаев С.Х., Айтбаев Б.У., Султонов А.И. Об одном механизме диффузии атомов Cd в p-CdTe // Гелиотехника. – 2000. – С.22-29. (01.00.00; №1).

15. Утамурадова Ш.Б., Музафарова С.А. Влияние дозы γ - облучения на механизм переноса тока фотоприемников с ПДП структурой pCdTe-TeO₂-n SnO₂ // Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering. – 2019. Том 1, выпуск 6. – С.71-76. (01.00.00; №16).

16. Utamuradova Sh.B., Muzafarova S.A. Research of The Boundary of The Section of a Photo Receiver Based on MOS pCdTe/CdO Structures // The American Journal of Applied Sciences. – 2020. pp. – 97-105. (SJIF=5.276).

17. Утамурадова Ш.Б., Музафарова С.А., Абдугофуров А.М., Файзуллаев К.М., Наурзалиева Э.М. . РахмановД.А. Характеристики детекторов рентгеновского и гамма-излучения на основе поликристаллических пленок CdTe и CdZnTe // Прикладная физика. – 2021. №4. – С.81-83. (№3 Scopus).

18. Утамурадова Ш.Б., Музафарова С.А. Исследование электронных процессов ёмкостным методом в облученных структурах pCdTe-TeO₂-n SnO₂ γ -квантами. // Semiconductor Physics and Microelectronics. – 2020. –Volume 2, Issue 2. –pp 63-69. (01.00.00; №16).

II бўлим (II часть, part II)

19. Утамурадова Ш.Б.,Музафарова С.А. Последовательное сопротивление фотопреобразователей SnO₂/pCdTe, ITO/pCdTe и In₂O₃/pCdTe на основе теллурида кадмия // Евразийский Союз Ученых. Серия: технические и физико-математические науки. – 2021. Том 1. № 12(93). – С.61-66.

20. Утамурадова Ш.Б., Muzafarova S.A., Кенжаева З.С. Analysis of serial resistance of film photo converters with sis structure based on polycrystalline cadmium telluride // American Journal of Engineering Research (AJER). – 2022. – Vol.11, Issue 1. –pp. 31 - 35.

21. Утамурадова Ш.Б., Muzafarova S.A., Кенжаева З.С. Study of surface states of in-nITO-pCdTe structures based on large-block polycrystalline films pCdTe // IOSR Journal of Applied Physics (IOSR-JAP). – 2022. – Vol. 14, Issue 1. – pp. 51-56. 10.9790/4861-1401015156.

22. Утамурадова Ш.Б., Музафарова С.А. Фотоэлектрические свойства структур SnO₂/pCdTe, In₂O₃/ pCdTe., ITO/ pCdTe, // European Research Forum Сборник статей V Международной научно-практической конференции. Петрозаводск. – 2021. – С.106-112.

23. Музафарова С.А. Механизм дефектообразования и радиационная стойкость полупроводниковых соединений A₂B₆. // LAP LAMBERT Academic Publishing RU. LAP LAMBERT Academic Publishing www.lap-publishing.com. –2020.–С.1-58.

24. Мирсагатов Ш.А., Музафарова С.А., Шукуров А.Х. Структура и морфология поликристаллических пленок CdTe // Труды Международной конференции, посвященной 90-летию академика С.А.Азимова «Фундаментальные и прикладные вопросы физики». – Ташкент, 18-19-Ноябрь. – 2004. – С.306-308.

25. Музафарова С.А. Температурная зависимость средней квадратичных динамических смещений текстурированных, крупнозернистых поликристаллов теллурида кадмия. // Труды Международной конференции, посвященной 90-летию академика С.А.Азимова «Фундаментальные и прикладные вопросы физики», – Ташкент, – 18-19-Ноябрь, – 2004. – С.308-311.

26. Музафарова С.А. Исследование межфазного взаимодействия базового слоя CdTe с хлоридом кадмия CdCl₂. // Материалы конференции посвященная 15-летию независимости Узбекистана. – Ташкент. 26-27 октября. – 2006. – С.251.

27. Мирсагатов Ш.А., Музафарова С.А. Вольтемкостные характеристики гетеросистемы nCdS/pCdTe // Материалы конференции посвященная 15-летию независимости Узбекистана. –Ташкент. 26-27 октября 2006. – С.254

28. Шукуров А.Х., Музафарова С.А., Хужаназаров М.Т., Ачилов А.С., Собиров А.З. Влияние ультразвукового воздействия на генерационные характеристики границы раздела ПДП структуры CdTe/ITO. // «Замонавий физиканинг фундаментал ва амалий муаммолари» Республика илмий-амалий анжумани материаллари тўплами. –Тошкент, – 2007. – С.156-158.

29. Mirsagatov Sh., Muzafarova S.A., Achilov A.C., Mavlanov A.A., Atabaev O.K. The mechanism of charge transport in diodes with Schottky barrier based on large-block films p CdTe, when included in the blocking direction. // Материалы международной научно-технической конференции - МИРЭА. 14-17 ноября . – Москва. –2011 . Часть 2. – С.51-54.

30. Музафарова С.А., Атабоев О.К., Ачилов А.С., Мавлонов А.А. Электрофизические и фотоэлектрические свойства CdO-pCdTe-структуры. // Материалы международной научно-технической конференции - МИРЭА. 14-17 ноября. –Москва. – 2011 г. Часть 2. – С.170-172.

31. Музафарова С.А . Прозрачные оксидные слои SnO₂, In₂O₃, ITO и МДП И ПДП структуры на их основе . // LAP LAMBERT Academic Publishing RULAP LAMBERT Academic Publishing www.lap-publishing.com.– 2020.– С.1-42.

32. Muzafarova S.A. Formation of a high-resistance thin i-layer at heteroboundary of the nCdS/pCdTe solar cell. // Prospects of development of science and education proceedings of first conference 27 April.–2020. –p.493.

33. Утамурадова Ш.Б., Музафарова С.А. Влияние технологических условий газотранспортного синтеза на особенности границы структуры Cd_xZn_{1-x}S_xC. // International scientific journal«Global science and innovations 2020: central Asia». Nur-sultan, Kazakhstan, june-july .–2020. – pp.22 - 25.

34. Музафарова С.А. Физические процессы в тонкопленочных солнечных элементах nCdS/pCdTe. // LAP LAMBERT Academic Publishing RULAP LAMBERT Academic Publishing www.lap-publishing.com.– 2020.–С.1-63.

35. Утамурадова Ш.Б., Музафарова С.А. Исследование вольтамперной характеристики Солнечного элемента $nCdS/pCdTe$ с тонким переходным i -слоем в зависимости от температуры // Proceedings of Ingenious Global Thoughts An International Multidisciplinary Scientific Conference Hosted from San Jose. – California, November 29 th, – 2020. – pp.136-138.

36. Утамурадова Ш.Б., Музафарова С.А. Свойства легированных атомами индия поликристаллических пленок сульфида кадмия $nCdS$. // Proceedings of Ingenious Global Thoughts An International Multidisciplinary Scientific Conference Hosted from San Jose. California, November 29th.– 2020. – pp.139-141.

37. Музафарова С.А., Музафарова.Г.А. Поверхностные состояния границы раздела структур ИТО- $pCdTe$ на основе пленок $pCdTe$. // LVII Международная научная конференция «Техноконгресс» журнала «Точная наука». – Кемерово, апрель.– 2020.– С.7-11.

38. Музафарова С.А. Фотоэлектрические свойства гетероструктур $CdS/CdTe$. // LAP LAMBERT Academic Publishing RULAP LAMBERT Academic Publishing www.lap-publishing.com. – 2020.– С. 40.

39. Утамурадова Ш.Б., Музафарова С.А. Инверсионные фотоприемники и применения их для контроля пламени по спектру излучения в котлоагрегатах. // Электронный инновационный вестник. №4. – 2020, – С.4-6.

40. Утамурадова Ш.Б., Музафарова С.А. Свойства поликристаллических пленок сульфида кадмия CdS легированных атомами индия. // Электронный инновационный вестник. №3. – 2020, – С.4-7.

41. Музафарова.С.А . Поликристаллические пленки $CdTe$ столбчато-ориентированными зернами . //LAP LAMBERT Academic Publishing RU LAP LAMBERT Academic Publishing www.lap-publishing.com. –2020.– С.1-66.

42. Музафарова С.А. Поверхностные состояния структур $nITO-pCdTe$ на основе поликристаллических пленок $pCdTe$. // ”Science and education” scientific journal.– Vol. 1. Issue 2. – 2020 may.– pp.57-60.

43. Музафарова С.А., Музафарова Г.А. Фотоприемник селективно перестраиваемым спектром на основе барьера Шоттки $Zn_xCd_{1-x}S-Au$. // Сборник центр наукових публікацій. – Велес, Киев.– 2020. – С.76-85.

44. Утамурадова Ш.Б., Музафарова С.А., Абдугафуров А.М. Исследование стабильности эксплуатационных параметров фотоприемников ПДП структурой $pCdTe-TeO_2-CdO$ и $pCdTe-TeO_2-ITO$ фоточувствительностью в области спектра 0,3-0,4 мкм. // Электронный инновационный вестник. №6. – 2021, – С.7-9.

45. Ш.А.Мирсагатов, С.Х.Шамирзаев, С.А. Музафарова, М.А.Махмудов. С.И.Садыков. Роль диффузии собственных компонентов в деградационных процессах в теллурид-кадмиевых солнечных элементах. Гелиотехника. №5.– 1998. – С.20-25.

46. Ш.А.Мирсагатов, С.Х.Шамирзаев, С.А. Музафарова, М.А.Махмудов. Диффузия меди в крупноблочных поликристаллических пленках $CdTe <Pb>$. Гелиотехника.№5 .– 1999 . – С.68-75.

47. Утамурадова Ш.Б., Музафарова С.А. Исследование гетерограницы солнечного элемента на основе поликристаллического слоя CdTe фотоэлектрическим методом журнал. // Электронный инновационный вестник. №7.– 2021.– С.4-7.

48. Утамурадова Ш.Б., Музафарова С.А., Кенжаева З.С. Исследование транспорта основных носителей заряда в поликристаллах CdTe с крупными зёрнами. // 13th International Scientific and Practical Internet Conference. – Dnipro, Ukraine, October 18-19.– 2021.– pp.227-230.

49. Utamuradova Sh.B., Muzafarova S.A., Fayzullaev K.M. Study of electronic processes in a heterojunction with p-i-n-model pCdTe-iCdTe_{1-x}S_x-nCdS. // IX International Scientific Conference "Actual Problems of Solid State Physics". – Minsk. Belarus. – 22-26 November.– 2021. – pp.32-35.

50. Мирсагатов Ш.А., Музафарова С.А. Махмудов М.А., Книгин П.И. Фотопреобразователи на основе структур CdTe-CdO // Гелиотехника. – 1991. №1.– С.45-47. (01.00.00; №1).

51. Утамурадова Ш.Б., Музафарова С.А. Абдугафуров А.А. Прозрачные проводящие покрытия на основе оксидов металлов. // IX Международная конференция Фотоника и информационная оптика. – Москва, ИЯФ, 28 январь.– 2022. – С.217.

52. Музафарова С.А., Алиев А.А., Мирсагатов Ш.А., Абдувайитов А.А. Исследование примесного состава и химического состояния синтезированных плёнок теллурида кадмия CdTe на молибденовых Мо подложках из паровой фазы методом ЭОС. // Труды Международной конференции, посвященной 90-летию академика С.А.Азимова «Фундаментальные и прикладные вопросы физики». – Ташкент, 18-19-Ноябрь. – 2004. – С.211-214.

53. Абдугофуров А.М., Музафарова С.А., Рамазонов А.У. Методы получения оптически прозрачных токопроводящих покрытий. // International Scientific Journal “Global science and innovations 2021: Central Asia”. Nur-Sultan, Kazakhstan, February.– 2021. – p.137.

54. Muzafarova S.A., Kenjaeva Z.S, Shomukhamedova D., Shukurova D., Ibragimova B. Method of measuring the lifetime τ of non-equable non-basic charge carriers // Journal Design Engineering Review Letters. – 2021. № 9. –pp.13072-13081.

55. Утамурадова Ш.Б., Музафарова С.А., Хамдамов Ж.Ж., Кенжаева З.С., Рамазонов А.У. Фотопроводимость крупноблочных поликристаллических плёнок pCdTe. // Яримўтказгичлар ва полимерлар физикасининг долзарб муаммолари.– Тошкент, 1 февраль.– 2022. – Б.70-72.

56. Музафарова С.А., Нурматова Г.И., Кушимметов А.М. Исследование МОП структуры nCdO/pCdTe.//Яримўтказгичлар ва полимерлар физикасининг долзарб муаммолари. – Тошкент, 1 февраль. 2022.– Б.73-75.

Автореферат “Тил ва адабиёт таълими” журнали тахририятида тахрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларини мослиги текширилди (04.03.2023 йил).

Бичим 60x841/16. Рақамли босма усули. Times гарнитураси.

Шартли босма табағи: 4. Адади 60. Буюртма №38

Гувоҳнома reester № 10-4434

Яримўтказгичлар физикаси ва микроэлектроника илмий-тадқиқот институти
босмаҳонасида chop этилган.

Босмаҳона манзили: 100057, Тошкент ш., Янгиолмазор кўчаси 20-уй

