

**ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҚОШИДАГИ
ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАР ФИЗИКАСИ ВА МИКРОЭЛЕКТРОНИКА
ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.30.08.2019.FM/T.01.12 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

НУКУС ДАВЛАТ ПЕДАГОГИКА ИНСТИТУТИ

АБДИЖАЛИЕВ СУЛТАНБЕК КАЛЛИБЕКОВИЧ

**ТЕРМИК ВА МИКРОТЎЛҚИНЛИ ИШЛОВЛАРНИ
 $TiV_x(ZrV_x)-n-SiC_6H$ ШОТТКИ ТЎСИҚЛИ КАРБИДКРЕМНИЙ
ДИОДЛИ СТРУКТУРАЛАРНИНГ ЭЛЕКТРОФИЗИК ХОССАЛАРИГА
ТАЪСИРИ**

01.04.10 – Яримўтказгичлар физикаси

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD) ДИССЕРТАЦИЯСИ
АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2019

**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**

Абдижалиев Султанбек Каллибекович

Термик ва микротўлқинли ишловларни $TiB_x(ZrB_x)$ -n-SiC₆H
Шоттки тўсикли карбидкремний диодли структураларнинг
электрофизик хоссаларига таъсири..... 3

Абдижалиев Султанбек Каллибекович

Влияние термических и микроволновых обработок на
электрофизические свойства карбидкремниевых диодных структур с
барьером Шоттки $TiB_x(ZrB_x)$ -n-SiC₆H..... 23

Abdizhaliev Sultanbek Kallibekovich

Influence of thermal and microwave treatments on electrophysical
properties of silicon carbide diode structures with Schottky barrier
 $TiB_x(ZrB_x)$ -n-SiC₆H..... 43

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works..... 47

**ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҚОШИДАГИ
ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАР ФИЗИКАСИ ВА МИКРОЭЛЕКТРОНИКА
ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ ХУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.30.08.2019.FM/T.01.12 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

НУКУС ДАВЛАТ ПЕДАГОГИКА ИНСТИТУТИ

АБДИЖАЛИЕВ СУЛТАНБЕК КАЛЛИБЕКОВИЧ

**ТЕРМИК ВА МИКРОТЎЛҚИНЛИ ИШЛОВЛАРНИ
 $TiV_x(ZrV_x)-n-SiC_6H$ ШОТТКИ ТЎСИҚЛИ КАРБИДКРЕМНИЙ
ДИОДЛИ СТРУКТУРАЛАРНИНГ ЭЛЕКТРОФИЗИК ХОССАЛАРИГА
ТАЪСИРИ**

01.04.10 – Яримўтказгичлар физикаси

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD) ДИССЕРТАЦИЯСИ
АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2019

**Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси
Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида
B2017.3.PhD/FM142 рақам билан рўйхатга олинган.**

Докторлик диссертацияси Нукус давлат педагогика институтида бажарилган.

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

Илмий раҳбар:	Камалов Амангелди Базарбаевич физика-математика фанлари доктори, доцент
Расмий оппонентлар:	Расулов Рустам Явқачевич доктор физика-математика фанлари доктори, профессор Зикриллаев Нурулла Фатхуллаевич физика-математика фанлари доктори, профессор
Етакчи ташкилот:	Андижон давлат университети

Диссертация ҳимояси Ўзбекистон Миллий университети қошидаги Яримўтказгичлар физикаси ва микроэлектроника илмий тадқиқот-институти ҳузуридаги илмий даражалар берувчи DSc.30.08.2019.FM/T.01.12 рақамли илмий кенгашнинг 2019 йил «___» _____ соат _____ 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 Ахборот технологияларини жорий этиш бўлимида танишиш мумкин. (___ рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100057, Ўзбекистон, Тошкент шаҳри, Янги Олмазор кўчаси, 20-уй. Тел.: (+99871) 248-79-59; e-mail: info@ispm.uz),

Диссертация автореферати 2019 йил «___» _____ да таркатилди.
(2019 йил «___» _____ даги рақамли реестр баённомаси)

Ш.Б. Утамурадова
Илмий даражалар берувчи
Илмий кенгаш раиси, ф.-м.ф.д., профессор

С.С. Насриддинов
Илмий даражалар берувчи
Илмий кенгаш котиби т.ф.д., доцент

А.Т. Мамадалимов
Илмий даражалар берувчи Илмий
кенгаш қошидаги илмий семинар раиси,
ф.-м.ф.д., академик

КИРИШ (Фалсафа доктори диссертацияси (PhD) аннотацияси).

Диссертация мавзусининг зарурати ва долзарблиги. Ҳозирги вақтда, замонавий сенсорли электроникада кремний карбиди асосида Шоттки тўсиғили сирт тўсиқли структуралар (СТС) юқори температурали датчик ва ионизацияловчи нурланиш детектори сифатида қўлланилмоқда. Бундай элементларнинг ўзига ҳослиги юқори ҳароратга ва радиацияга бардошлиги бўлиб, масалан, атом электр станцияларининг иссиқлик майдонларини мониторинг қилишда, ҳарбий техникада бир қатор махсус қўлланишларда ва шунга ўқшаш масалаларда катта аҳамиятга эгадир. Шоттки тўсиғили сирт тўсиқли структуралари, арсенидгаллийли Шоттки затворли майдонли транзисторларни ишчи ҳароратларидан 2-3 маротаба юқори бўлган ҳароратларда ишлай олиш имконияти билан шартланган, кремний карбиди майдонли транзисторларнинг затвори сифатида ҳам қўлланилмоқда. Кремний карбиди яримўтказгичлар орасида юқори термик ва кимёвий ҳамда радиацияга бардошлик каби тенги йўқ электрофизик хоссалари билан ажралиб туради ва бу яримўтказгичли бирикмалар асосидаги асбоблар билан рақобатлашувчи, SiC асосидаги турли асбоблар структураларини яратиш имкониятларини очади. Шунинг билан бирга, ўтиш майдонининг катта қиймати тартибига кремнийга нисбатан, кремний карбидини легирланиш даражасини икки тартибгача ошириш ва унинг асосидаги асбобларнинг чидамлилиқ қувватини ошириш имконини беради. Базавий материали кремний карбиди бўлган юқори ҳароратли каттик жисмли электрониканинг элемент базасининг кутилувчи афзаллиқларини амалга ошиши нафақат яримўтказгич материалларининг сифатига, балки омик ва тўсиқ контактлар сифатига ҳам боғлиги катта аҳамиятга эга бўлиб қолмоқда.

Бугунги кунда жаҳонда бу параметрлар айниқса Шоттки тўсиқли СВЧ диодларга тааллуқлилиги, қайсики улар учун кириш қувватининг юқори даражасида контактларнинг электрофизик хоссаларини сақланишига катта эътибор қаратилмоқда. Модомики металл-яримўтказгич контактидаги ўтиш қаватининг физик-кимёвий ва структуравий хоссалари дискрет яримўтказгичли асбоблар ва интеграл схемаларнинг сифати ва ишончилигини шарт қилиб қўяр экан, контакт материални танлаш билан бир қаторда берилган функционал параметрларини таъминловчи физик-технологик тадқиқотларни ўтказилиши долзарб вазифалардан ҳисобланади. Ушбу жиҳатдан, тезлашган техник ишловлар ва микротўлқинли нурланишларни, фазалараро физик-кимёвий ўзаро таъсирларга ва ток ўтказилиш механизмларини намоён этилишига қаратилган, $TiB_x(ZrB_x)$ -n-SiC Шоттки тўсиқли карбидкремнийли микротўлқинли диодлардаги электрон жараёнларига кўрсатадиган таъсирини тадқиқ этиш долзарб вазифа бўлиб ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 2 февралдаги № ПФ -4947 сон “Ўзбекистон Республикасини 2017-2021 йилларда янада ривожлантириш ҳаракатлар стратегияси тўғрисидаги” Фармони, 2017 йил 16 февралдаги № ПФ-2789 сон “Олий ўқув юртидан кейинги таълим тизимини янада такомиллаштириш тўғрисидаги” қарори, 2017 йил 17 февралдаги № ПҚ

-2789 сон “Фанлар Академиясини янада ривожлантириш, илмий изланиш фаолиятини ташкил этиш, бошқариш ва молиялаштириш тўғрисидаги” қарори, шунингдек ушбу йўналишда қабул қилинган бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда кузда тутилган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотни Республика фан ва технологияларни ривожланиши устувор йўналишларига мувофиқлиги. Диссертация тадқиқоти Ўзбекистон Республикасида фан ва технологияларни ривожлантиришнинг II. “Энергетика, энергия ва ресурсларни тежаш” юзасидан устувор йўналишларига мувофиқ ўтказилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.

CREE фирмаси билан бир қаторда Kansai Electric Power япон компанияси SiC ва унинг асосидаги асбобларни серияли ишлаб чиқарувчи ҳисобланади. Юқори чиқиш параметрли радиочастотали диапазондаги SiC асбоблари Швеция технология университетидан (Chalmers university of technology), Thales (Франция) компанияси томонидан ишлаб чиқилмоқда, уларнинг ишлари SiC электроникаси соҳасидаги машҳур россиялик мутахассис ф.-м.ф.д., профессор, А.А. Лебедев (А.Ф.Иоффе номли ФТИ, Санкт-Петербург, Россия Федерацияси) томонидан кўрсатиб берилган.

Россия Федерациясида, ҳозирги вақтда SiC асбоблари бўйича, шу жумладан, Шоттки тўсиқли асбоблар бўйича ишлар Санкт-Петербург давлат электротехника университетининг А.Ф.Иоффе номли Физика-техника институти базавий лабораторияларида ривожлантирилмоқда, ушбу лабораторияларда бир неча ўн йил аввал, ҳозирда бутун дунёда фойдаланилаётган SiC технологияси бўйича юқори натижалар олинган. Бу ишлар Таиров, Цветков, Водаков, Челноков каби профессорлар раҳбарлиги остида ва уларнинг иштирокида бажарилган. Ушбу олимларнинг юқори малакали ишлари ҳозирги кунларда ҳам ўз кучини юқотмаган. Бунга А.Ф.Иоффе номли ФТИ ва АОЗТ “Светлана” (Санкт-Петербург) олимлари томонидан жаҳонда биринчи марта яратилган карбидкремнийли шиддатли-оралиқли диод мисол бўлади.

SiC асбобларини экстремал шароитларда эксплуатация қилиш шартлари контактли структуралардан юқори ҳароратга чидамлилиқни, металл-яримўтказгич ажралиш чегарасидаги ўтиш қаватининг бир жинсли бўлишини талаб этади ва шу билан бирга асбобларни юқори ҳароратларда ишлашида, контактли тизимларда фазалар ҳосил бўлишини мавжуд эмаслиги айниқса муҳимдир. Шунинг учун 90-йилларнинг бошида АҚШ, Исроил, Россия Федерацияси, Украина каби мамлакатларнинг бир қатор технология марказлари ва лабораторияларида амалда бир вақтда металл контакттаги соф металлларни қийин эрувчи металлларнинг нитридлари, вольфрамидлари ва боридларидан иборат бўлган қотишмалари билан алмаштириш ғояси амалга оширилди. Ҳозиргача қийин эрувчи металл боридларидан SiC га контактлар сифатида фойдаланиш бўйича амалда ишлар ўтказилмаган.

SiC радиацион чидамлилиги ва радиацион нуқсон ҳосил бўлиши бўйича Россия Федерациясида Козловский В.В., Лебедев А.А. каби профессорлар,

Японияда Y.Tanaka ва S.Tamura ва Италияда F.Roccoforte томонидан мукамал тадқиқотлар амалга оширилган. SiC радиацион чидамлилиги бўйича батафсил тадқиқотлар ЦЕРН да (Швейцария) амалга оширилган. Бу ядро қурилмаларининг ички трекларида узоқ вақт дозиметрик назорат олиб борилиши учун SiC асосида асбоблар яратишга бўлган қизиқиш билан боғлиқ бўлган.

Бизнинг Республикамизда SiC материалшунослиги ва ундаги радиацион нуқсонлар ҳосил бўлиш ҳолатларини тадқиқ этилишига Ўзбекистон Фанлар академияси С.В.Стародубцев номидаги физика-техника институти ҳузуридаги “Қуёш Физикаси” ИИБда фаолият олиб борувчи М.С.Саидов, Р.А.Муминов, Х.А.Шомуротов, М.А.Қодиров, И.Г.Атабаев, Т.И.Салиев ва бошқа муаллифларнинг ишлари ҳисса бўлиб қўшилди. Ф-м.ф.н. Дуйсенбаев М. томонидан ўтказилган тадқиқотлар кремний карбиди асосидаги асбоб структураларини ўрганишга бағишланган.

Ҳозирги вақтда Ўзбекистонда ва хорижда SiC бўйича интенсив физик-технологик ишлар олиб борилмоқда ва SiC даги структуравий нуқсонларни ҳисобга олган ҳолда асбоб структураларида ток ўтказилиш механизмлари ўрганиб чиқилди. Ушбу доирада гетероўтишда фазовий заряд соҳасини (ФЗС) кесиб ўтувчи дислокацияларни ҳисобга олган ҳолда $3C - SiC - Si$ тўғри силжиган гетероўтиш жойида ток ташувчиларни тунелланиши тўғрисидаги С.Қоражонов ва унинг ҳаммуаллифлари томонидан бажарилган ишлар жуда замонавий ва долзарб ҳисобланади.

Ҳозирги вақтда SiCга тўсиқли контактларни шакллантириш технологияси яхши маълум бўлиб, у саноат асосида ишлаб чиқаришга қўйилган. Шу билан бир вақтда, фазалараро чегаралар хусусиятларини ва айниқса металл – SiC ажралиш чегарасидаги ўтиш қавати хусусиятларини бошқариш аввалдагидек муаммоли масала бўлиб ҳисобланади, чунки бир қатор металллар, металлни чанглатиш жараёнидаёқ турли силицидли фазалар ҳосил қилиши мумкин. Шунинг учун, ишчи ҳароратдан жиддий юқориловчи кенг ҳароратлар диапазонида SiC билан ўзаро таъсирлашмайдиган материалларни излаш, қиздирмастан (атермик) ишловлар берилувчи ажралиш чегаралари параметрларини барқарорлаштириш имконияти долзарб муаммо бўлиб қолмоқда. Қайсики улардан бири бўлиб, микро-тўлқинли ишловлар ҳисобланади. Бироқ микротўлқин нурланишини SiC га тўсиқли контактлар хусусиятларига таъсири тўғрисидаги ишончли экспериментал маълумотлар амалда мавжуд эмас. Ҳозирги пайтда фойдаланилиб келинаётган Шоттки тўсиқли карбидкремний диод структуралари, унинг фаза жиҳатдан биржинсли бўлмагани туфайли, металл-SiC ажралиш чегарасида заифликка эгадир. Бу каби турли жинслиликларни бартараф этишнинг анъанавий имкониятлари амалда мавжуд эмас.

Тадқиқотнинг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти ЎЗР ФА Қорақалпоғистон бўлимининг табиий фанлар комплекс институти ва Украина МФА В.Е. Лашкарев номидаги яримўтказгичлар физикаси институти илмий-тадқиқот ишлари доирасида № 0103

U000364 “Олиниш технологияси ва ташқи факторларни яримўтказгич структуралари ва улар асосидаги сенсорли тизимлар функционал элементларининг хусусиятларига таъсир кўрсатиш механизмлари” (2003-2005йй), “Тўлқин узунликлари миллиметр диапазонли яримўтказгич ўтаюқоричастотали электроника” ГНТП 2005-2007 йй. (Давлат қайд этиш рақами № 01050000990) илмий техник дастурлари асосида бажарилди.

Тадқиқотнинг мақсади - тезлашган термик ишловлар (ТТИ) ва микротўлқин нурланишларни $TiB_x(ZrB_x)-n-SiC_6H$ Шоттки тўсиқли карбидкремний диод структураларининг электрик тавсифларига таъсирини тадқиқ этишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

тезлашган термик ишловларни $TiB_x(ZrB_x)-n-SiC_6H$ контактлардаги фазалараро ўзаро таъсирлашишларга ва Шоттки диодларининг электрик тавсифларига бўлган таъсирини ўрганиш;

тўғри силжишларда $TiB_x(ZrB_x)-n-SiC_6H$ Шоттки диодларидаги тоқўтказилиш механизмининг хусусиятларини ўрганиш;

микротўлқин нурланишларини $TiB_x-n-SiC_6H$ Шоттки тўсиқли диодларнинг электрик тавсифларига таъсирини тадқиқ этиш;

$Au-TiB_x(ZrB_x)-n-SiC_6H$ контактлари асосидаги Шоттки детекторли диодини яратиш имкониятини ўрганиш;

TiB_x ва ZrB_x - аморф плёнкалари орқали шаклланган Шоттки тўсиқли асбобларнинг электрик параметрлари барқарорлиги асосида ётувчи асосий физик жараёнларни аниқлаш;

Кремний карбидига бўлган тўсиқли ва омик контактларининг параметрларини яхшилашга имкон берувчи микротўлқинли ишловлар режимини аниқлаш;

$TiB_x(ZrB_x)-n-SiC_6H$ структураларини ташқи таъсирларга чидамлилиги тўғрисида олинган маълумотлар асосида Шоттки тўсиқли ҳароратга чидамли диодни яратишни технологиясини таклиф этиш.

Тадқиқот объекти n- типдаги 6H политипли карбид кремний монокристаллари асосидаги Шоттки сирт тўсиқли (СТС) структуралари.

Тадқиқот предмети $TiB_x(ZrB_x)-n-SiC_6H$ тўсиқли контактлар параметрларининг тезлашган термик ва микротўлқинли ишловлар таъсирида ўзгариш жараёнидан иборат.

Тадқиқотнинг усуллари

-Шоттки тўсиқларининг 77-400 К ҳароратлар оралиғидаги тавсифларини тадқиқ этишнинг вольтампер усули;

-контактларда компонентларнинг тақсимланиш профилини аниқлаш учун электрон Оже-спектроскопия усули;

-металл ва яримўтказгич юзасининг морфологиясини таҳлил қилиш учун атом-куч микроскопия усули;

-плёнка-таглик тизимининг эгрилик радиусини ўлчаш усули.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги:

1000°C ҳароратда 90 секунд давомида термик ишлов бериш $TiB_x(ZrB_x)$ - $n-SiC_6H$ тўсиқли контактлар таркибига таъсир кўрсатмаслиги аниқланган;

$n-SiC_6H$ да дислокациялар орқали ток ташувчиларни ўтказиш билан ва SiC да дислокация зичлигининг катталиги билан ифодаланувчи ток ўтказиш механизми аниқланган;

микротўлқинли нурланиш $TiB_x-n-SiC_6H$ Шоттки диодларининг тўсиқ баландлигининг 12% га ошиши аниқланган;

киска муддатли микротўлқинли нурлантириш (5 секунд) карбид кремний асосидаги тўсиқ ва омик контакт хусусиятларини яхшилаши аниқланган;

$Au-TiB_x(ZrB_x)-n-SiC_6H$ асосида Шоттки детектор диодларини яратиш мумкинлиги кўрсатилган;

$TiB_x(ZrB_x)-n-SiC_6H$ тузилмалар асосида ҳароратга барқарор Шоттки тўсиқли диодлар яратиш мумкинлиги асосланган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қўйидагилардан иборат:

$TiB_x(ZrB_x)$ - қотишмалари асосидаги $n-SiC$ га бўлган Шоттки тўсиқларини яратиш бўйича олинган экспериментал натижалардан юқори ҳароратларда ишлаш лаёқатига эга бўлган детекторларни яратилишида қўлланилган;

экспериментал маълумотлар $-TiB_x(ZrB_x)$ қопламаларини тайёрлаш шартшароитларини ўзгартириш орқали (морфология, структура, таркиб), Шоттки тўсиқли карбидкремнийли диодлар параметрларининг деградацияланиш ҳарорат остонасини кўтариш мумкинлигини кузда тутиш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги юқори сезгирликка ва ўта аниқликка эга бўлган тажрибавий услубларнинг қўлланилганлиги, шунингдек, физик жараёнларни тадқиқ қилишда умумқабул қилинган услубларнинг фойдаланилганлиги, турли усулларда олинган натижаларни таққослаш орқали таҳлил қилиниши билан таъминланган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.

Ўта юқори частотали қувват сенсори сифатида истиқболли бўлган юқорисезувчан, термобарқарор детектор диодни яратиш учун SiC да бўлган ҳароратга чидамли тўсиқли контактлар сифатида TiB_x ва ZrB_x -аморф қотишмаларидан фойдаланилган.

Карбидкремнийда Шоттки диодлари параметрларини яхшилаш имконини берувчи микротўлқинли ишлов режими аниқланган.

Олинган натижаларнинг илмий аҳамияти металл-яримўтказгичли тўсиқлар физикаси тасаввурларини кенг зонали яримўтказгичларга қўллаш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларини жорий қилиниши. Термик ва микротўлқинли ишловларни $TiB_x(ZrB_x)-n-SiC_6H$ Шоттки тўсиқли

карбидкремний диодли структураларининг электрофизик хоссаларига таъсирини тадқиқ қилиш асосида:

Шоттки тўсиғининг ҳароратга чидамлилигини аниқлаш бўйича олинган натижалар, жумладан $TiB_x(ZrB_x)$ -n-SiC₆H тўсиқли контактларнинг таркибига $T=1000^{\circ}C$ ҳарорат остида 90 секунд давомида термик юмшатиш Ф-2-37 рақамли “Яримўтказгичлардаги нуқсон ҳосил бўлиш лазер индуцирланган ночизиқли жараёнларнинг ўзига ҳослиги” фундаментал лойиҳасида яримўтказгичларда лазер ва микротўлқинли нурланишлар таъсиридаги физик жараёнларни аниқлаш учун қўлланилган (Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 2019-йил 5-октябрдаги 89-03-3748-сон маълумотномаси). Илмий натижалардан фойдаланиш Шоттки тўсиқли детектор диодларнинг ишончилигини назорат қилиш ва прогнозлаш учун бузилмайдиган экспресс усулини ишлаб чиқиш имконини берган.

Узатиш характеристикалари GaAs асосидаги Шоттки тўсиқли детектор диодлардан устун бўлган, TiB_x ва ZrB_x асосида илк бор яратилган Шоттки тўсиқли SiC детектор диодлари “NEOMAX” илмий ишлаб чиқариш хусусий корхонасида замонавий қўриқлаш тизимининг электрон схемасини яратишда қўлланилган (Ўзбекистон Республикаси савдо-саноат палатаси Тошкент шаҳар худудий бошқармасининг 2019 йил 1 ноябрдаги 6703/13-01 сон маълумотномаси). Яратилган Шоттки тўсиқли SiC детектор диодлари четдан келтирилган диодларнинг ўрнини босди ва қўриқлаш тизими қурилмаларининг сезгирлигини ошириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Диссертация ишининг асосий натижалари 12 Халқаро ва 5 республика илмий-амалий конференцияларида маъруза қилинди ва муҳокама этилди.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 23 илмий ишлар, Ўзбекистон Республикаси Олий Аттестация комиссияси ҳузуридаги докторлик диссертациялари илмий натижаларининг нашр этиш учун тавсия этилган илмий нашрларда 5 мақола эълон қилинди, шу жумладан улардан 2 таси республика ва 3 таси хорижий журналларда чиқарилди.

Диссертация ҳажми ва тузулиши. Диссертация кириш қисм, тўрт боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар руйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг умумий ҳажми 116 саҳифани ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ишнинг долзарблиги, унинг махсад ва вазифалари, ўтказилган тадқиқотларнинг илмий янгилиги баён этилган, ҳимояга илгари сурилган асосий низомлар белгиланган.

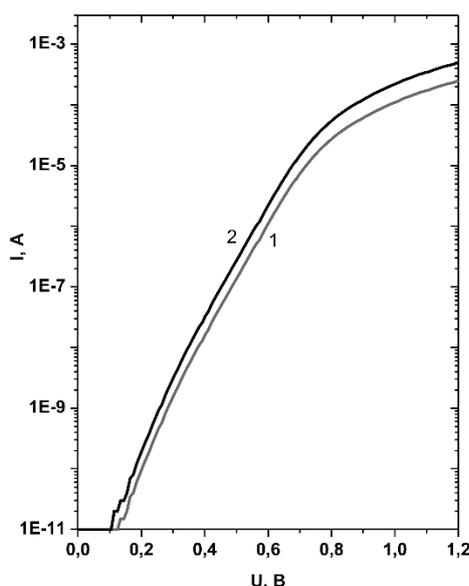
Биринчи бобда кремний карбидига бўлган тўсиқли ва омик контактларни шакллантиришнинг физик-технологик нуқтаи назардан адабиётлар обзори келтирилган, металл-SiC ажралиш чегараларидаги хусусиятларни бошқариш бўйича бир қатор замонавий услублари таҳлил қилинган, яримўтказгичли асбоб структураларини тезлашган термик ва

микротўлқинли ишловлари буйича асосий адабиётларга оид асосий маълумотлар кўриб чиқилган. Адабиётларга оид маълумотларни таҳлили асосида диссертация ишининг мақсад ва вазифалари белгиланган.

Иккинчи бобда Шоттки тўсиқли SiC диодли структураларни тайёрлаш, ишлов бериш ва текшириш услублари баён қилинган.

Учинчи бобда TiB_x ва ZrB_x (сингдириш қотишмалари) сингдириш аморф фазаларидан фойдаланилган ҳолда SiC га бўлган тўсиқли контактларни шаклланишининг ўзига ҳос хусусиятлари, шунингдек, тезлашган термик ишлов орқали рағбатлантирилган контактлардаги эффектлар ва уларни Шоттки диодлари параметрларига кўрсатувчи таъсири кўриб чиқилган. Au- $TiB_x(ZrB_x)$ -n-SiC6H Шоттки тўсиқли ўта сезувчан карбидкремнийли детекторли диод яратиш имкониятлари кўрсатилган. Икки турдаги асбоб структуралари $1,33 \cdot 10^{-4}$ Pa вакуумда, $T=1000^\circ\text{C}$ ҳароратда 90 секунд давомида тезлашган термик юмшатишга учратилган. Тезкор термик ишловгача (ТТИ) ва ундан кейин $TiB_x(ZrB_x)$ -n-SiC6H(0001) ва Au- $TiB_x(ZrB_x)$ -n-SiC6H(0001) контактларидаги компонентларнинг тақсимланиш профиллари ўлчанди, атомли кучайтирувчи микроскопия ёрдамида $TiB_x(ZrB_x)$ плёнкалар сирти морфологияси, ва рентген дифракция услубида TiB_x -n-SiC6H тўсиқли контактнинг фаза таркиби аниқланди.

$TiB_x(ZrB_x)$ -n-SiC6H(0001) Шоттки диодининг ТТИ гача ва ундан кейин, $T=1000^\circ\text{C}$ ҳароратда ВАХ тўғри шохи I токнинг V кучланишга типик экспоненциал боғлиқлиги $I = I_s \exp\left(\frac{eV}{nkT} - 1\right)$ орқали таърифланади. Унинг графиги 1-расмда кўрсатилган кўринишга эга. n ва ϕ_b , ҳисобланган катталиклари, шунингдек, $TiB_x(ZrB_x)$ -n-SiC6H Шоттки диодлари учун экспериментал ВАХ дан аниқланган I_s катталиклари 1-жадвалда келтирилган.

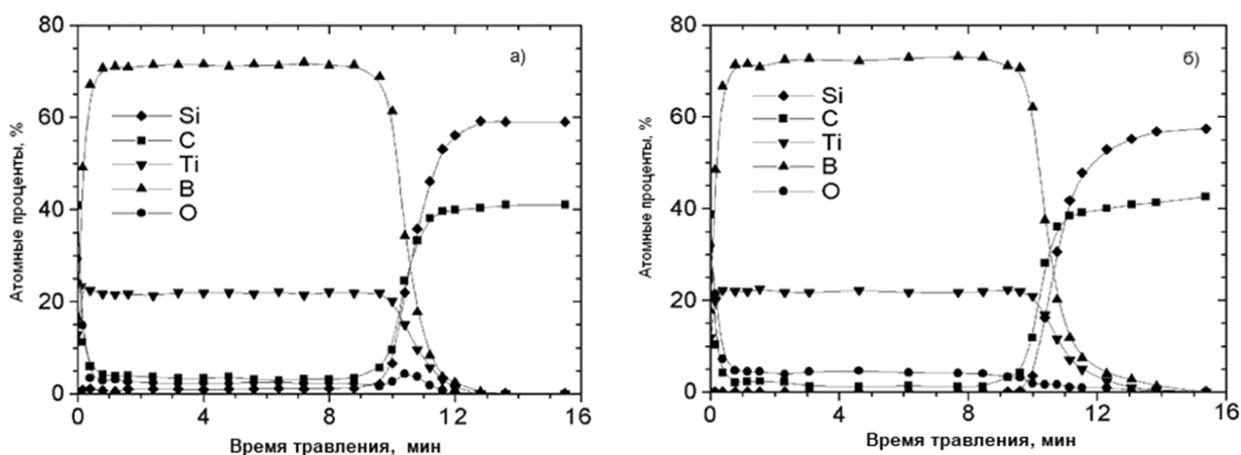


1-расм. Au- TiB_x -n-6H SiC Шоттки диодларининг $T = 1000^\circ\text{C}$, 90 секунддаги ВАХ тўғри шохлари (1) ТТИ гача (2) ТТИ дан кейин

TiB_x(ZrB_x)-n-SiC6H Шоттки диодларининг ТТИ гача ва ундан кейинги параметрлари

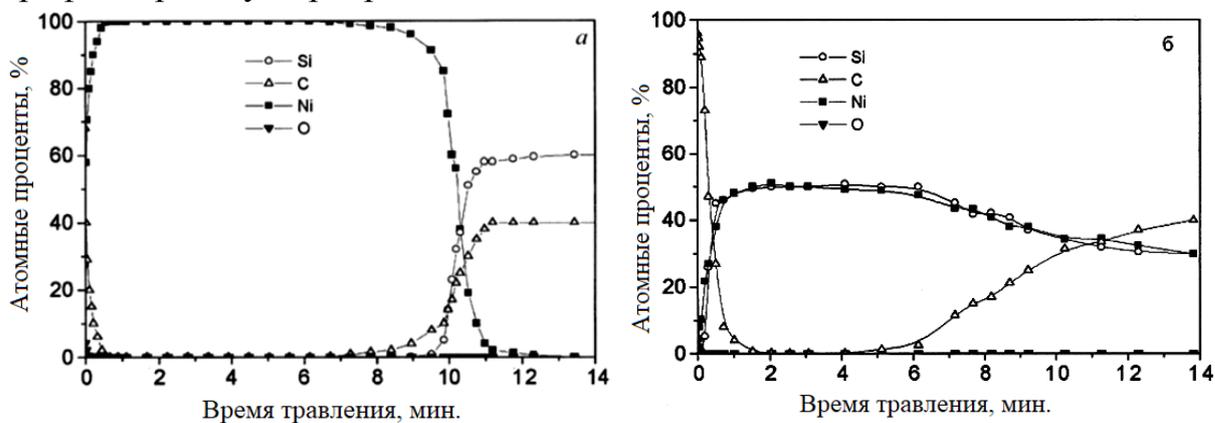
Тўсиқ тури	Дастрлабки параметрлари			ТТИ дан кейин (1000°С,90с)		
	$\varphi_b(B)$	n	$I_s(A)$	$\varphi_b(B)$	n	$I_s(A)$
TiB_x	0.68	1,57	$1,0 \cdot 10^{-8}$	0,68	1,68	$3 \cdot 10^{-8}$
ZrB_x	0.69	1,58	$7 \cdot 10^{-9}$	0,69	1,70	$2 \cdot 10^{-8}$

1-жадвалдан Шоттки тўсиқлари параметрлари ТТИ дан кейин жиддий ўзгармаганлигини кўриш мумкин. $1/C^2=f(U)$ боғланишдаги кесилганлик кучланиши бўйича TiB_x-n-SiC6H контакт учун φ_b ни баҳолаш, φ_b ТТИ дан кейин амалда ўзгармаганлигини ва ~ 0.7 В катталикни ташкил этишини кўрсатади, бу эса контактни ажралиш чегарасининг термобарқарорлигига ва TiB_x нинг кремний карбиди билан ажралиш чегарасида ўтиш қатлами таркиби бўйича барқарорлигига ишора қилади. Кесилганлик кучланиши бўйича айнан ўхшаш φ_b баҳолаши ZrB_x-n-SiC6H контактлар учун ҳам олинди. Рентген дифрактометрия маълумотларининг кўрсатишича TiB_x дастрлабки плёнкаси квазиаморф ҳолатда эканлиги маълум бўлди. T=1000°С ҳароратдаги ТТИ унинг фаза таркибини ўзгартирмайди ва бу Оже-электрон спектроскопия маълумотлари билан мос келади (2-расм), булардан ТТИ TiB_x ва SiC плёнкаси ўртасидаги кимёвий ўзаро таъсирни кучайишига таъсир кўрсатмаслиги кўринади. Ўтиш қаватининг узунлиги ($\sim 200\text{Å}$) ва унинг таркиби ТТИ гача ва ундан кейин ҳам бир ҳилда сақланади, ва бу ВАХ ва ВФХ, таҳлилларидан келиб чиқувчи контактнинг тўсиқлик хусусиятининг термик барқарорлиги тўғрисидаги хулосаларни тасдиқлайди.



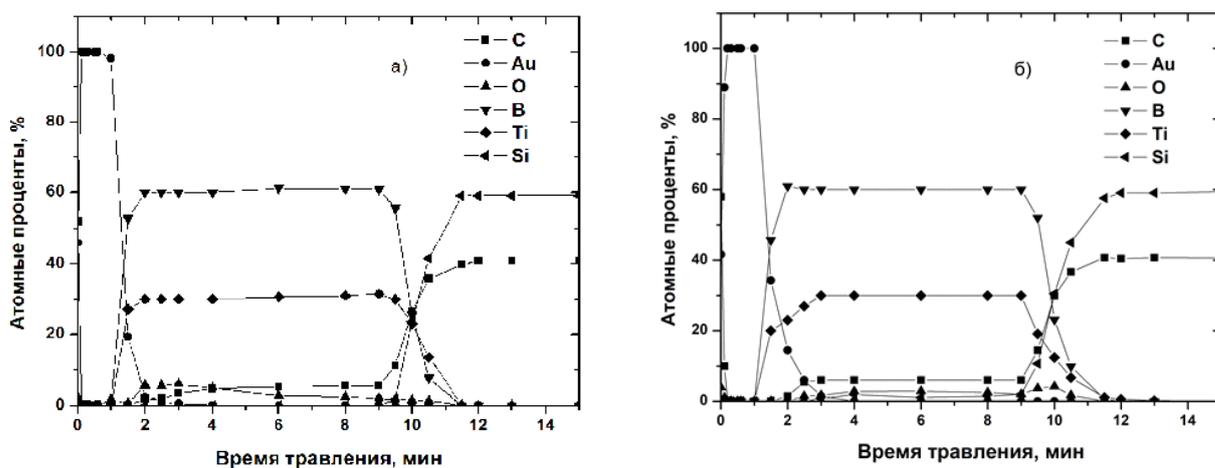
2-расм. Компонентларни TiB_x-n-6HSiC тўсиқли контактида тақсимланиш профиллари: а-дастрлабки; б- T=1000°С, 90секунд ТТИ дан кейинги

Рентген дифрактометрия ва Оже-спектроскопия бўйича ZrB_x - n - SiC_6H контактларда ТТИ гача ва ундан кейин ҳам айнан ухшаш натижалар олинди. 3-расмда келтирилганлардан, соф никель (3-а.расм) тезлашган термик ишлов натижасида никельнинг силицидли фазаларга трансформацияланганлиги кўринади (3-б.расм). Такрорий тезлашган термик ишлов ва ундан кейинги микротўлқинли ишлов омик контактида компонентларни тақсимланиш профилларини ўзгартирмайди.



3-расм. Компонентларни Ni - n - SiC_6H (0001) омик контактида тақсимланиш профиллари: а-дастлабки, б- $T=1000^{\circ}C$. 30с. ТТИ дан кейинги

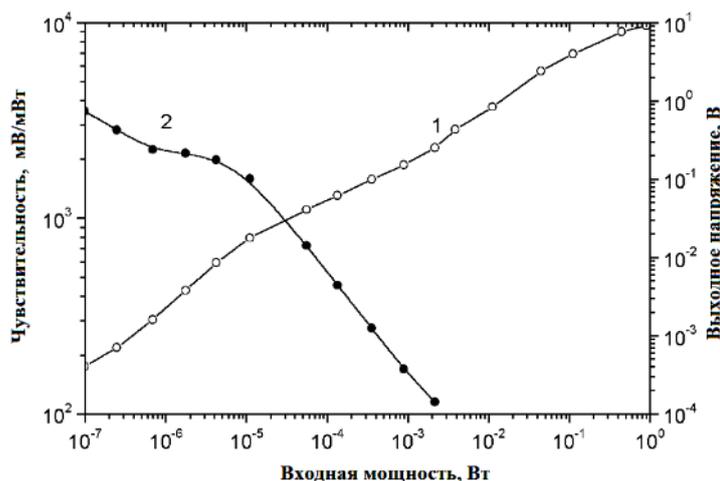
Микротўлқинли ишлов тест структура бўйича SiC 70% юзасида ρ_c катталикларни $\rho_c = 10^{-4}$ Ом·см олиниси билан тенглашишини келтириб чиқаради. TiB_x ва ZrB_x квазиаморф плёнчалар, чипни микротўлқинли корпус ичига йиғишда уни контактланишини таъминловчи 2мкм қалинликдаги Au қавати билан қопланди. Иккала турдаги контактларда ҳам шу тариқа контактли металлизациянинг тетрмобардошлигини таъминлаш билан Au ни TiB_x ва ZrB_x билан, ва TiB_x ва ZrB_x ларни SiC билан ўзаро таъсирланиши кузатилмади (4-расм).



4-расм. Au - TiB_x - n - $6HSiC$ тўсиқли контактида компонентларни тақсимланиш профиллари а-дастлабки; б- $T=1000^{\circ}C$ 90 секунд бўлишида ТТИ дан кейин

Корпусланган диодлар ўтказувчанлик тавсифлари ўлчанди. Ўлчашларда диодларни детекторлашнинг гибрид-интеграл схемасига уланиши билан

300МГц частотада турли силжиш (0.0÷13.8мкА) тоқларида ўтказилди. Ўлчов схемаси тўлқинли қаршилиги 50 Ом бўлган носимметрик полоска чизигида амалга оширилди. Au–TiV_x–n–SiC6H детектор диодларининг ўтказувчанлик тавсифларини ўлчаш натижалари 5-расмда келтирилган. 5-расмдан кўринадики, Шоттки тўсиқли карбидкремний диодларнинг ўзига ҳослиги, уларнинг детектор киришига қуввати 1Вт гача бўлган ўта юқори частота берилганда ишлаш имконияти бўлиб ҳисобланади.



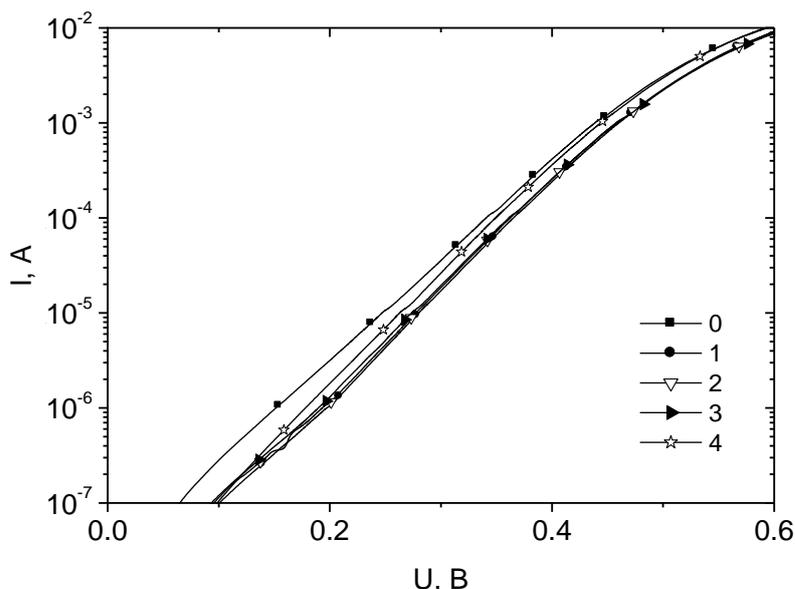
5-расм. Au–TiV_x–n–6H SiC Шоттки корпусланган диодининг 300 МГц частотада ўтказувчанлик тавсифлари (1)-диоддаги кучланиш ва (2)-сезувчанликни 3.2 мкА силжиш тоқида ЎЮЧ қувватига боғлиқлиги

Ўтказувчанлик тавсифининг чизиқли қисмининг динамик диапазони 50дБ ни ташкил этади. Диоднинг сезувчанлиги ушбу қисмидаги кучланиш бўйича силжиш тоқида кучсиз боғлиқ бўлади ва қувват ошиши билан пасая боради. Au–TiV_x–n–SiC6H детектор диодларининг жиддий афзалликларидан бири, уларнинг силжиш тоқлари катталигининг стандарт арсенидгаллий асосидаги Шоттки тўсиқли детектор диодларига нисбатан бир тартибга кам бўлиши ҳисобланади. TiV_x ва ZrV_x сингиш фазалари асосида ишлаб чиқилган тўсиқли контактлари эса карбидкремний Шоттки тўсиқли диодларининг кириш ЎЮЧ қувватининг 1 Вт гача бўлган даражаларида ҳароратга чидамлилиги ва ишлаш лаёқатини таъминлайди.

Тўртинчи бобда қисқамуддатли микротўлқинли ишловнинг Шоттки диодларининг SiC пластина бўйлаб параметрларининг тақсимланишига бўлган таъсири ўрганилди. Шоттки диодларининг параметрларини пластина бўйлаб биржинсли тарзда тақсимланишини ошириш учун микротўлқинли нурланишнинг қўлланилиши истиқболли эканлиги кўрсатилган.

Диод структуралар Лели услубида ундирилган–n-турдаги (6H политип) массивли карбид кремний монокристаллида тайёрланди. TiV_x қаватининг қалинлиги 80 нм, Au-100нм эди. Диод структурасининг диаметри ~200мкм.

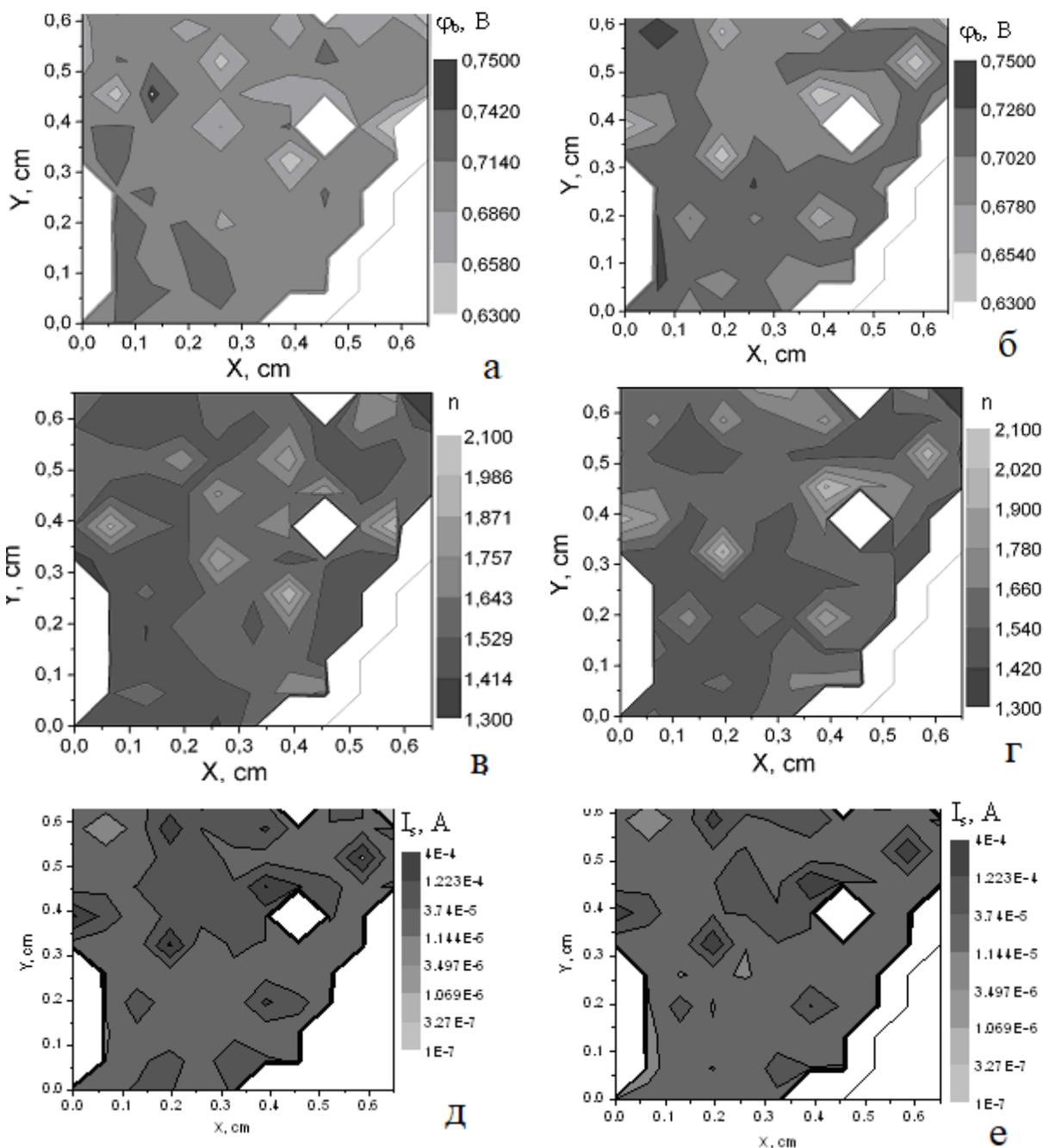
Наъмуналар магнетронда нурланишга учратилди. Нурланиш режими тўлқин ўтказгичнинг чиқиш жойидан нурлантирилувчи объектгача ўзгармас масофада эркин бўшлиқда амалга оширилди. Нурланиш частотаси 2,45 ГГц, солиштирма қувват $\sim 1,5 \text{ Вт/см}^2$. Микротўлқинли таъсир экспозиция вақти 1 ÷ 10 секунд ташкил қилди. Наъмуналарнинг ушбу турда ва ишлов бериш давомийлигидаги қиздириш ҳарорати хона ҳароратидан юқори бўлмади. Ўта юқори частотали нурланишгача ва ундан кейин диод структураларининг вольтампер тавсифлари ўлчанди, улардан тўсиқнинг баландлиги ϕ_B ва идеаллик фактори n ҳисобланди. 6-расмда Шоттки диодининг ўта юқори



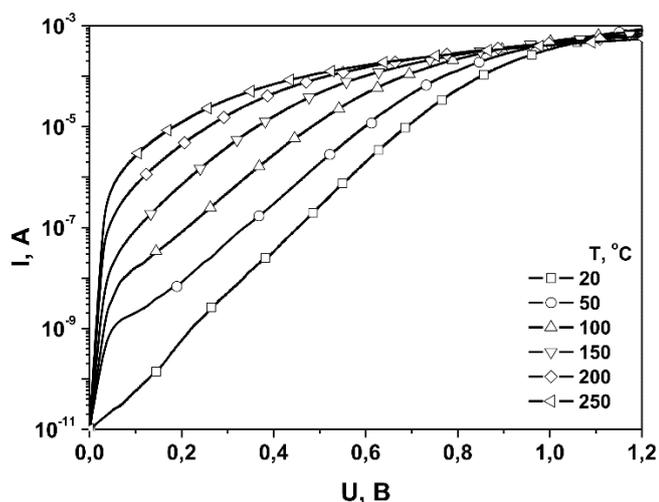
6-расм. Шоттки диодининг ўта юқори частотали нурланишгача ва ундан кейинги ВАХ тўғри тармоқлари: 0-дастлабки; 1-4 – ўта юқори частотали нурланишдан сўнг 1, 2, 5 ва 10 секунд мос равишда

частотали нурланишгача ва ундан кейинги ВАХ тўғри тармоқлари келтирилган. Кўринадики, ВАХ $I = I_0 \exp\left(\frac{eV}{nkT} - 1\right)$ боғланиш орқали таърифланади, бунда $I_0 = AST^2 \exp\left(-\frac{e\phi_B}{kT}\right)$

7-а-е. расмларда тўсиқ баландлиги, идеаллик фактори ва тўйиниш токининг микротўлқинли ишловгача ва ундан сўнг пластина майдони бўйлаб тақсимланиши кўрсатилган. 7-а,б, расмдан ўта юқори частотали нурланиш вақтининг 5 секунд учун қоронғи соҳалари майдонини сезиларли катталаниши кўринади ва тўсиқ баландлигини ўсишига мувофиқ келади. Ўта юқори частотали ишловини давом эттирилиши ёрқин тонларни, яъни тўсиқнинг кичик баландлигининг ўсишига олиб келади. 7-в, г. расмлардан қоронғи ва ёруғ соҳалар майдонлари нисбатан ўзгармай қолиши кўринади. Ушбу факт идеаллик факторининг қийматини 5 секунд давомида ўта юқори частотали ишловдан кейин ўзгармай қолишидан гувоҳлик беради.

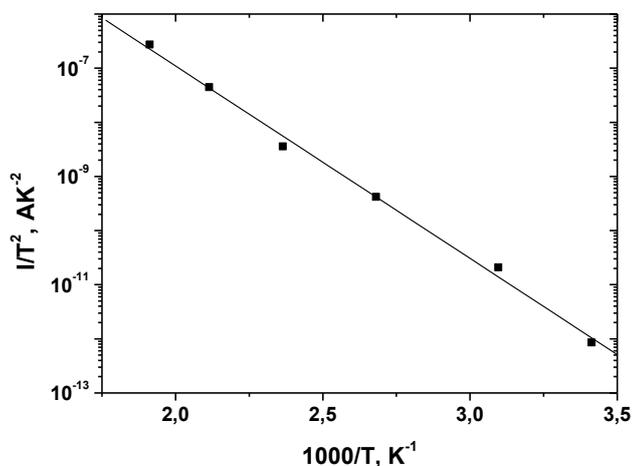


7-расм. Диод структуралари параметрларининг турли ўта юқори частотали нурланиш вақтларидан сўнг пластина бўйлаб тақсимланиши: а, б- тўсиқ баландлиги, в, г – идеаллик фактори д, е- тўйиниш токи. (а, в, д – нурланишсиз; б, г, е – 5 секунд ўта юқори частотали нурланишдан кейин



8-расм. $\text{TiV}_x\text{-n-6HSiC}$ Шотткидиодининг $20\div 250^\circ\text{C}$ ҳароратлар оралиғида ўлчанган ВАХ тўғри тармоғи

8-расмда $20\div 250^\circ\text{C}$ ҳароратлар диапазонида ўлчанган $\text{TiV}_x\text{-n-6HSiC}$ Шоттки диодларининг ВАХ тўғри тармоқлари келтирилган. Кўринадикки, ВАХ $I = I_s \exp\left(\frac{eV}{nkT} - 1\right)$ кўринишидаги экспоненциал боғлиқлик орқали таърифланади. Идеаллик фактори хона ҳароратида 1,18 ни ташкил этади, тўйиниш токининг ҳароратга боғлиқ ва ВФХ ўлчовларидан ҳисобланган Шоттки тўсиғининг баландлиги $0,8\div 0,85$ В чегараларида ётади. 8- ва 9-расмларда келтирилган маълумотларга мувофиқ, $\text{TiV}_x\text{-n-6HSiC}$ Шоттки диодининг ВАХ тўғри тармоғидаги тоқўтказилиши термоэлектрон эмиссия механизми бўйича амалга оширилади. Бу тўғрисида хона ҳароратидаги идеаллик коэффицентининг кичиклиги ($n=1,18$) ва тўйиниш токининг ҳароратга боғлиқлигининг Шоттки тўсиғининг баландлигига тенг бўлган активация энергияси бўйича активацион характери гувоҳлик беради.



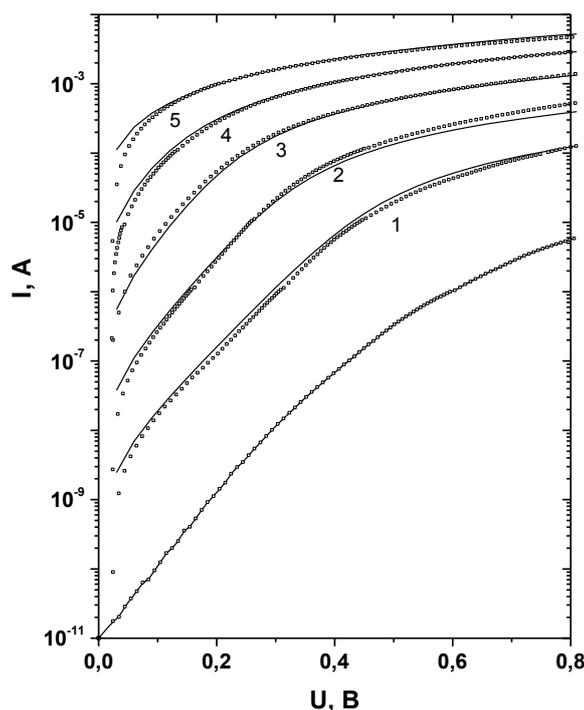
9-расм. $\text{TiV}_x\text{-n-SiC}$ 6H Шоттки диоди тўйиниш токининг ҳароратга боғлиқлиги

SiC пластинкаларининг юқори зичликдаги дислокацияларга эга қисмларида олинган бир қатор Шоттки диодларида 10-расмда тасвирланган ВАХ тўғри тармоқлари кузатилди. Ҳароратларнинг кенг оралиғида 0,05÷0,4В кучланишлар орлиғидаги ВАХ тўғри тармоғи (қ.10-расм) куйидаги

$$j = j_0 \left[\exp \left(\frac{eV}{\varepsilon_T} \right) - 1 \right] \quad (4.1)$$

экспоненциал боғланиши орқали тарифланиши маълум бўлди.

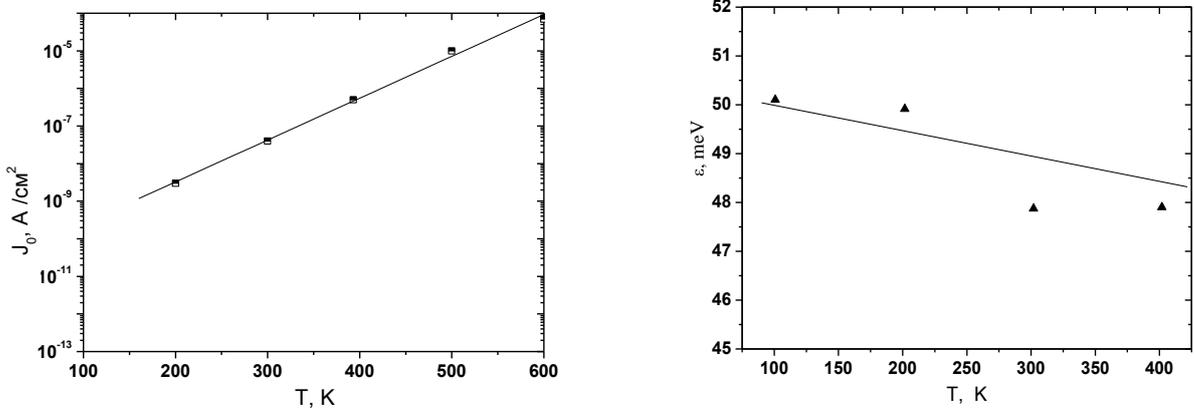
(Ушбу формуладаги $j_0 = e\rho\nu_D \exp \left(\frac{eV_k}{\varepsilon_T} \right)$, j_0 -га тенг бўлган тўйиниш токининг зичлиги ρ - дислокациялар зичлиги, $\nu_D \sim 10^{12} \text{с}^{-1}$, SiC учун Дебай частотаси, ε_T -туннелланиш ўзига ҳос тавсифланувчи энергия бўлиб, $\varepsilon_T = nkT$, $eV_k = \phi_b - \mu$, μ -кимёвий потенциал бўлиб, у $\mu \approx kT \ln \frac{N_C}{N_B}$ га тенг, $N_C \approx 2 \cdot 10^{19} (T/300)^{3/2}$ —SiC нинг с-зонасидаги ҳолатлар зичлиги, у хона ҳароратида $\sim 0,07$ эВ ни ташкил этади. $eV_k \approx \phi_b \approx 0,7$ эВ, $N_B \approx 10^{18} \text{см}^{-3}$).



10-расм. TiVx-n-SiC6H Шоттки тўсиқларининг турли;
1-100 К, 2-200 К, 3-300 К, 4-400 К, 5-500 К ҳароратлардаги
ВАХ тўғри тармоғи. —эксперимент, °°°—ҳисоб

Бунда ε_T ўзига ҳос тавсифланувчи энергия ва тўйиниш токи зичлиги J_0 (термоэлектрон эмиссия токи билан солиштирганда) ҳароратга кучсиз боғлиқ. (11-расм.) Ушбу натижалар шунтловчи дислокация моделига мувофиқ ток ўтказилишининг туннели механизмига ишора қилади.

(дислокациялар бўйича туннелланиш билан боғлиқ), чунки SiC даги фазовий заряд соҳасининг (ФЗС) кенглиги диоддаги потенциал $V_k - V$ 1В бўлишида, $W = \sqrt{\frac{\varepsilon\varepsilon_0(V_k - V)}{eN_B}} \approx 6,7 \times 10^{-6} \text{ см}$ формула бўйича аниқланади. (бунда: V_k -диффузион потенциал, V -кучланиш, $\varepsilon, \varepsilon_0$ - 6HSiC ва вакуумнинг мувофиқ равишда диэлектрик доимийси) туннелланишнинг характеристик узунлигидан жиддий катта бўлиб, $\lambda = \hbar / \sqrt{2m^*e(V_k - V)} \approx 7 \times 10^{-9} \text{ см}$ формула бўйича ҳисобланади. (бунда: $m^* = 0,6m_0$ -электронларнинг n -6HSiC даги эффектив массаси), яъни 6HSiC асосидаги Шоттки тўсиқли текширилаётган диодлардаги ташувчиларнинг тўғридан тўғри туннелланиши мумкин эмас, бунда $N_B \approx 1,6 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$.



11-расм. Тўйиниш токи зичлигини а) ватуннеланиш характеристик энергиясини б) ҳароратга боғлиқлиг

Шоттки диоднинг экспериментал ВАХ тўғри тармоғидан олинган $\varepsilon(0)$, $j(0)$ параметрларидан фойдаланилган ҳолда ва $\phi_b \approx 0.7 \text{ эВ}$ ҳисобланган катталикни ҳисобга олган ҳолда, дислокация зичлигини қуйидаги тенгламадан баҳолашни амалга ошириш мумкин

$$j_0(0) = e\rho\nu_D \exp\left(\frac{e\phi_b(0)}{\varepsilon_T(0)}\right) \quad (4.2)$$

$$\rho = \frac{j_0(0)}{e\nu_D} \exp\left(\frac{e\phi_b(0)}{\varepsilon_T(0)}\right) = \frac{10^{-6} \text{ A/cm}^2}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ К} \cdot 10^{-12} \text{ с}^{-1}} \exp\frac{0,7}{0,05} \approx \quad (4.3)$$

$$\approx 0,6 \cdot 10^1 \cdot 1,2 \cdot 10^6 \approx 0,7 \cdot 10^7 \approx 7 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$$

Ҳосил қилинган $\rho \approx 7 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$ катталик ρ буйича рентген ўлчовлардан олинган маълумотлар билан корреляцияланади.

SiC асосидаги тўсиқли контактларда экспериментал кузатилувчи туннел тоқларини $e\rho\nu_D \exp\left(\frac{\phi_b(T)}{\varepsilon_T}\right)$ формулага мувофиқ шунтирланувчи дислокация

моделли ёрдамида адекват таърифланиши SiC даги дислокациялар концентрацияси 10^6 - 10^8 см⁻² бўлишини талаб этади.

Карбидкремнийли Шоттки диодларидаги ортиқча туннель токини камайтириш учун ФЗС даги дислокациялар зичлиги 10^6 см⁻² дан кам бўлган, струкура жиҳатидан такомиллашган SiC монокристалларини мавжуд бўлиши зарур.

Келтирилган маълумотлар шуни кўрсатадики, карбидкремнийли Шоттки диодларининг ФЗС кенг қаватларида токнинг ортиқча компоненти текширилган диодлардаги ФЗС кенглиги туннелланиш характерли узунлигидан жиддий катта бўлишига қарамай, туннелли характерга эгадир.

Шундай қилиб ВАХ тўғри тармоқларининг таҳлилидан, Оже-спектроскопия ва рентген дифрактометрия маълумотларидан, n-SiC6H пластинасидаги дислокациялар зичлигига боғлиқ бўлмаган ҳолда T=1000°C да ТТИ TiB_x ва ZrB_x тўсиқ ҳосил қилувчи металлизациясининг фаза таркибига жиддий ўзгаришлар киритмайди, ток ўтказилишнинг устунликдаги механизмининг ўзгаришлари эса (10^6 см⁻² дан ошувчи дислокацияларнинг дастлабки зичлигига эга бўлган n-SiC6H монокристаллар асосида тайёрланган Шоттки диодлари учун) SiC даги дислокацияларнинг жиддий $>10^6$ см⁻² зичлигини мавжудлиги билан аниқланади.

ХУЛОСА

Фалсафа доктори (PhD) «Термик ва микротўлқинли ишловларни TiB_x(ZrB_x)-n-SiC6H Шоттки тусиғига эга карбидкремний диодли структураларнинг электрофизик ҳоссаларига таъсири» диссертацияси мавзуси бўйича олинган натижалар асосида қуйидаги хулосаларга келинди:

1. T=1000 °C ҳароратда 90 секунд давомида тезкор термик ишлов TiB_x(ZrB_x)-n-SiC6H тўсиқли контактлар параметрларига жиддий таъсир кўрсатмаслиги биринчи марта экспериментал кўрсатиб берилди, ўтиш катлами таркибининг дойимийси сакланади.

2. Вольт-ампер тавсифлари тўғри тармоқларини таҳлили, Оже-спектроскопия ва рентген дифрактометрия маълумотлари асосида n-SiC6H пластинкаси дислокациялари зичлигига боғлиқ бўлмаган ҳолда, T=1000°C ҳароратдаги термик ишлов TiB_x ва ZrB_x тўсиқ ҳосил қилувчи металлизация фаза таркибига жиддий ўзгаришлар киритмайди, ток ўтказилиш механизмидаги ўзгаришлар эса SiC даги дислокацияларнинг жиддий $>10^6$ см⁻² зичлигининг мавжудлиги билан белгиланади.

3. n-SiC6H(0001) га тўсиқ контакти сифатида TiB_x квазиаморф котишмадан ва никель силицидлари асосидаги омик контактидан фойдаланилиши ўта юқори частотали қувватли датчик сифатида қўллаш учун истиқболли бўлган юқори сезувчан, ҳароратга барқарор детектор диодни яратиш имконини беради.

4. Олинган маълумотлар TiB_x(ZrB_x)-n-SiC6H гетероструктурасининг, улар асосида Шоттки тўсиқли ҳароратга чидамли асбоблар яратиш учун

истиқболли эканлигидан гувоҳлик беради. Экспериментал маълумотлар $TiB_x(ZrB_x)$ қоплама тайёрлаш шартшароитларини ўзгартира бора, (морфология, структура, таркиб), карбидкремнийда Шоттки тўсиқли диодлар параметрларининг деградацияланиш оstonасини кўтариш мумкин деб ҳисоблаш имконини беради.

5. Шоттки тўсиғи параметрларини карбид кремний пластинаси буйлаб биржинсли тарзда тақсимланишини ошириш учун қисқамуддатли микротўлқинли нурланишни қўллаш мумкинлиги биринчи марта кўрсатилиб берилди.

6. Ўта юқори частотали нурланиш экспозиция вақтини 10 секундгача ортиши билан $Au-TiB_x-n-SiC_6H$ структураларининг параметрлари яхшиланади, айнан, тўсиқ баландлиги ортади, идеаллик фактори ва тесқари ток катталиги камаяди. 10 секундтан ортиқ вақт бўлишида, нурланиш тўғри тармоқнинг деградацияланишига олиб келади, экспоненциал қисм камаяди, ВАХ қиялиги ўзгаради, тўсиқ баландлиги камаяди, идеаллик фактори ўсади ва у $n-SiC$ структураларида ўта юқори частотали ишлов орқали рағбатлантирилган ички механик кучланишларнинг релаксацияланиши жараёнларида ҳосил бўлувчи структуравий нуқсонларнинг генерацияланиши билан боғлиқдир.

7. 2,45 ГГц частотали, $1,5 \text{ Вт/см}^2$ қувват билан Шоттки тўсиқли карбидкремний диодларини ўта юқори частотали ишлаш, диод структураларининг нурланиш вақти оптимал вақтга яқин бўлишида электрофизик параметрларнинг яхшиланишига олиб келиши мумкинлиги биринчи марта кўрсатиб берилди. Бу бизнинг ҳолатимизда 5 секундга тенг. Шунга ўқшаш ўзгаришлар узок вақт мобайнида барқарордир. 5 секундгача нурлантирилган наъмуналарни бир йил хона ҳароратида сақланишидан сўнг уларнинг параметрлари (ϕ_b , I_0 ва n) амалда ўзгаришсиз қолди. Охириги ҳолат улардан технологик мақсадларда фойдаланиш мумкинлигига ишонч билдириш имконини беради

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.30.08.2019. FM/T.01.12 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ
ИНСТИТУТЕ ФИЗИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ И
МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ ПРИ НАЦИОНАЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
УЗБЕКИСТАНА**

**НУКУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ**

АБДИЖАЛИЕВ СУЛТАНБЕК КАЛЛИБЕКОВИЧ

**ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ И МИКРОВОЛНОВЫХ ОБРАБОТОК НА
ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КАРБИДКРЕМНИЕВЫХ
ДИОДНЫХ СТРУКТУР С БАРЬЕРОМ ШОТТКИ $TiV_x(ZrV_x)_n-SiC_6H$**

01.04.10– Физика полупроводников

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ФИЗИКО-
МАТЕМАТИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2019

Тема диссертации доктора философии (Doctor of Philosophy) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером B2017.3.PhD/FM142.

Диссертация выполнена в Нукусском государственном педагогическом институте.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.ispm.uz) и Информационно-образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель:

Камалов Амангелди Базарбаевич
доктор физико-математических наук, доцент

Официальные оппоненты:

Расулов Рустам Явкачевич
доктор физико-математических наук, профессор

Зикриллаев Нурулла Фатхуллаевич
доктор физико-математических наук, профессор

Ведущая организация:

Андижанский государственный университет

Защита диссертации состоится «__»_____2019 года в __ часов на заседании Научного совета по присуждению ученых степеней DSc.30.08.2018.FM/T.01.12 при Научно-исследовательском институте физики полупроводников и микроэлектроники Национального университета (Адрес: 100057, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Янги Алмазар, дом 20. Тел: (+99871) 248-79-94, факс (+99871) 248-79-92, e-mail: info@ispm.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Отделе внедрения информационных технологий института (зарегистрирована за №_____) по адресу: 100057, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Янги Алмазар, дом 20. Тел: (+99871) 248-79-59.

Автореферат диссертации разослан «__»_____2019 года
(реестр протокола рассылки №__ от «__»_____2019 г.)

Ш.Б. Утамурадова
председатель Научного совета по присуждению
ученых степеней,
д.ф-м.н., профессор

С.С. Насриддинов
ученый секретарь Научного совета
по присуждению ученых степеней,
д.т.н., доцент

А.Т. Мамадалимов
председатель научного семинара при Научном
совете по присуждению ученых степеней,
д.ф-м.н., академик

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время, карбидкремниевые поверхностно-барьерные структуры (ПБС) с барьером Шоттки широко используются в современной сенсорной электронике в качестве высокотемпературных датчиков и детекторов ионизирующего излучения. Особенностью таких элементов является высокая термическая и радиационная стойкость параметров, что оказывается существенным, например, при мониторинге тепловых полей атомных электростанций, в ряде специальных применений в военной технике и других аналогичных задачах. ПБС с барьером Шоттки используется также в качестве затвора в карбидкремниевых полевых транзисторах, области эксплуатации которых обусловлены возможностью их работы при температурах в 2-3 раза, превышающих рабочие температуры арсенидгаллиевых полевых транзисторов с затвором Шоттки. Карбид кремния среди полупроводников выделяется превосходными электрофизическими свойствами, как высокая термическая, химическая и радиационная стойкость, что открывает возможность создания на основе SiC различных приборных структур, составляющих конкуренцию приборам на основе полупроводниковых соединений. Вместе с тем, на порядок большее значение поля пробоя по сравнению с кремнием позволяет повысить уровень легирования карбида кремния до двух порядков и повысить выдерживаемую мощность приборов на его основе. Реализация ожидаемых преимуществ элементной базы высокотемпературной твердотельной электроники, базовым материалом которой является карбид кремния, зависит не только от качества исходного полупроводникового материала, но в значительной мере определяется свойствами омических и барьерных контактов.

В настоящее время уделяются большие внимания на сохранения электрофизических свойств контактов СВЧ диодов с барьером Шоттки, для которых при высоком уровне входной мощности, становится существенным. Поскольку физико-химические и структурные свойства переходного слоя в контакте металл-полупроводник обуславливают качество и надежность дискретных полупроводниковых приборов и интегральных схем, то остается актуальным, наряду с выбором материала контакта, проведение физико-технологических исследований обеспечивающих заданные функциональные параметры. В этом аспекте исследование влияния быстрых термических обработок и микроволнового излучения на электронные процессы в карбидкремниевых микроволновых диодах с барьером Шоттки $TiB_x(ZrB_x)-n-SiC$ направленное на выявление межфазных физико-химических взаимодействий и механизмов токопереноса является актуальной задачей.

Исследования, проведенные в данной диссертационной работе, в определенной степени, служат для выполнения задач, предусмотренных в Указах Президента Республики Узбекистан № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 гг.» от 2 февраля 2017 года, № УП4958 «О дальнейшем совершенствовании

системы послевузовского образования» от 16 февраля 2017 года, в Постановлении Президента Республики Узбекистан № ПП-2789 «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Академии наук, организации, управления и финансирования научно-исследовательской деятельности» от 17 февраля 2017 года, а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данном направлении.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Диссертационное исследование проведено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий в Республике Узбекистан: II. “Энергетика, энерго- и ресурсосбережение

Степень изученности проблемы. Наряду с фирмой CREE серийным производителем SiC и приборов на его основе является японская компания KansaiElectricPower. SiC приборы радиочастотного диапазона с высокими выходными параметрами разрабатываются в Шведском технологическом университете (Chalmers university of technology), компанией Thales (Франция) и рядом других зарубежных фирм, обзор работ которых представил известный российский специалист в области SiC электроники д.ф.м.н. профессор А.А. Лебедев (ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Российская Федерация).

В Российской Федерации в настоящее время работы по SiC приборам, в том числе с барьером Шоттки, развиваются в базовых лабораториях ФТИ им. А.Ф. Иоффе Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета, в которых еще несколько десятилетий назад были получены выдающиеся результаты по технологии SiC, ныне используемые во всем мире. Это были работы выполненные под руководством и при участии профессоров Таирова, Цветкова, Водакова, Челнокова. Высокая марка работ этих ученых не потеряна и в наши дни. Примером этому служит созданный учеными ФТИ им А.Ф. Иоффе и АОЗТ «Светлана»(Санкт-Петербург) впервые в мире карбидкремниевый лавинно-пролетный диод.

Условия эксплуатации SiC приборов в экстремальных условиях требуют от контактных структур высокой термостойкости, однородности состава переходного слоя на границе раздела металл-полупроводник, и что особенно важно, отсутствие фазообразования в контактных системах при работе приборов при повышенных температурах. Поэтому в начале 90^х-годов практически одновременно в ряде технологических центров и лабораторий в США, Израиле, Российской Федерации, Украине была реализована идея замены чистых металлов в контактной металлизации сплавами внедрения, представляющими собой нитриды, вольфрамыды и бориды тугоплавких металлов. К настоящему времени, работ по использованию боридов тугоплавких металлов в качестве контактов к SiC, практически не проведены.

По радиационной стойкости SiC и радиационному дефектообразованию, известны подробные исследования выполненные профессорами Козловским В.В., Лебедевым А.А. в Российской Федерации, Y. Tanaka и S. Tamura в Японии, F. Roccaforte в Италии. Детальные исследования радиационной

стойкости SiC были выполнены в ЦЕРНе (Швейцария). Интерес был связан с возможностью создания приборов на основе SiC для долговременного дозиметрического контроля во внутренних треках ядерных установок.

В нашей Республике большой вклад в материаловедение SiC и радиационного дефектообразования в нем были внесены учеными НПО «Физика-Солнце» при Физико-Техническом Институте им. С.В. Стародубцева АН Узбекистана М.С. Саидовым, Р.А.Муминовым, Х.А.Шомуратовым, М.А.Кадыровым, И.Г. Атабаевым, Т.И.Салиевым и другими авторами. Исследования к.ф.м.н. Дуйсенбаева М. были посвящены изучению приборных структур на основе карбида кремния.

В настоящее время и в Узбекистане и за рубежом ведутся интенсивные физико-технологические работы по SiC и изучению механизмов токопереноса в приборных структурах с учетом структурных дефектов в SiC. В этом плане представляется очень современной и актуальной работа С. Караджанова с соавторами о туннелировании носителей в прямосмещенном гетеропереходе 3C-SiC-Si с участием дислокаций, пересекающих область пространственного заряда в гетеропереходе.

В настоящее время технология формирования барьерных контактов к SiC хорошо известна и поставлена на промышленную основу. В то же время, управление свойствами межфазных границ, особенно переходного слоя на границе раздела металл - SiC по-прежнему проблематично, так, как ряд металлов могут формировать различные силицидные фазы уже в процессе напыления металла. Поэтому поиск материалов не взаимодействующих с SiC в широком диапазоне температур, значительно превышающим рабочие температуры, остается актуальным, как и возможность стабилизации параметров границы раздела ненагревными (атермическими) обработками. Одной из которых является микроволновая обработка. Однако, достоверные экспериментальные данные о влиянии микроволнового излучения на свойства барьерных контактов к SiC практически отсутствуют. Используемые в настоящее время карбидкремниевые диодные структуры с барьером Шоттки имеют уязвимость границы раздела металл-SiC, заключающуюся в её фазовой неоднородности. Традиционные возможности устранения подобных неоднородностей практически отсутствуют.

Связь темы диссертационного исследования с научно-исследовательскими работами научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационная работа выполнялась в рамках научно-технических программ Комплексного института естественных наук Каракалпакского отделения АН РУз и Института физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН Украины. «Механизмы влияния технологии получения и внешних факторов на свойства полупроводниковых структур и функциональных элементов сенсорных систем на их основе» (2003-2005гг. № Госрегистрации 0103U000364). ГНТП 2005-2007гг. Полупроводниковая сверхвысокочастотная электроника миллиметрового диапазона длин волн (Номер Госрегистрации 01050000990).

Целью диссертационной работы является исследование влияния

быстрых термических обработок (БТО) и микроволнового излучения на электрические характеристики карбидкремниевых диодных структур с барьером Шоттки $TiB_x(ZrB_x)-n-SiC$ 6H

Задачи исследования.

-изучить влияние быстрых термических обработок на межфазные взаимодействия в контактах $TiB_x(ZrB_x)-n-SiC$ 6H и электрические характеристики диодов Шоттки;

-изучить особенности механизма токопереноса в диодах Шоттки $TiB_x(ZrB_x)-n-SiC$ 6H при прямом смещении;

-исследовать влияние микроволнового излучения на электрические характеристики диодов с барьером Шоттки $TiB_x-n-SiC$ 6H;

-изучить возможности создания детекторного диода Шоттки на основе контактов $Au-TiB_x(ZrB_x)-n-SiC$ 6H;

-выяснить основные физические процессы происходящие на основе стабильности электрических параметров в приборах с барьером Шоттки, сформированных аморфными пленками TiB_x и ZrB_x ;

-определить режим микроволновых обработок, позволяющий улучшить параметры барьерных и омических контактов к карбиду кремния;

- на основе полученных данных о стойкости структур типа $TiB_x(ZrB_x)-n-SiC$ 6H разработать технологию по созданию термостойкого диода с барьером Шоттки.

Объектом исследования являлись поверхностно-барьерные структуры (ПБС) с барьером Шоттки на основе монокристаллов карбида кремния n-типа с политипом 6H.

Предметом исследования является процесс изменения параметров барьерных контактов $TiB_x(ZrB_x)-n-SiC$ 6H под воздействием быстрой термической и микроволновой обработки.

Методы исследований:

-метод вольтамперных характеристик барьеров Шоттки в диапазоне температур 77-400 К;

-метод электронной Оже-спектроскопии для определения профиля распределения компонентов в контактах;

-метод атомно-силовой микроскопии для анализа морфологии поверхности металла и полупроводника;

-метод измерения радиуса кривизны системы пленка-подложка.

Научная новизна исследования:

-установлено, что термический отжиг при $T=1000$ °С в течение 90с не влияет на состав барьерных контактов $TiB_x(ZrB_x)-n-SiC$ 6H;

-установлен механизм токопереноса в $n-SiC$ 6H, заключающийся в переносе носителей тока по дислокациям и определяющийся величиной плотности дислокации в SiC;

-обнаружено, что микроволновое излучение приводит к увеличению высоты барьера диодов Шоттки $TiB_x-n-SiC$ 6H на 12 %;

-установлено, что кратковременные микроволновые обработки (5 секунд) приводят к улучшению параметров барьерных и омических

контактов на основе карбида кремния;

-показана возможность создания детекторных диодов Шоттки на основе контактов $\text{Au-TiB}_x(\text{ZrB}_x)\text{-n-SiC6H}$;

-обоснованы возможность создания термостойких диодов с барьером Шоттки типа $\text{TiB}_x(\text{ZrB}_x)\text{-n-SiC6H}$.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

-полученные экспериментальные результаты по созданию барьеров Шоттки к nSiC на основе сплавов TiB_x и ZrB_x были использованы при создании детекторов работоспособных при повышенных температурах;

-экспериментальные данные позволяют полагать возможность повышения температурного порога деградации параметров карбидкремниевых диодов с барьером Шоттки варьируя условия приготовления покрытия $\text{TiB}_x(\text{ZrB}_x)$ (морфология, структура, состав).

Достоверность результатов исследования обеспечивается применением экспериментальных методов с высокой чувствительностью и точностью, применением общепринятых методов при изучении физических процессов, а также сравнительным анализом результатов, полученных разными методами.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Использован в качестве термостойких барьерных контактов к SiC аморфных сплавов TiB_x и ZrB_x для создания высокочувствительного термостабильного детекторного диода, перспективного в качестве сенсора СВЧ мощности.

Определен режим микроволновой обработки, позволяющего улучшить параметры карбидкремниевых диодов Шоттки

Научная значимость полученных результатов заключается в развитии представлений физики барьеров металл-полупроводник к широкозонным полупроводникам.

Внедрение результатов исследования.

На основе исследования влияния термических и микроволновых обработок на электрофизические свойства карбидкремниевых диодных структур с барьером Шоттки $\text{TiB}_x(\text{ZrB}_x)\text{-n-SiC6H}$:

Полученные данные по исследованию термостойкости барьеров Шоттки, в частности, термическая обработка барьерных контактов $\text{TiB}_x(\text{ZrB}_x)\text{-n-SiC6H}$ при температуре $T=1000^\circ\text{C}$ в течение 90 секунд, была использована фундаментальном проекте за номером Ф-2-37 «Особенности лазерно индуцированных нелинейных процессов дефектообразования в полупроводниках» при определении физических процессов в полупроводниках под воздействием лазерных и микроволновых излучений. (Справка 89-03-3748, от 5-октября, 2019-года, Министерства высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан). Использование научных результатов позволили разработать неразрушающий экспресс метод контроля и прогнозирования надежности детекторных диодов с барьером Шоттки.

Созданные впервые SiC детекторные диоды с барьером Шоттки, превосходящие по своим передаточным характеристикам диодов с барьером Шоттки на основе GaAs, были использованы при создании электронных схем современной системы охраны научно-производственного, частного предприятия “NEOMAX”. (справка 6703/13-01 от 1-ноября, 2019 года управления Торгово-Промышленной Палаты Узбекистана по городу Ташкент). Созданные SiC детекторные диоды с барьером Шоттки, заменили импортных диодов и дали возможность повысить чувствительность охранных систем.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 12 Международных и 5 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов. По теме диссертации всего издано 23 научных работ, 5 статей в научных изданиях, рекомендованных для публикации научных результатов докторских диссертаций при Высшей Аттестационной комиссии Республики Узбекистан, в том числе 2 из них в республиканских и 3 – в зарубежных журналах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Общий объем диссертации составляет 116 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы её цель и задачи, научная новизна проведенных исследований, определены основные положения, выдвигаемые на защиту.

В первой главе приведен обзор литературы по физико-технологическим аспектам формирования барьерных и омических контактов к карбиду кремния, проанализирован ряд современных методов управления свойствами границы раздела металл-SiC, рассмотрены основные литературные данные по быстрой термической и микроволновой обработкам полупроводниковых приборных структур. На основе анализа литературных данных определены цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе описаны методы изготовления, обработки и исследования SiC диодных структур с барьером Шоттки.

В третьей главе рассмотрены особенности формирования и свойства барьерных контактов к SiC с использованием аморфных фаз внедрения (сплавов внедрения) TiB_x и ZrB_x , а также эффекты в контактах стимулированные быстрой термической обработкой и их влияние на параметры диодов Шоттки. Показана возможность создания высокочувствительного карбидкремниевого детекторного диода с барьером Шоттки $Au-TiB_x(ZrB_x)-n-SiC6H$. Тестовые и приборные структуры подвергались быстрому термическому отжигу в вакууме $1,33 \cdot 10^{-4}$ Па при $T=1000^\circ C$ в течение 90 секунд.

До и после быстрой термической обработки, измерялись профили распределения компонентов в контактах $\text{TiB}_x(\text{ZrB}_x)\text{-n-SiC-6H}(000\bar{1})$ и $\text{Au-TiB}_x(\text{ZrB}_x)\text{-n-SiC-6H}(0001)$, с помощью атомной силовой микроскопии--морфология поверхности пленок $\text{TiB}_x(\text{ZrB}_x)$ и методом рентгеновской дифракции — фазовый состав барьерного контакт $\text{TiB}_x\text{-n-SiC6H}$.

Прямая ветвь ВАХ диода Шоттки $\text{TiB}_x\text{-n-SiC6H}(000\bar{1})$ до и после быстрой термической обработки (БТО) при $T=1000^\circ\text{C}$. описываются типичной экспоненциальной зависимостью тока I от напряжения V , $I = I_s \exp\left(\frac{eV}{nkT} - 1\right)$, а ее график имеет вид показанный на рис 1. Рассчитанные величины n и ϕ_b , а также определенные из экспериментальных ВАХ величины I_s для диодов Шоттки $\text{TiB}_x(\text{ZrB}_x)\text{-n-SiC-6H}$ приведены в таблице 1.

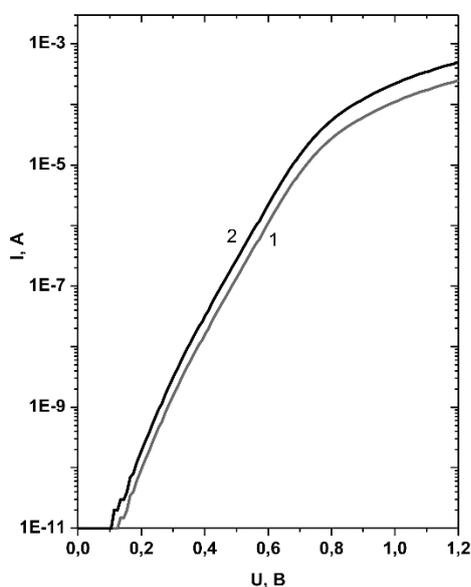


Рис.1. Прямые ветви ВАХ диодов Шоттки $\text{Au-TiB}_x\text{-n-6HSiC}$ до (1) и после (2) БТО при $T = 1000^\circ\text{C}$, 10с

Таблица 1

Параметры диодов Шоттки $\text{TiB}_x(\text{ZrB}_x)\text{-n-SiC-6H}$ до и после БТО

Тип барьера	Исходные параметры			После БТО (1000°C , 90с)		
	$\phi_b(\text{В})$	n	$I_s(\text{А})$	$\phi_b(\text{В})$	n	$I_s(\text{А})$
TiB_x	0,68	1,57	$1,0 \cdot 10^{-8}$	0,68	1,68	$3 \cdot 10^{-8}$
ZrB_x	0,69	1,58	$7 \cdot 10^{-9}$	0,69	1,70	$2 \cdot 10^{-8}$

Из таблицы 1. видно, что параметры барьеров Шоттки после БТО изменились незначительно. Оценка ϕ_b по напряжению отсечки на зависимости $1/C^2=f(U)$ для контакта $\text{TiB}_x\text{-n-SiC 6H}$ показала, что ϕ_b после БТО практически не изменяется и составляет величину ~ 0.7 В, что указывает на термостабильность границы раздела контакта и стабильность по составу переходного слоя на границе раздела TiB_x с карбидом кремния. Аналогичные оценки ϕ_b по напряжению отсечки получены для контактов $\text{ZrB}_x\text{-n-SiC 6H}$. Как показали данные рентгеновской дифрактометрии, исходная пленка TiB_x

находится в квазиаморфном состоянии. БТО при 1000°C не изменяет её фазовый состав, что согласуется с данными Оже-электронной спектроскопии (см.рис.2) из которых видно, что БТО не влияет на усиление химического взаимодействия между пленкой TiV_x и SiC . Протяженность переходного слоя ($\sim 200\text{\AA}$) и его состав сохраняются идентичными до и после БТО, что подтверждает выводы, о термической стабильности барьерных свойств контакта, следующие из анализа, ВАХ и ВФХ. Аналогичные результаты по рентгеновской дифрактометрии и Оже спектроскопии получены на контактах $\text{ZrV}_x\text{-n-SiC}$ бН до и после БТО.

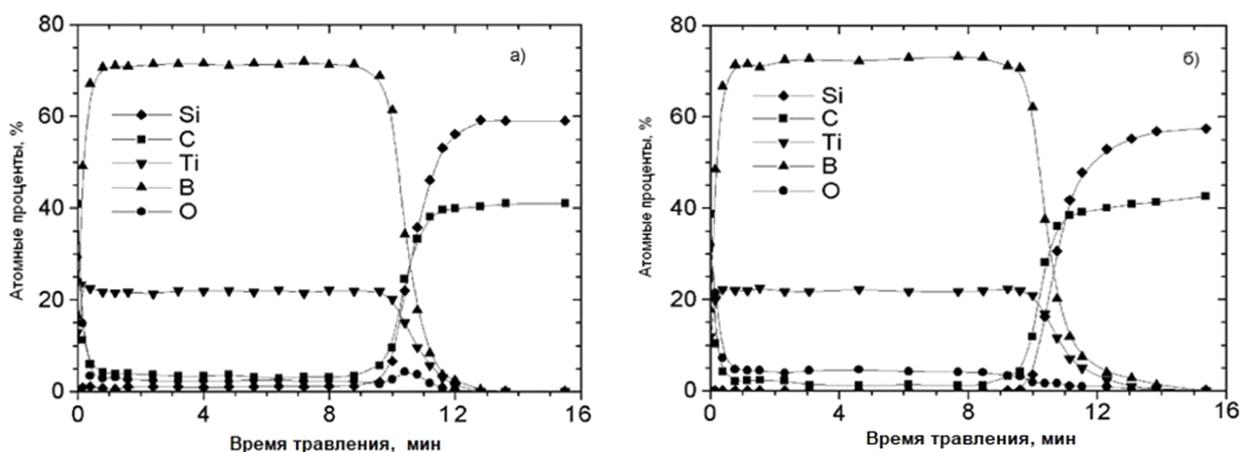


Рис. 2. Профили распределения компонентов в барьерном контакте $\text{TiV}_x\text{-n-SiC}$: а-исходный; б-после БТО при $T=1000^{\circ}\text{C}$, 90 секунд

Из приведенных на рис 3. данных видно, что чистый никель (см.рис 3.а) в результате быстрой термической обработки трансформировался в силицидные фазы никеля (см.рис 3.б). Повторная быстрая термическая обработка и последующая микроволновая обработка не изменили профили распределения компонентов в омическом контакте. Микроволновая

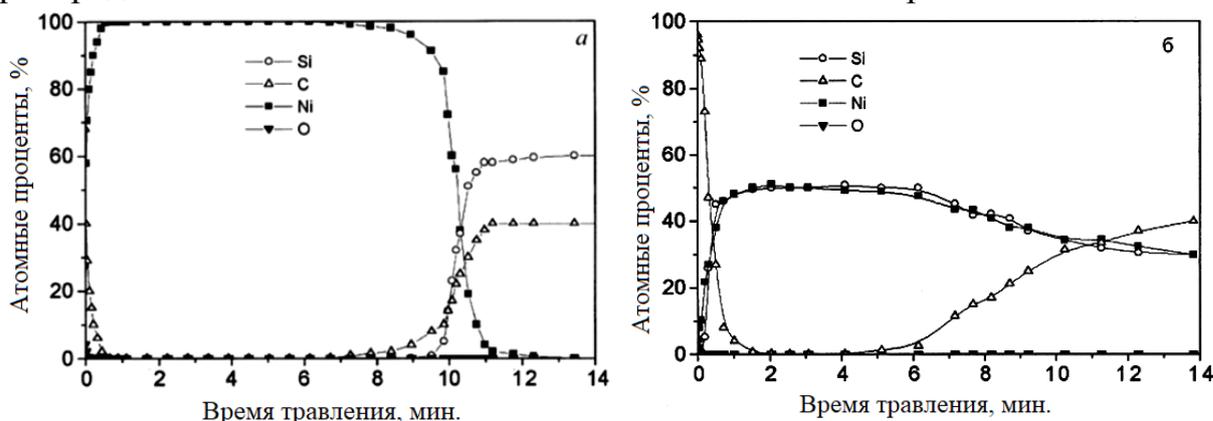


Рис.3. Профили распределения компонентов в омическом контакте Ni-n-SiC6H(0001) ; а-исходный, б-после БТО при $T=1000^{\circ}\text{C}$.30с обработка приводит к выравниванию величин ρ_c по тестовой структуре с получением $\rho_c = 10^{-4} \text{ Ом}\cdot\text{см}^2$ на 70% тестовой поверхности SiC .

Квазиаморфные пленки TiV_x и ZrV_x были покрыты слоем Au , толщиной

до 2 мкм, обеспечивающим контактирование чипа при сборке его в микроволновый корпус. В контактах обоих типов не наблюдается взаимодействие Au с TiB_x и ZrB_x , а также TiB_x и ZrB_x с SiC, обеспечивая таким образом термостойкость контактной металлизации (рис.4.)

Корпусированные диоды подвергались измерением передаточных характеристик. Измерения проводились при разных токах смещения (0.0÷13.8мкА) на частоте 300 МГц, при включении диодов в гибридно-интегральную схему детектирования. Измерительная схема реализована на

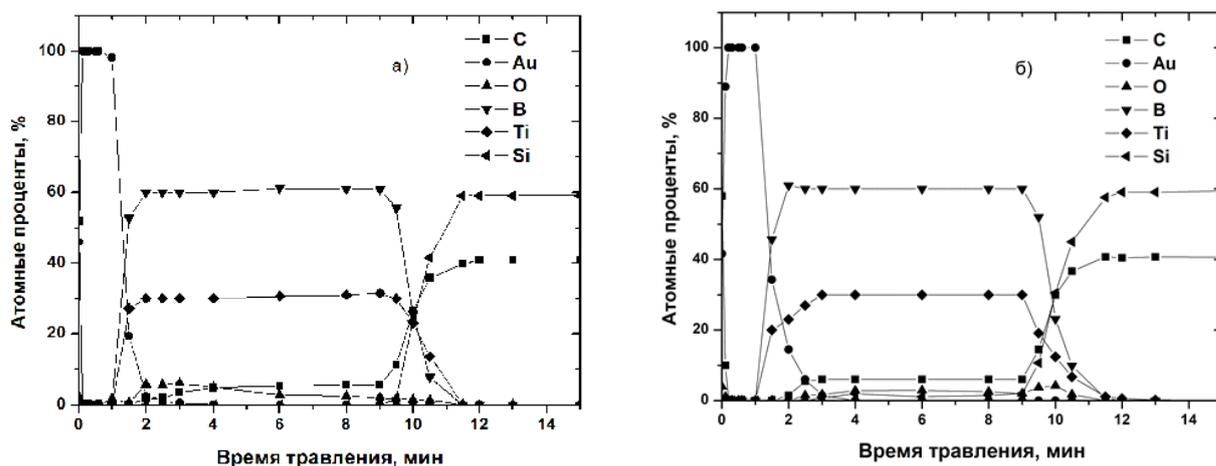


Рис. 4. Профили распределения компонентов в барьерном контакте Au– TiB_x – n -6HSiC а-исходный; б-после БТО при $T=1000^{\circ}C$

несимметричной полосковой линии с волновым сопротивлением 500 Ом. Результаты измерений передаточных характеристик детекторных диодов Au– TiB_x – n -SiC 6H приведены на рис. 5.

Как следует из рис. 5, особенностью карбидкремниевых диодов с барьером Шоттки, является возможность их работы при подаче на вход детектора СВЧ мощности до 1Вт.

Динамический диапазон линейного участка передаточной характеристики составляет 50 dB. Чувствительность диода по напряжению на этом участке слабо зависит от тока смещения и снижается с повышением мощности. Существенным преимуществом детекторных диодов Au– TiB_x (ZrB_x)– n -SiC 6H является меньшие на порядок величины токи смещения по сравнению со стандартными арсенидгаллиевыми детекторными диодами Шоттки, а разработанные барьерные контакты на основе фаз внедрения TiB_x и ZrB_x обеспечивают термостойкость и работоспособность карбидкремниевых диодов с барьером Шоттки, при уровнях входной СВЧ мощности до 1 Вт.

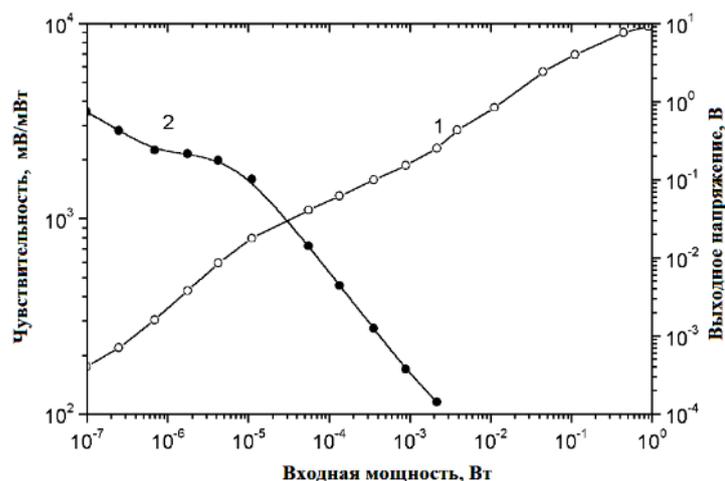


Рис 5. Передаточные характеристики корпусированного диода Шоттки Au–TiV_x–n-6HSiC на частоте 300 МГц: зависимости напряжения на диоде (1) и чувствительности (2) от входной СВЧ мощности при токе смещения 3.2 мкА

В четвертой главе изучено влияние кратковременной микроволновой обработки на распределение параметров диодов Шоттки по пластине SiC. Показана перспективность применения микроволнового излучения для повышения однородности распределения параметров диодов Шоттки по пластине.

Диодные структуры изготавливались на массивном монокристаллическом карбиде кремния n-типа (политип 6H), выращенном методом Лели. Толщина слоя TiV_x была 80нм, Au-100нм. Диаметр диодной структуры ~200мкм.

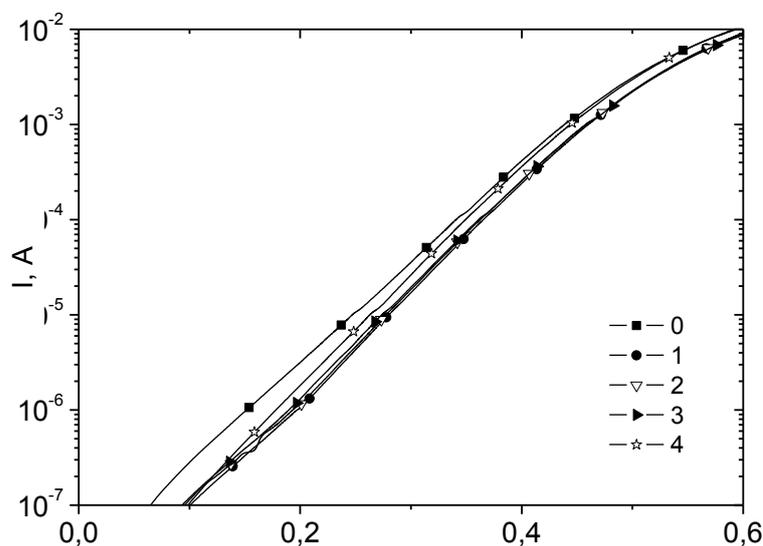


Рис.6. ВАХ диодов с барьером Шоттки при разных временах СВЧ облучения: 0 - исходный образец; 1-4 – после СВЧ отжига в течение 1, 2, 5 и 10с соответственно

Образцы подвергались облучению в магнетроне. Режим облучения осуществлялся в свободном пространстве при неизменном расстоянии от выхода волновода до облучаемого образца. Частота облучения 2,45 ГГц,

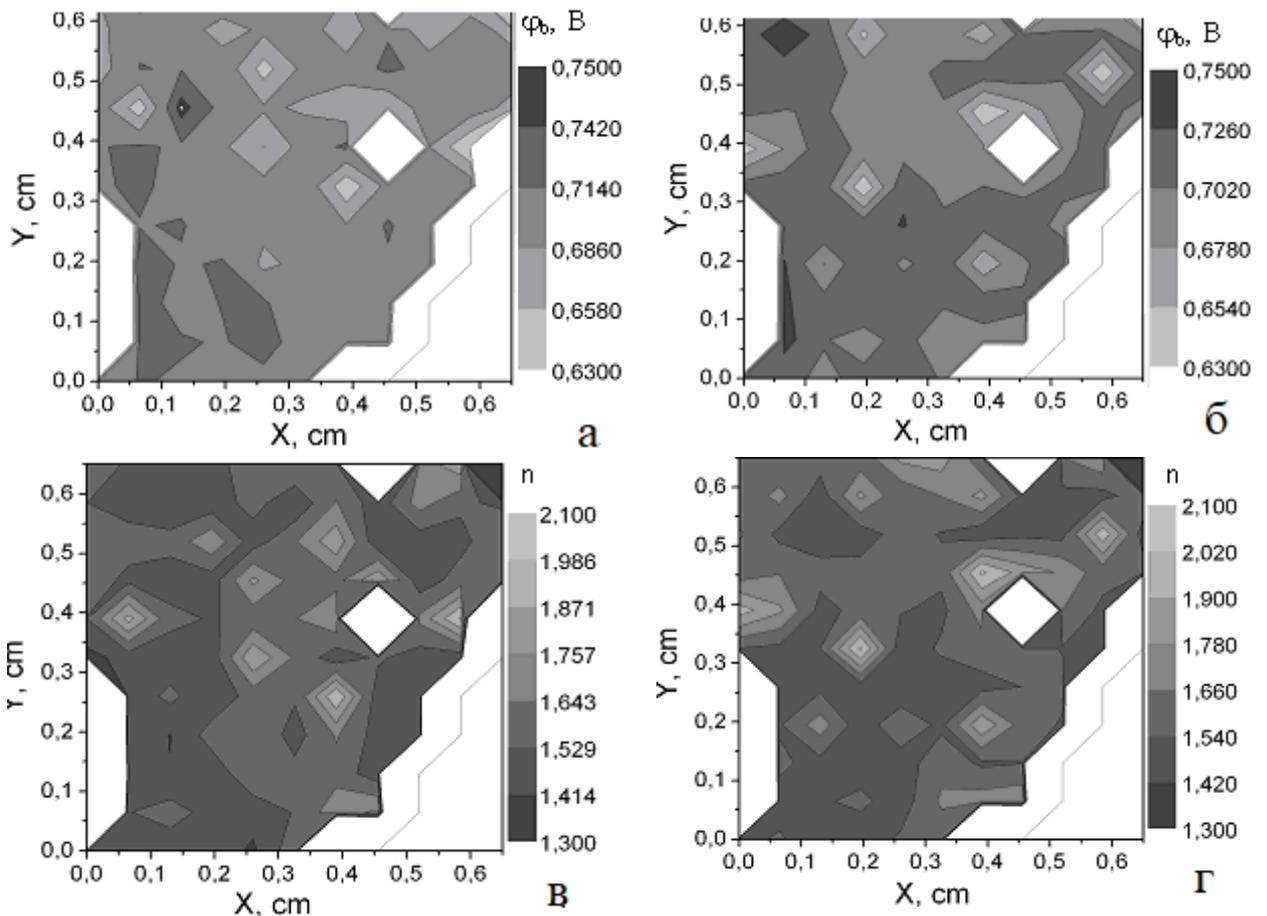
удельная мощность $\sim 1,5 \text{ Вт/см}^2$. Время экспозиции составляла $1 \div 10 \text{ с}$. Температура разогрева образцов при данном типе и длительности обработки не превышала комнатной.

До и после СВЧ облучения измерялись вольтамперные характеристики диодных структур, из которых рассчитывались высота барьера ϕ_B и фактор идеальности n . На рис. 6. приведены прямые ветви ВАХ диода Шоттки до и после СВЧ облучения.

Видно, что ВАХ описываются зависимостью $I = I_s \exp\left(\frac{eV}{nkT} - 1\right)$,

$$\text{где, } I_s = AST^2 \exp\left(-\frac{e\phi_B}{kT}\right)$$

На рис. 7. а - е показаны распределения высоты барьера, фактора идеальности и тока насыщения по площади пластины до и после микроволновой обработки. Из рис. 7. а, б видно заметное увеличение площади более темных областей для времени СВЧ облучения 5с, что соответствует увеличению высоты барьера. Дальнейшая СВЧ обработка приводит к преобладанию светлых тонов, т.е. низкой высоты барьера. Из рис. 7. в, г видно, что соотношение площадей темных и светлых областей остается неизменным. Этот факт свидетельствует о неизменности значения фактора идеальности после СВЧ обработки в течение 5 с.



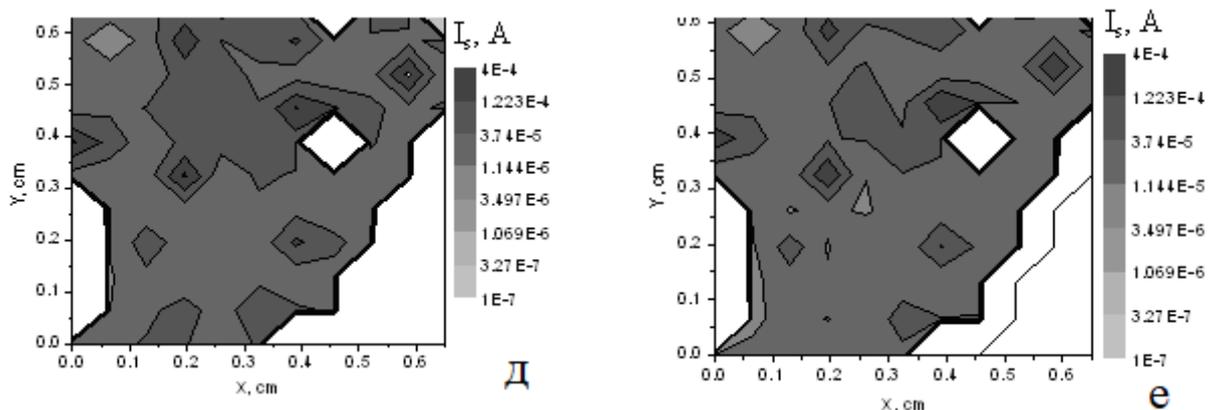


Рис.7. Распределение по площади пластины а, б- высоты барьера, в, г - фактора идеальности и д, е- тока насыщения диодных структур с различными временами облучения: а, в, д – без облучения; б, г, е – СВЧ облучение 5 секунд

На рис. 8. приведены прямые ветви ВАХ диодов Шоттки $TiV_x-n-SiC$ 6H измеренные в диапазоне температур 20-250°C. Видно, что ВАХ описывается экспоненциальной зависимостью вида $I = I_s \exp\left(\frac{eV}{nkT} - 1\right)$. Фактор идеальности при комнатной температуре составляет 1.18, а высота барьера Шоттки рассчитанная из температурной зависимости тока насыщения (рис.8.) и из измерений ВФХ лежит в пределах 0.8-0.85 В.

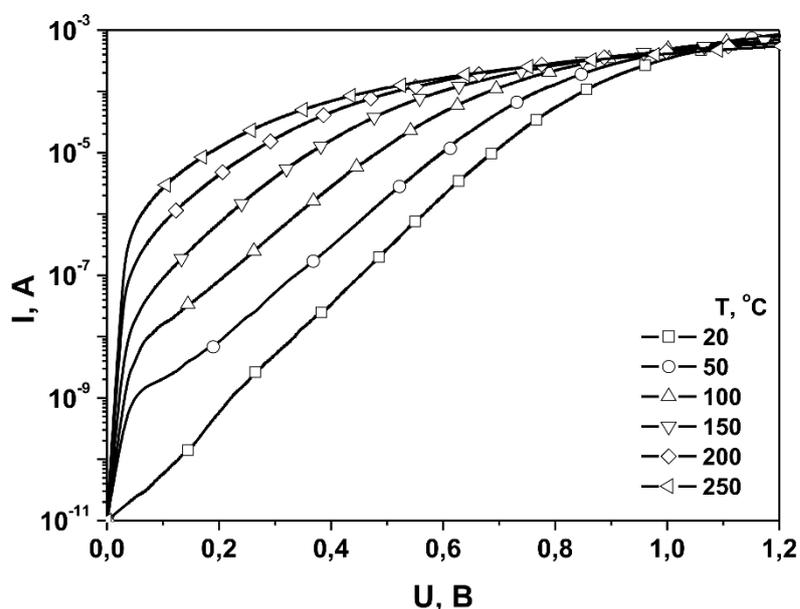


Рис. 8. Прямая ветвь ВАХ диода Шоттки $TiV_x-n-SiC$ 6H измеренная в диапазоне температур 20-250°C

В соответствии приведенными на рис.8 и 9 данными токоперенос на прямой ветви ВАХ диода Шоттки $TiV_x-n-SiC$ 6H осуществляется по механизму термоэлектронной эмиссии, о чем свидетельствует малость коэффициента идеальности при комнатной температуре ($n=1.18$) и активационный характер температурной зависимости тока насыщения с

энергией активации (наклон температурной зависимости тока насыщения) порядка высоты барьера Шоттки

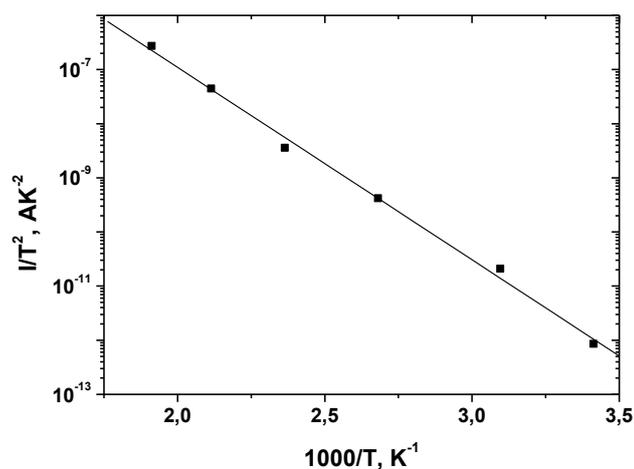


Рис. 9. Температурная зависимость тока насыщения диода Шоттки $\text{TiB}_x\text{-n-SiC}$ 6Н

Аналогичные результаты по температурной зависимости тока насыщения получены на диодах Шоттки $\text{ZrB}_x\text{-n-SiC}$. Однако, такие ВАХ наблюдались не на всех диодных чипах. На ряде диодов Шоттки полученных на участках пластины SiC с повышенной плотностью дислокаций, наблюдались прямые ветви ВАХ, изображенные на рис. 10. Оказалось, что в широком диапазоне температур прямая ветвь ВАХ в диапазоне напряжений 0,05-0,4 В (см.рис.10) описывается экспоненциальной зависимостью типа

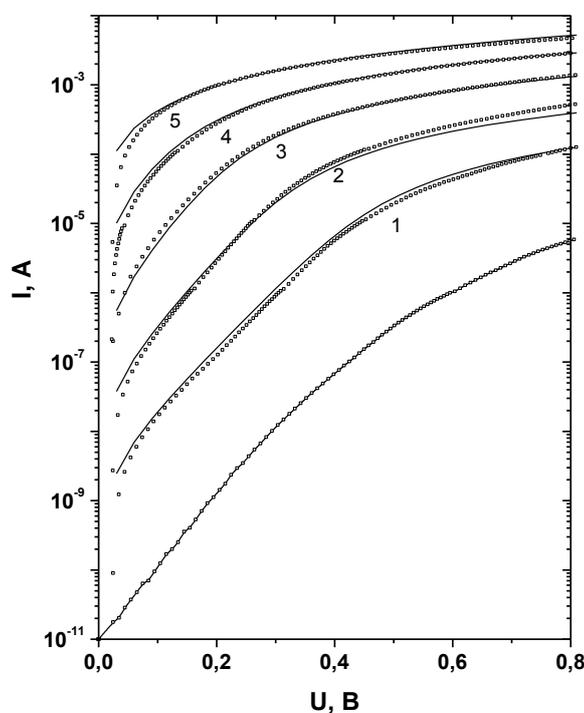


Рис. 10. Прямые ветви ВАХ барьеров Шоттки $\text{TiB}_x\text{-n-SiC}$ при разных температурах; 1-100 К, 2-200 К, 3-300 К, 4-400 К, 5-500 К, —эксперимент, $\circ\circ\circ$ —расчет

Оказалось, что в широком диапазоне температур прямая ветвь ВАХ в диапазоне напряжений 0,05-0,4 В (см.рис.10) описывается экспоненциальной зависимостью типа

$$j = j_0 \left[\exp \left(\frac{eV}{\varepsilon_T} \right) - 1 \right], \quad (4.1)$$

(где j_0 -плотность тока насыщения, равная $j_0 = e\rho\nu_D \exp \left(\frac{eV_k}{\varepsilon_T} \right)$, ρ -плотность дислокаций, ν_D -частота Дебая для SiC $\sim 10^{12} \text{с}^{-1}$, ε_T -характеристическая энергия туннелирования, равная $\varepsilon_T = nkT$, $eV_k = \phi_b - \mu$, μ -химический потенциал, равный $\mu \approx kT \ln \frac{N_C}{N_B}$, $N_C \approx 2 \cdot 10^{19} (T/300)^{3/2}$ -плотность состояний в с-зоне SiC, $N_B \approx 10^{18} \text{см}^{-3}$, составляет $\sim 0,07$ эВ, при комнатной температуре $eV_k \approx \phi_b \approx 0.7 \text{эВ}$)

При этом характеристическая энергия ε_T и плотность тока насыщения J_0 слабо (по сравнению с током термоэлектронной эмиссии) зависят от температуры (см.рис.11). Эти результаты согласно модели шунтирующей дислокации указывают на туннельный механизм токопереноса (связанный с туннелированием по дислокациям), поскольку ширина области пространственного заряда (ОПЗ) W в SiC, при потенциале на диоде $V_k - V$

1В, определяемая по формуле $W = \sqrt{\frac{\varepsilon\varepsilon_0(V_k - V)}{eN_B}} \approx 6,7 \cdot 10^{-6} \text{см}$

(здесь: V_k -диффузионный потенциал, V -напряжение, $\varepsilon, \varepsilon_0$ -диэлектрическая постоянная бНСiC и вакуума, соответственно) существенно больше характерной длины туннелирования λ , рассчитываемой по формуле

$$\lambda = \hbar / \sqrt{2m^*e(V_k - V)} \approx 7 \cdot 10^{-9} \text{см}$$

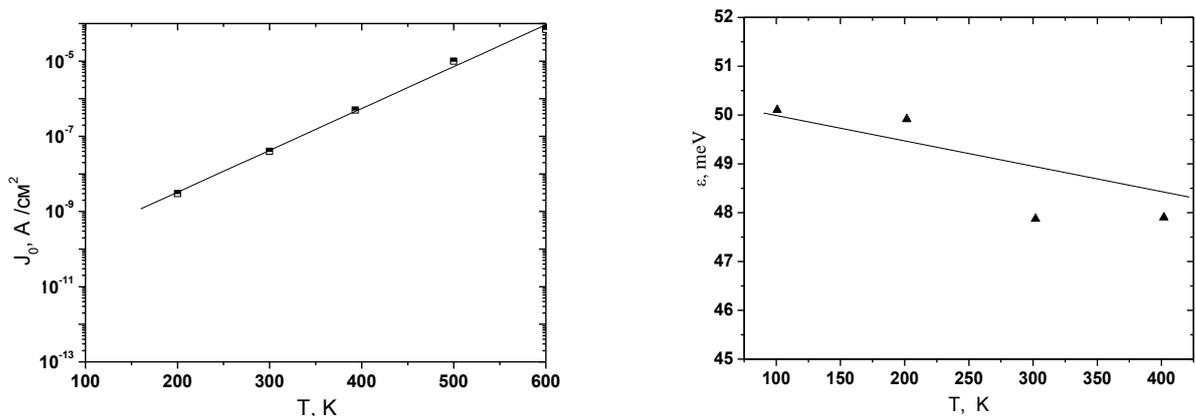


Рис. 11. Зависимость тока насыщения а) и характеристической энергии туннелирования б) от температуры

(здесь: $m^* = 0,6m_0$ -эффективная масса электронов в n -SiC6H), т.е. прямое туннелирование носителей в исследуемых диодах с барьером Шоттки на основе SiC6H с $N_B \approx 1,6 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ невозможно.

Используя полученные из экспериментальной прямой ветви ВАХ диода Шоттки параметры $\varepsilon(0), j(0)$ и учтя рассчитанную величину $\phi_b \approx 0,7 \text{ эВ}$, можно провести оценку плотности дислокации из уравнения

$$j_0(0) = e\rho\nu_D \exp\left(\frac{e\phi_b(0)}{\varepsilon_T(0)}\right) \quad (4.2)$$

$$\rho = \frac{j_0(0)}{e\nu_D} \exp\left(\frac{e\phi_b(0)}{\varepsilon_T(0)}\right) = \frac{10^{-6} \text{ А/см}^2}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ К} \cdot 10^{-12} \text{ с}^{-1}} \exp\frac{0,7}{0,05} \approx \quad (4.3)$$

$$\approx 0,6 \cdot 10^1 \cdot 1,2 \cdot 10^6 \approx 0,7 \cdot 10^7 \approx 7 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$$

Полученная величина $\rho \approx 7 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$ коррелирует с данными по ρ , полученных из рентгеновских измерений.

Адекватное описание экспериментально наблюдаемых туннельных токов в барьерном контакте на основе SiC с помощью модели шунтирующей дислокации в соответствии с формулой $I_0 = e\rho\nu_D \exp\left(\frac{\phi_b(T)}{\varepsilon_T}\right)$ требует, чтобы концентрация дислокаций в SiC была порядка $10^6 \div 10^8 \text{ см}^{-2}$. Для уменьшения избыточного туннельного тока в карбидкремниевых диодах Шоттки необходимы структурно-совершенные монокристаллы SiC, с плотностью дислокаций в ОПЗ меньше, чем 10^6 см^{-2} .

Приведенные данные показывают, что в широких слоях ОПЗ карбидкремниевых диодов Шоттки избыточная компонента тока носит туннельный характер несмотря на то, что ОПЗ в исследованных диодах существенно больше характерной длины туннелирования.

Анализ прямых ветвей ВАХ, данные Оже-спектроскопии и рентгеновской дифрактометрии показали, что независимо от плотности дислокаций в пластине n -SiC6H, БТО при $T=1000^\circ\text{C}$ не вносит существенных изменений в фазовый состав барьерообразующей металлизации TiB_x и ZrB_x , а изменения в преимущественном механизме токопереноса, определяются наличием значительной $>10^6 \text{ см}^{-2}$ плотности дислокации в SiC.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе полученных результатов исследования, проведенного по теме диссертации доктора философии (PhD) «Влияние термических и микроволновых обработок на электрофизические свойства карбидкремниевых диодных структур с барьером шоттки $\text{TiB}_x(\text{ZrB}_x)$ - n -SiC6H)», представлены следующие выводы:

1. Впервые экспериментально обнаружено, что быстрая термическая обработка при $T=1000^\circ\text{C}$ в течение 90с незначительно влияет на параметры барьерных контактов $\text{TiB}_x(\text{ZrB}_x)$ - n -SiC 6H, сохраняется постоянство состава переходного слоя.

2. На основе анализа прямых ветвей вольт-амперных характеристик, данных Оже-спектроскопии и рентгеновской дифрактометрии установлено, что независимо от плотности дислокаций в пластине n-SiC 6H быстрая термическая обработка при $T=1000^{\circ}\text{C}$ не вносит существенных изменений в фазовый состав барьерообразующей металлизации TiB_x и ZrB_x , а изменения в механизме токопереноса определяются наличием значительной $>10^6\text{см}^{-2}$ плотности дислокации в SiC.

3. Использование в качестве барьерного контакта к n-SiC6H(0001) квазиаморфного сплава TiB_x и омического контакта на основе силицидов никеля, позволил создать высокочувствительный термостабильный детекторный диод, перспективный для применения как датчик сверхвысокочастотной мощности.

4. Полученные данные свидетельствуют о перспективности гетероструктуры $\text{TiB}_x(\text{ZrB}_x)\text{-n-SiC}$ для создания на их основе термостойких приборов с барьером Шоттки. Экспериментальные данные позволяют полагать, что варьируя условиями приготовления покрытия $\text{TiB}_x(\text{ZrB}_x)$ (морфология, структура, состав) можно повысить температурный порог деградации параметров карбидкремниевых диодов с барьером Шоттки.

5. Впервые установлена возможность применения кратковременного микроволнового излучения для повышения однородности распределения параметров барьера Шоттки по пластине карбида кремния

6. С ростом времени экспозиции СВЧ облучения до 10с улучшаются параметры ПБС Au- $\text{TiB}_x\text{-n-SiC}$ 6H, а именно высота барьера растет, фактор идеальности и величина обратного тока уменьшается. А свыше 10с, облучение приводит к деградации прямой ветви, уменьшается экспоненциальный участок, изменяется наклон ВАХ-высота барьера уменьшается, фактор идеальности растет, что связано с генерацией структурных дефектов образующихся в процессе релаксации внутренних механических напряжений стимулированными СВЧ обработкой в структуре n-SiC.

7. Впервые выявлено, что СВЧ обработка частотой 2,45 ГГц, мощностью $1,5\text{Вт/см}^2$ карбидкремниевых диодов с барьером Шоттки, может приводить к улучшению электрофизических параметров, когда время облучения диодных структур близко к оптимальному. В нашем случае это 5с. Подобные изменения стабильны в течение длительного времени. После года хранения облученных до 5секунд образцов при комнатной температуре их параметры (ϕ_b , I_0 и n) оставались практически неизменными. Последнее обстоятельство позволяет надеяться на их использование в технологических целях.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING OF SCIENTIFIC DEGREES
No. DSc.30.08.2019.FM/T.01.12ON AT THE SCIENTIFIC RESEARCH
INSTITUTE OF SEMICONDUCTORS PHYSICS AND
MICROELECTRONICS UNDER
THE NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN**

NUKUS STATE PEDAGOGICAL INSTITUTE

ABDIZHALIEV SULTANBEK KALLIBEKOVICH

**INFLUENCE OF THERMAL AND MICROWAVE TREATMENTS ON
ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF SILICON CARBIDE DIODE
STRUCTURES WITH SCHOTTKY BARRIER $TiB_x(ZrB_x)_n-SiC_6H$**

01.04.10 – Physics of semiconductors

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
ON PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES**

Tashkent – 2019

The theme of the doctoral (PhD) dissertation was registered by the Supreme Attestation Commission of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under No. B2017.3.PhD/FM142.

The doctoral (PhD) dissertation was carried out at Nukus State Pedagogical Institute.

The abstract of the dissertation was posted in three (Uzbek, Russian, English (resume)) languages on the website of the Scientific Council at www.ispm.uz and on the website of "ZiyoNet" Information and Educational Portal at www.ziynet.uz.

Scientific supervisor: **Kamalov Amangeldi Bazarbaevich**
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Assistant Professor

Official opponents: **Zikrillaev Nurulla Fatkhullaevich**
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

Rasulov Rustam Yavkachovich
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

Leading organization: **Andijan state university**

The defense of the doctoral dissertation will be held on "____" _____ 2019, at _____ at the meeting of the Scientific Council No.DSc.30.08.2019.FM/T.01.12at the Scientific Research Institute of Physics of Semiconductors and Microelectronics under the National University of Uzbekistan (Address: 20 Yangi Olmazor str., 100057 Tashkent city, Uzbekistan. Tel. (+99871) 248-79-94, fax: (+99871) 248-79-92, e-mail: info@ispm.uz, Conference Hall of the SRIPSM under the NUU).

The doctoral dissertation can be looked through in the ICT Implementation Unit (registered under No.____). Address: 20 YangiOlmazor str., 100057 Tashkent city, Uzbekistan. Tel.: (+99871) 248-79-59, e-mail: info@ispm.uz.

The abstract of the dissertation was distributed on "____" _____ 2019.
(Registry record No. _____ dated "____" _____ 2019)

Sh.B. Utamuradova
Chairman of the Scientific Council
on Award of Scientific Degrees,
Doctor of Physical and Mathematical
Sciences, Professor

S.S. Nasriddinov
Scientific Secretary of the Scientific Council
on Award of Scientific Degrees, Doctor of
Technical Sciences, Assistant Professor

A.T. Mamadalimov
Chairman of the Scientific Seminar of the
Scientific Council on Award of Scientific
Degrees, Doctor of Physical and Mathematical
Sciences, Academician

INTRODUCTION (abstract of the PhD dissertation)

The aim of research work is to study the influence of rapid thermal treatments and microwave radiation on the electrical characteristics of silicon carbide diode structures with Schottky barrier TiBx (ZrBx)-n-SiC 6H, to identify interfacial interactions that are essential for controlling the properties of the interface and the creation of highly sensitive Schottky detector diodes

The object of research work was surface-barrier structures (SBS) with Schottky barrier based on single crystals of silicon carbide n-type polytype 6H

The subject of research work is the process of changing the parameters of barrier contacts TiBx (ZrBx) - n-SiC6H under the influence of rapid thermal and microwave treatments.

Scientific novelty of the research consists in the following:

it was found that thermal annealing at $T=1000^{\circ}\text{C}$ for 90s does not affect the composition of the barrier contacts TiBx(ZrBx) - n-SiC6H, indicating the thermal stability of the parameters of Schottky barriers;

it is found that the obtained data on the resistance of semiconductor device structures Schottky barrier based on n-SiC6H to external influences and mechanisms of action can be applied in the creation of heat-resistant semiconductor devices with Schottky barrier based on n-SiC6H.

the basic physical processes underlying the stability of the electrical parameters of Schottky barrier devices formed using amorphous TiBx and ZrBx films are elucidated.

it is established that the mechanism of current transfer in the diode TiBx(ZrBx) - n-SiC 6H-structure obtained in the areas of the SiC plate with an increased dislocation density ($>10^6\text{cm}^{-2}$), in the forward direction of the volt-ampere characteristic, is due to tunneling of current carriers along dislocations crossing the space-charge region;

it was found that short-term (5s.) exposure to microwave radiation leads to an improvement in the detector properties of diode TiBx(ZrBx) - n-SiC6H structures due to an increase in the height of the Schottky barrier.

-for the first time SiC detector diodes with Schottky barrier based on TiBx and ZrBx, superior in their transfer characteristics of detector diodes with Schottky barrier based on GaAs

-the possibility of using short-term microwave radiation to increase the homogeneity of the Schottky barrier parameters distribution over a silicon carbide plate is shown for the first time

Implementation of research results.

1. On the basis of the results obtained on the study of the thermal stability of Schottky barriers, it was found that the composition of the barrier contacts TiBx (ZrBx) - n-SiC6H is not affected by thermal annealing with a temperature of 1000°C for 90s. These results were used in the framework of the fundamental

project of Karakalpak state University "F-2-37-Features of laser-induced nonlinear defect formation processes in semiconductors" (2012-2016). The use of scientific results allowed us to develop a nondestructive Express method for monitoring and predicting the reliability of Schottky barrier detector diodes.

2. Created for the first time SiC detector diodes with Schottky barrier, superior in their transfer characteristics of diodes with Schottky barrier based on GaAs, were used in the creation of electronic circuits of the modern security system of scientific and industrial, private enterprise "NEOMAX". (reference 6703/13-01 of November 1, 2019 of the Department of the Chamber of Commerce and Industry of Uzbekistan in Tashkent). Created SiC detector diodes with Schottky barrier, replaced imported diodes and made it possible to increase the sensitivity of security systems.

Approbation of the results of the study. The main results of the dissertation work were reported and discussed at 12 International and 5 Republican scientific and practical conferences.

Publication of the research results. On the topic of the dissertation a total of 23 scientific papers, 5 articles in scientific publications recommended for publication of scientific results of doctoral dissertations at the Supreme Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan, including 2 of them in national and 3 – in foreign journals.

Structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and an Appendix. The total volume of the dissertation is 116 pages.

ЭЪЛОНҚИЛИНГАНИШЛАРРЎЙХАТИ
СПИСОКОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; part I)

1. Камалов А.Б., Абдижалиев С.К., Аширбекова С.У.. Термостойкие диоды с барьером Шоттки Au-ZrV_x-n-SiC6H//Бухоро давлат университети илмий ахбороти. 2019. №1.С.2-5.(01.00.00. №3)
2. Камалов А.Б., Абдижалиев С.К., Особенности механизма токопере­носа в прямосмещенных диодах Шоттки TiV_x-n-6HSiC. Петербургский журнал электроники. 2017, №4.С.31-34 (01.00.00. №37)
3. Тагаев М.Б., Камалов А.Б. Абдижалиев С.К. Межфазные взаимодей­ствия на границе раздела TiV_x-n-6HSiC, стимулированные микроволновой обработкой// Узбекский физический журнал. 2013.вып.15 (№3-4). С.185-187 (01.00.00. №5)
4. Абдижалиев С.К., Кудрик Я.Я. Электрофизические свойства диодов Шоттки под воздействием микроволнового излучения//Петербургский журнал электроники, 2004, №2, с.48-52 (01.00.00. №37)
5. Abdizhaliev S.K., Ismailov K.A., Kamalov A.B., Kudryk Ya.Ya. Effect of microwave treatment on the parameters of Au-TiV_x-GaAs(SiC 6H) surface-barrier structures//Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. 2003. V.6, N2, p.202-204 (01.00.00. №7)
6. Болтовец Н.С., Зоренко А.В., Иванов В.Н., Власкина С.И., Конакова Р.В., кудрик Я.Я., Литвин П.М., Литвин О.С., Миленин В.В., Абдижалиев С.К.//Особенность формирования и термостабильность барьерных контактов к высокочувствительным детекторным диодам// Письма в ЖТФ, 2003, т.29, вып.1., с.47-55

II бўлим (II часть; II part)

- 7 Камалов А.Б., Аширбекова С.У., Абдижалиев С.К., Особенности механизма токопере­носа в прямосмещенных диодах шоттки TiV_x-n-SiC 6H//Материалы XIV Международной научной конференции, физика твердого тела, функциональные материалы и новые технологии (ФТТ-2018). Бишкек-Караганда, 2018г., 1–4 августа.С.75-77.
- 8.Камалов А.Б., Абдижалиев С.К. Влияние микроволнового облучения на электрофизические характеристики карбидкремниевых диодов шоттки Au-TiV_x-n-SiC 6H// Материалы республиканской научно-практической конференции с участием зарубежных ученых. «Инновационные технологии в науке и образовании» Нукус.20-21 ноября, 2018 г. С.52-53
- 9.Камалов А.Б.,Аширбекова С.У., Абдижалиев С.К. Влияние микроволновой обработки на параметры диодов с барьером шоттки на основе SiC.// Международная конференция «Фундаментальные и прикладные вопросы физики» Ташкент.13-14 июня 2017г..С.254-256
10. Камалов А.Б, Абдижалиев С.К. Влияние микроволнового облучения

на вах диодов шоттки Au-TiB_x-n-SiC₆H//Материалы республиканской научной конференции «Неравновесные процессы в полупроводниках и полупроводниковых структурах» Ташкент.1-2 февраля 2017г..С.101-103

11. Камалов А.Б., Аширбекова С.У., Абдижалиев С.К., Контактующие пленки борида титана в полупроводниковых приборах// «Хозирги зомон аниқ ва техник фанлар муаммолари ва уларнинг ечимлари» республика илмий-назарий анжумани материаллари. Нукус 2017,С.21-22

12. Abdizhaliev S.K., Kamalov A.B., Tagaev M.B.. Microwave processing of Silicon carbide diode Schottky barrier structures TiB_x-n-SiC₆H// Materials of XIV international conference “Physics and technology of thin films and nanosystems” 20-25 May, Ivano-Frankivsk, Ukraine, 2013. p.580

13. Абдижалиев С.К., Исмаилов К.А. Влияние микроволновой обработки на параметры диодов Au-TiB_x-n-SiC₆H// V Международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы физики» (Баку, Азербайджан, 2008), с.203-204

14. Абдижалиев С.К., Камалов А.Б., Исмаилов К.А., Отениязов Е. Влияние микроволнового излучения на свойства диодов с барьером Шоттки Au-TiB_x-n-GaAs(SiC₆H) //Сб. материалов республиканской научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы современной физики» Ташкент 2007., с.168-169

15. Абдижалиев С.К., Исмаилов К.А., Влияние быстрых термических и микроволновых обработок на величину контактного сопротивления в структурах Ni-n-SiC// Материалы Третьей международной конференции посвященной 15-летию Независимости Узбекистана «Фундаментальные и прикладные вопросы физики» (Ташкент, Узбекистан, 2006 г.) с.151-152

16. Абдижалиев С.К. Влияние малых доз СВЧ излучения на электрофизические характеристики карбидкремниевых диодов Шоттки// IV Республиканской конференции «Рост, свойства и применение кристаллов» (Нукус, Каракалпакстан, Узбекистан, 2005), с.65-66

17. Абдижалиев С.К., Кудрик Я.Я. Влияние микроволнового излучения на электрофизические свойства диодов с барьером Шоттки Au-TiB_x(ZrB_x)-n-SiC₆H// XIV Международное совещание «Радиационная физика твердого тела» (Севастополь, Украина, 2004), с.439- 444

18. Болтовец Н.С., Конакова Р.В., Власкина С.И., Кудрик Я.Я., Миленин В.В., Литвин П.М., Абдижалиев С.К., Исмаилов К.А., Капитанчук Л.М. Влияние быстрых термических и СВЧ обработок на барьерные свойства контакта TiB_x-n-SiC₆H// III международной конференции «Радиационно-термические эффекты и процессы в неорганических материалах»(Томск, Россия, 2002), с.256-258

19. Болтовец Н.С., Иванов В.Н., Абдижалиев С.К., Конакова Р.В., Кудрик Я.Я., Литвин О.С., Литвин П.М., Миленин В.В., Ренгевич А.Е. Термостойкие барьеры Шоттки Au-ZrB_x-n-SiC₆H //12thInternational Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo 2002) (Sevastopol, Crimea, Ukraine) p.159-160

20. Абдижалиев С.К., Кудрик Я.Я. Влияние высокочастотного

излучения на электрофизические свойства карбидкремниевых диодов Шоттки.// IV Міжнародної школи-конференції “Актуальні проблеми фізики напівпровідників” (Дрогобич, Україна, 2003) с.5

21. Boltovets N.S., Ivanov V.N., Kapitanchuk L.M., Vlaskina S.I., Konakova R.V., Lytvyn P.M., Lytvyn O.S., Milenin V.V., Kudryk Ya.Ya., Abdizhaliev S.K., Rengevich O.E., Rodionov V.E. Effect of rapid thermal annealing on the barrier properties of TiB_x -n-6HSiC contact// IV International Seminar on Silicon Carbide and Related Materials (Novgorod the Great, Russia, 2002), p.65-66

22. Boltovets N.S., Ivanov V.N., Abdizhaliev S.K., Konakova R.V., Kudrik Ya.Ya., Lytvyn P.M., Lytvyn O.S., Milenin V.V., Rengevich O.E., Venger E.F., Vlaskina S.I. Interactions between phases and thermal stability of $TiB_x(ZrB_x)$ -n-SiC 6H contacts. ASDAM 2002, The Fourth International Conference on Advanced Semiconductor Devices and Microsystems, -Smolenice Castle, Slovakia, 14-16-October 2002, p.95–98

23. Boltovets N.S., Ivanov V.N., Zorenko A.V., Konakova R.V., Kudryk Ya.Ya., Milenin V.V., Abdizhaliev S.K. Highky sensitive microwave detecting Au- $TiB_x(ZrB_x)$ -n-SiC 6H diodes// International Semiconductor Conference «CAS 2002» (Sinaia, Romania, 2002), p. 49-52.