ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSC.30.05.2018.FM/T.65.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ

ТУРГУНБОЕВ ФАРХОД ЮСУПЖАНОВИЧ

ГАФНИЙ ЁКИ ЦИРКОНИЙ АТОМЛАРИ ВА ПАРДАЛАРИНИ МЕТАЛЛ-БАРИЙ ВА МЕТАЛЛ-КИСЛОРОД-БАРИЙ СИСТЕМАЛАРИНИНГ ЭМИССИОН ХОССАЛАРИГА ТАЪСИРИ

01.04.04 - Физик электроника

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

ТОШКЕНТ-2018

УДК: 537.333.7.8

Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси автореферати мундарижаси
Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по физика-математическим наукам
Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD) on physical-mathematical sciences

Тургунбоев Фарход Юсупжанович
Гафний ёки цирконий атомлари ва пардаларини металл-барий ва металл-кислород-барий системаларининг эмиссион хоссаларига таъсири ……. 5

Тургунбоев Фарход Юсупжанович
Влияние атомов и пленок гафния или циркония на эмиссионные свойства систем металл-барий и металл-кислород-барий ……...25

Turgunbaev Farkhad Yusupjanovich
Influences of hafnium or zirconium atoms and films to the emission properties of the metal-barium and metal-oxygen-barium systems…….45

Эълон қилинган ишлар рўйхати
Список опубликованных работ
List of published works……....49

ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSC.30.05.2018.FM/T.65.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ

ТУРГУНБОЕВ ФАРХОД ЮСУПЖАНОВИЧ

ГАФНИЙ ЁКИ ЦИРКОНИЙ АТОМЛАРИ ВА ПАРДАЛАРИНИ МЕТАЛЛ-БАРИЙ ВА МЕТАЛЛ-КИСЛОРОД-БАРИЙ СИСТЕМАЛАРИНИНГ ЭМИССИОН ХОССАЛАРИГА ТАЪСИРИ

01.04.04 - Физик электроника

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

ТОШКЕНТ-2018

Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2017.1.PhD/FM22 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Ўзбекистон Миллий университетида бажарилган.

Диссертация автореферати учта тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) илмий кенгашнинг веб-саҳифасида (www.iplt.uz) ҳамда «ZiyoNet» ахборот-таълим порталида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:	**Турсунметов Комилжон Ахметович** физика-математика фанлари доктори, профессор
Расмий оппонентлар:	**Умирзаков Болтахужа Ерматович** физика-математика фанлари доктори, профессор
	Исаханов Зийнабиддин Абилпайзиевич физика-математика фанлари доктори, катта илмий ходим
Етакчи ташкилот:	**Қарши давлат университети**

Диссертация ҳимояси Ион-плазма ва лазер технологиялари институти ҳузуридаги илмий даражалар берувчи DSc.30.05.2018.FM/T.65.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2018 йил «___» _____ соат ___ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100125, Тошкент ш., Дўрмон йўли кўчаси, 33-уй. Тел./факс: (998-71) 2623254, e-mail: info@iplt.uz, Ион-плазма ва лазер технологиялари институти мажлислар зали).

Диссертация билан Ион-плазма ва лазер технологиялари институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (__ рақами билан рўйхатга олинган) Манзил: 100125, Тошкент ш., Дўрмон йўли кўчаси, 33-уй. Тел./факс: (998-71) 2623254.

Диссертация автореферати 2018 йил «__ » _____ куни тарқатилди.
(2018 йил « ___ »_____даги ____ рақамли реестр баённомаси).

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

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

Б.Е. Умирзаков
илмий даражалар берувчи илмий кенгаш ҳузуридаги илмий семинар раиси, ф.-м.ф.д. профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда бугунги кунда жадал ривожланаётган физик электроника соҳасида долзарб бўлган муаммолардан бири кўп нурли электрон асбобларни яратиш ва уларни мукаммаллаштиришнинг физик асосларини тадқиқ қилишдир. Бу ҳолда кичик-микроўлчамли кўп сонли электронлар оқимини ҳосил қилувчи системаларни яратиш, улар ишлашининг физик асосларини аниқлаш ва амалда синаб кўриш бугунги кунда муҳим вазифалардан бири бўлиб қолмоқда.

Ҳозирги кунда жаҳоннинг етакчи давлатлари Россия, Америка, Хитой, Японияда космик ва ҳарбий техникада қўлланувчи махсус кўп нурли параметрик кучайтиргичларни ишлаб чиқиш устида тадқиқотлар олиб борилмоқда. Бунинг учун юқори космик ва ҳарбий техникада қўлланилувчи махсус кўп нурли параметрик кучайтиргичлар учун юқори самарали, термостабил антиэмиссион материаллар ишлаб чиқиш, унинг физик принципларини аниқлаштириш, ишлаш маромини аниқлаш муаммоларини ҳал қилиш зарур ва шунинг учун ҳам бу илмий ва илмий-технологик муаммолар ушбу тадқиқотнинг асосини ташкил қилиб, унинг муҳимлигини асослайди.

Сўнгги йилларда Ўзбекистон Республикасида ҳам физик электроника соҳасида физик кимёвий жараёнлар ва ҳодисаларни ўрганишга имкон берувчи электрон асбоблар ишлаб чиқилди ҳамда назарий фундаментал аҳамиятга эга бўлган тадқиқотлар олиб борилди. Янги, мукаммаллашган соҳа ва хусусиятга эга бўлган нанокиришмали ва структурали материаллар яратилди. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантиришнинг Ҳаракатлар стратегиясида белгиланган вазифаларни амалга оширишда физик электрониканинг замонавий материалшунослик ва асбобсозлик ҳамда технологияларини яратиш ҳам ўта муҳим аҳамиятга эга. Жумладан, кўп нурли махсус параметрик кучайтиргичларда микроўлчамли кўп сонли электрон дасталар олишга имкон берувчи антиэмиссион материаллар олиш ҳамда уларнинг стабил ишлашини физик шарт-шароитини аниқлаш долзарб вазифалардан ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-49-47-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2010 йил 15 декабрдаги ПҚ-1442-сон «2011–2015 йилларда Ўзбекистон Республикаси саноатини ривожлантиришнинг устувор йўналишлари тўғрисида»ги, 2017 йил 17 февралдаги ПҚ-2789-сон «Фанлар академияси фаолияти, илмий ишларини ташкил этиш, бошқариш ва молиялаштиришни янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот

республика фан ва технологиялари ривожланишининг III. «Энергетика, энергоресурс тежамкорлик, транспорт, машина ва асбобсозлик, замонавий электроника, микроэлектроника, фотоника ва электрон асбобсозлиги ривожланиши» устувор йўналишига мувофиқ бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Бугунги кунга қадар илмий тадқиқотлар ва ишлаб чиқарувчиларнинг изланишларида асосан қалин қатламли Hf, Zr, Ti, Mo, B ва Re пардаларининг антиэмиссион хосса ва хусусиятлари ўрганилган. АҚШ олимлари A.N.Curren, B.T.Ebihara, S.Peet катод юзасига тўр ўрнатиш орқали кўп нурли оқим олиш ва уни қўллаш асосида кўп нурли электрон асбоблар яратишган. Россия олимларидан Б.Ч.Дюбуа, Ю.В.Гурков, А.Камерцель, Н.Н.Чубун, И.Б.Бутенко Hf, Zr,Ti нинг 10–20 мкм қалинликдаги пардаларининг термоэмиссион катод юзаларида антиэмиссион хоссаларини аниқлашган ва Hf ни антиэмиссион материал сифатида қўллашни тавсия қилишган. Ўзбек олимларидан Г.Н. Шуппе, У.В.Азизов, К.А.Турсунметов, Н.А.Горбатий қийин эрийдиган металлар сиртида Ba ва кислород атомларининг адсорбциясини ўрганишган. К.А.Турсунметов ва Ю.В.Гурков томонидан қалин (10–20) гафний пардалари амалиётда антиэмиссион қоплама сифатида синаб кўрилган. Лекин юпқа металл пардаларининг антиэмиссион хоссалари, термостабиллиги ва ишлашининг физик тамойиллари тадқиқ қилинмаган.

Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Ўзбекистон Миллий университетининг 02-07-сон «Қийин эрувчи металл ва унинг қотишмаларини эмиссион, адсорбцион ва фотоэмиссион хоссаларини тадқиқ қилиш» (2015–2018) илмий-тадқиқот лойиҳаси доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади термокатодлардан кўп сонли электрон нурини олишга имкон берувчи антиэмиссион материалларни яратиш, уларнинг юпқақатламли пардаларининг эмиссион хусусиятлари ва термобарқарорлигини аниқлашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

ўта юқори вакуум ҳосил қилувчи «бутунлай металл» қурилмани модификациялаш, МХ-7304 масс-спектрометр анализаторини намунага 6-10 мм масофагача яқинроқ ўрнатиш, Оже-спектрометрдаги кучланиш тақсимоти электрон системасини ўрнатиш ва шу асосда кучланишнинг тўғри ва тескари йўналишларида берилган тезликларда ўзгаришини таъминловчи системани яратишга эришиш;

тоза ва оксидланган гексагонал панжарали Ti, Hf, Zr ларнинг барий атомлари оқимидаги термоэлектрон эмиссиясини қиёсий ўрганиш ҳамда уларнинг эмиссион хоссаларини W-O-Ba ёки Nb-O-Ba системаларнинг хоссалари билан таққослаб, антиэмиссион материалга қўйиладиган талабларга жавоб берувчи металларни аниқлаш;

антиэмиссион металл пардаларининг тоза, оксидланган ғовак, вольфрамнинг поликристалл ва монокристалли (110) юзаларида барий

атомлари оқимидаги термоэлектрон эмиссияси ва унинг антиэмиссион қоплама сифатида қўлланишининг физик аспектларини ўрганиш;

Zr ва Hf юпқа пардаларининг поликристалл ва монокристалл W (110) юзаларидаги термостабиллигини термоэмиссион ва Оже-электрон спектроскопия (ОЭС) усулларида ўрганиш. Уларнинг термостабил бўлиш шарт-шароитларини ҳамда уларни термокатодлар учун антиэмиссион материал сифатида қўллаш имкониятларини аниқлаш;

Zr ва Hf атомлари пардаларининг W (110)-Ba ва W (110)-O-Ba системаларида антиэмиссион парда сифатида шаклланиш жараёнини ўрганиш ва унинг антиэмиссион парда сифатида шаклланишининг физик механизмларини аниқлаш;

антиэмиссион пардаларнинг металл-ғовак термокатод юзасида стабил ишлашининг физик ва технологик аспектларини аниқлаш ҳамда амалий ва технологик тавсиялар бериш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида Zr, Ti, Hf, Nb, W поликристаллари, W(110) монокристалл ҳамда металл-ғовак термокатоднинг асоси вольфрам-ғовак таблеткалар шаклидаги намуналардан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг предмети металлар, ғовак-металлар ҳамда улар сиртидаги юпқа пардаларнинг эмиссион ва адсорбцион хусусиятлари ва юпқа – нано қалинликдаги антиэмиссион пардалар шаклланишининг физик механизмларидан иборат.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқотда термоэлектрон эмиссиянинг тўла ток усули, контакт потенциаллар фарқи, ОЭС, масс-спектрометр, оксидлаш, адсорбция ва десорбция, электрон микроскопия каби тадқиқот усуллари қўлланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

оксидланган Ti, Zr, Hf ларнинг Ba атомлари оқимидаги термоэлектрон эмиссияси асосида антиэмиссион материалларига қўйилган талабларга Zr ва Hf лар жавоб бериши аниқланган;

Zr, Hf ҳамда Ti юзаларида Ba атомларининг адсорбцияси асосида Hf-Ba тизими учун чиқиш ишини Ba концентрациясига боғлиқлигини эксперимental ва назарий ифодалари аниқланган;

Zr пардаларининг антиэмиссион қоплама сифатида металл-ғовак термокатодлари учун қўллаш мумкинлиги ҳамда Hf, Zr атомларининг W(110) юзасидан буғланиш тезлигининг ҳароратга боғлиқлиги аниқланган;

Zr атомлари пардаларининг W(110)-Ba ва W(110)-O-Ba тизимида антиэмиссион парда сифатида шаклланиш жараёнида пардаларнинг қалинлиги 4-5 моноқатламлар бўлгандагина кислороднинг Ba адсорбциясига таъсири бўлмаслиги аниқланган;

Ba-компоненталарнинг Mo юзаси бўйлаб миграция узунлигини ҳароратга ва кислород босимига боғлиқлик қонунияти эксперимental аниқланган;

металл-ғовак катод асоси – W-губканинг юза ҳусусиятлари юқори ҳароратларда (≤2000 К) давомий қиздириш унинг юзасидаги ғоваклар

беркилишига, бу эса металл-ғовак катодларнинг ишдан чиқишига олиб келиши аниқланган;

илк бор CsCl шимдирилган металл-ғовак тизимининг термоэлектрон эмиссиясини кузатилган ва уни 1100 К кичик ҳароратларда термокатод сифатида қўллаш мумкинлиги аниқланган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

эксперимент натижаларига кўра оксидли ва металл-ғовак термокатодлар учун Zr ва Hf пардаларини антиэмиссион қоплама сифатида қўллаш мумкинлиги аниқланган. Пардаларнинг қалинлиги 5 ва ундан ортиқ моноқатлам бўлгандагина антиэмиссион хоссага эга бўлиши кўрсатилган;

металл-ғовак термокатодлар юзасининг нотекислиги механик ва кимёвий ишлов берилганда 3-5 мкм, ион дастасида емирилганда 2-3 мкм эканлигини ҳисобга олган ҳолда антиэмиссион қопламаларнинг қалинлиги танланиши кераклиги таъкидланди. Қалинлиги ~1,5 мкм бўлган антиэмиссион қопламанинг эмиссион ва термостабиллиги ўрганилиб, уларни замонавий барча, шу жумладан, металл-ғовак термокатодларда қўллаш мумкинлиги кўрсатилган;

илк бор CsCl шимдирилган металл-ғовак система ўрганилиб, уни T<1100 К температураларда Cs атомлари манбаи ҳамда термокатод сифатида қўллаш мумкинлиги кўрсатилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги замонавий ўлчаш усуллари комплекси ва натижаларини қайта ишлашда бир-бирига боғлиқ бўлган тажриба ҳамда олинган эксперимент натижаларининг бошқа муаллифларнинг илмий хулосаларига мос келиши, шунингдек, олинган материалларнинг микроскопда кўрилганлиги ҳамда амалда синаб кўрилганлиги билан изоҳланган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти ишда цирконий ва гафний атомларининг юпқа пардаларининг термокатодлар учун антиэмиссион қоплама сифатида қўллаш мумкинлигининг физик ва техник аспектлари аниқлангани, уларнинг термостабил ишлаш шарт-шароитлари, уларда барий ва кислород-барийларнинг кучсиз адсорбцияси илмий асосланган билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти сифатида шуни таъкидлаш лозимки, антиэмиссион материалларни модификацияланган кўп нурли электрон параметрик кучайтиргичларда, ўзгармас токни ўзгарувчан токка айлатириб берувчи цезийли ва барийли ўзгартиргич тўрларида қўллаш юқори техник ва параметрик самара беришга хизмат қилади. Шунингдек, ЛБВ, ЛОВ, клистронларда (анод) қопламаларида Zr ёки Hf антиэмиссион пардаларининг қўлланилиши уларнинг фойдали иш коэффицентини оширишга олиб келган.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Антиэмиссион материалларни аниқлаш, уларнинг стабил ишлаш физикавий шарт-шароитларини аниқлаш тадқиқоти асосида:

қийин эрийдиган металларнинг (W, Nb, Hf, Zr ва Ti) юзасини кислород атмосферасида эффектив тозалаш технологиясининг самарали бўлиши ҳамда юпқа металл пардаларнинг структураси ва термобарқарорлиги «FOTON» акциядорлик жамиятида материаллар юзасини тозалашда, шунингдек кўп қатламли плёнкалар хосил қилишда қўлланилган («ЎЗЭЛТЕХСАНОАТ» акциядорлик компаниясининг 2018 йилдаги 19 сентябрдаги 02-2017-сон маълумотномаси). Илмий натижалардан фойдаланиш кўп қатламли плёнкалар системасининг структураси ва термобарқарорлигини назорат қилиш имконини берган;

қийин эрийдиган металлар юзасини нисбатан қисқа муддатда қислород атмосферасида оксидлаб тозалаш самарали усули, юпқа пардаларнинг структурасини шаклланиши ва термик барқарорлиги ва CsCl шимдирилган Cs манбаларини бир вақтда термокатод сифатида қўллаш усуллари Ф2-ФА-Ф161 рақамли «Эркин юпқа пленкалар (Al, Cu, Ag, ва Cu-Si) ва массив кристаллар (W, WOn, TiN, CdTe ва SiO_2) юзасида ион имплантацияси усули билан ҳосил қилинган наноўлчамли гетероструктураларнинг шаклланиш механизмлари ва уларнинг физик-кимёвий хоссаларини ўрганиш» ва ОТ-Ф3-13 рақамли «Кремний–силицид–металл эркин кўпқатламли наноплёнкали структураларнинг шаклланиш механизмлари ва уларнинг электрон ва кристалл структураларини ўрганиш» мавзусидаги илмий лойиҳаларда юза сифатини яхшилашдв қўлланилган (Ўзбекистон Республикаси Фанлар академиясининг 2018 йил 6 августдаги 2/1255-2070-сон маълумотномаси). Илмий натижалардан фойдаланиш тизимларнинг сифатини яхшилаш, пардалар структураси ва юпқа пардаларнинг мукаммаллик даражасини назорат қилиш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари 2 та халқаро ва 3 та республика илмий анжуманида муҳокамадан ўтган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 16 та илмий иш чоп этилган, шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик (PhD) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган нашрларда 8 та мақола нашр этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, 3 та боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан иборат. Диссертациянинг ҳажми 120 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объекти ва предметлари тавсифланган, республика ва фан технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий ахамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий

қилиниши, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **«Мавзу бўйича чоп этилган адабиётлар таҳлили»** деб номланган биринчи бобида қийин эрувчи металларнинг эмиссион ва адсорбцион хусусиятлари бўйича олиб борилган назарий ва амалий ишлар таҳлил қилинган. Шунингдек, физадсорбция ва хемадсорбция жараёнлари таҳлил қилиниб, улар рўй беришини илмий шарт-шароитлари таҳлилий ёритилган.

Қийин эрувчи металлар сиртида ишқорий-ер металлар атомларининг адсорбцияси бўйича экспериментал ишлар натижалари таҳлил қилинган. Унда адсорбция жараёнида системанинг чиқиш иши сиртнинг қопланиш ва тозалик даражасига, сирт структурасига боғлиқлик аспектлари таҳлилий ёритилган.

Шунингдек, кислороднинг металл билан ўзаро таъсири бўйича чоп қилинган илмий ишлар ва адабиётлар таҳлил қилинган. Унда металл-кислород (Me-O) системасининг термостабил ва вакуумда ҳамда юқори температуралар (катодларнинг ишчи температуралар)да ҳосил бўлувчи турлари аниқланган.

Металл-кислород-барий (Me-O-Ba) системаларининг эмиссион хоссалари бўйича чоп қилинган эксперимental ва назарий илмий ишлар таҳлил қилинган. Унда системанинг чиқиш иши оксидланиш даражаси ва маромига ҳамда таглик-асос металл структурасига боғлиқлиги аниқланган. Унда таглик металл ҳажмий марказлашган куб (ХМК-ОЦК) панжарада кислород атомлари Me-Ba системасининг чиқиш ишини 1,20-1,25 эВ гача камайтириши кўрсатилган. Гексагонал зич жойлашган (ГЗЖ-ГПУ) панжарали таглик-металда кислород атомлари Me-Ba системасининг чиқиш ишига кучсиз таъсири асосланган. Шу асосда ГЗЖ панжарали металлар: Ti, Zr, Hf ларни антиэмиссион материал сифатида қўллаш ғояси илгари сурилди.

Антиэмиссион материаллар пардаларининг термостабиллиги термокатод юзасида кўп сонли стабил электрон оқимларини олиш ёки керакли конфигурацияли стабил электрон дастасини ҳосил қилишда асосий роль ўйнайди.

Қалин пардаларда микроўлчамли аниқ геометрияли «тирқиш» – «кўзлар» ҳосил қилиш муаммо эканлигини ҳисобга олган ҳолда, технологик осонроқ ва нисбатан арзон металл-цирконийнинг кичик-наноқатламли пардаларини антиэмиссион материал сифатида тадқиқ қилиш, унинг термостабил ишлаш шарт-шароитларини аниқлаш мазкур ишнинг асосий мақсади қилиб белгиланган.

Диссертациянинг **«Эксперимент методикаси»** деб номланган иккинчи бобида қаттиқ жисмлар сиртининг эмиссион ва адсорбцион хоссаларини тадқиқ қилиш экспериментал қурилмасининг тузилиши, имкониятлари баён қилинган. Бутунлай зангламайдиган ва магнитланмайдиган пўлатдан ясалган қурилмада цеолит, магниторазряд ва СОН насослари қурилмада $1 \cdot 10^{-9}$ Тордан кичик босим ҳосил қилишга имкон беради.

Қурилма 2 тадан 4 тагача намунани бир йўла юқори вакуумда ва юқори ($T \leq 2100\ K$) температураларда тадқиқ қилиб, уларнинг термоэлектрон эмиссия ва адсорбция хоссаларини ўрганишга имкон беради. Қурилма контакт потенциаллар фарқи (КПФ-КРП) ва тўла ток усулида, Оже-спектрометрия ва масс-спектрометрия методлари билан тадқиқ қилишга имкон беради. Масс-спектрометр МХ-7304 анализатор намунага 6-10 мм масофада ўрнатилган. Шунингдек, намуна температураси ВР5/20 терможуфтлиги ёрдамида ўлчаниб, микропирометр ёрдамида назорат қилинди. Қурилма берилган температурада ва кислород босимида намуналарни оксидлашга имкон беради. Шу жумладан, Ва-Ti – таблеткалари барий манбалари бўлиб хизмат қилди, унинг температураси ҳам терможуфтлар ёрдамида ўлчанди.

Шунингдек, Оже-спектрометрнинг тузилиши, унинг параметрлари ҳамда имкониятлари баён қилинган. Юзадаги атомлар концентрацияси Чанг усулида 0,01 моноқатлам даражасида аниқланди. Қаттиқ жисм намуналари юзаси вакуумда термик қиздириш ҳамда қисқа вақтли оксидлаш, сўнгра термик қиздириш орқали тозаланди ва юза таркиби ОЭС ёрдамида назорат қилинди. Коллектор системаси Фарадей цилиндри бўлиб, унинг ичига вольфрам симли катод ўрнатилган. У электрон пушка сифатида КПФ усулида чиқиш ишини ўлчашга имкон беради.

Эксперимент намуналари тажрибада ишлатилган намуналар Россия Металургия институтида тайёрланган бўлиб, унинг юзаси стандарт технология асосида силлиқланиб, кимёвий ёки ионли емириш орқали сайқалланган.

Тадқиқот қилишга мўлжалланган металлар: Ti, Zr ва Hf ҳамда уларнинг хусусиятлари таққослаш учун қўлланилган поликристалл W ва ниобий, W(110) лар оксидларининг термостабиллиги адабиётлардан таҳлилий ўрганилиб, улардан энг термостабил оксид ҳосил қиладиган металлар Ti, Zr ва Hf эканлиги аниқланди. Бу металлар термостабиллиги юқори бўлган ҳажмий субоксидлар Me_3O ва Me_6O ҳосил қилиши аниқланди. Кислород атомининг ГЗЖ панжара ичига жойлашиши оксиднинг термостабиллигини таъминлаши билан биргаликда унинг барий атомларининг адсорбциясига кучсиз таъсири бўлиши мумкинлиги аён бўлди. Шунинг учун ҳам бу металлардан термокатодлар юзасида антиэмиссион пардалар олиш имконияти пайдо бўлди.

Диссертациянинг «**Гафний ёки цирконий атомлари ва пардаларининг Me-Ba ва Me-O-Ba системасининг эмиссион хоссаларига таъсири»** деб номланган учинчи боби гафний ёки цирконийнинг наноқалинликдаги пардаларини антиэмиссион материал сифатида қўллаш имкониятини аниқлашга бағишланган.

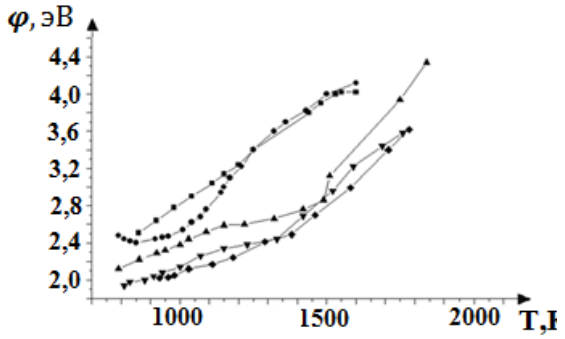
Барий атомлари оқимида оксидланган гафний, цирконий, титан ва ниобийнинг термоэмиссион хоссалари баён қилинган. Таққослаш учун яна ниобий поликристали намуналари ҳам текширилди, чунки унинг чиқиш иши Hf, Zr ва Ti нинг чиқиш ишларига яқин, бироқ кристалл панжара структураси

бошқача, ҲМК (ОЦК). Бу структуралар барий атомлари адсорбцияси механизмидаги ролини ва кислороднинг металл-кислород-барий (Me-O-Ba) тизимини ҳосил бўлишидаги ролини аниқлашга имкон беради.

Система газсизлантирилгандан кейин намуналарни вакуумда $(1\text{-}5)\cdot10^{-9}$ Тор юқори температурали қиздиришлар билан сиртнинг тозалик даражаси ОЭС усулида назорат қилиб борилди. Сиртдан кислород, углерод ва бошқа киришмалар Оже-чўққисининг йўқолишига эришилгач, тўла ток усули билан намунанинг чиқиш иши аниқланди. Гафний чиқиш ишининг аниқланган қийматлари 3,95±0,05 эВ, цирконийники 3,85±0,05 эВ, титанники 4,05±0,05 эВ ва ниобийники 4,0±0,05 эВ ни, ташкил этди. Ушбу маълумотлар бошқа адабиётлар маълумотлари билан мос тушади.

Шундан кейин намуна температуралари 1000, 1100, 1200 К бўлганида Zr, Hf, Ti ва Nb сиртларида барий атомлари адсорбциялари эгри чизиқлари олинди. Тизим чиқиш ишининг минимал қиймати аниқланиб, у Т=1000 К да Ti-Ba тизими учун $\varphi_{мин}$=2,35±0,5 эВ ни, Hf-Ba учун $\varphi_{мин}$=2,38±0,5 эВ ни, Zr-Ba учун $\varphi_{мин}$=2,36±0,5 эВ ни, Nb-Ba учун эса $\varphi_{мин}$=2,35±0,5 эВ ни ташкил этди. Ушбу маълумотлар адабиётлардаги маълумотлар билан яхши мос келади. Тагликнинг чиқиш иши бир-биридан кам фарқ қилгани ва 3,85-4,05 эВ интервалида ётганлигидан, Me-Ba тизими чиқиш ишининг минимал қийматини унча катта бўлмаган фарқини Ленгмюр модели билан тушунтириш мумкин. Бироқ шуни қайд қилиш керакки, ушбу қийматлар ҳам таглик структурасига боғлиқ ҳолда кучсиз фарқланади, чунки Nb ҲМК (ОЦК) стру

ктурага эга бўлганида Zr, Hf, Ti лар ГЗЖ (ГПУ) структурага эгадир. Оксидланиш босими $(1\text{-}5)\cdot10^{-6}$ Тор бўлган кислород атмосферасида ва намуна температураси Т=1000 К бўлганида 30 мин. давомида ўтказилди. Эмиссион хоссаларни таққослаш учун барий атомлари оқимида ушбу оксидланган металлар Ti, Zr, Hf, Nb ва W учун S-симон эгри чизиқлари олинди. Ушбу боғлиқликлардан Me-O-Ba тизим чиқиш ишининг температурага боғлиқлиги графиклари келтирилган (1-расм). Ушбу маълумотларни таққослаб қилинган таҳлиллар оксидланган цирконий ва гафний сиртларида барий атомларининг нисбатан кучсиз адсорбциялари ҳақида хулосани тасдиқлаш имконини берди. Металл-ғовак катодлар чиқиш ишининг температуравий мароми (режими)да Hf-O-Ba ва Zr-O-Ba тизимларининг чиқиш ишлари қийматлари 3,10-3,20 эВ ни ташкил этиб, бу ушбу термокатодлар чиқиш ишига қараганда ~1эВ га юқоридир. Бу



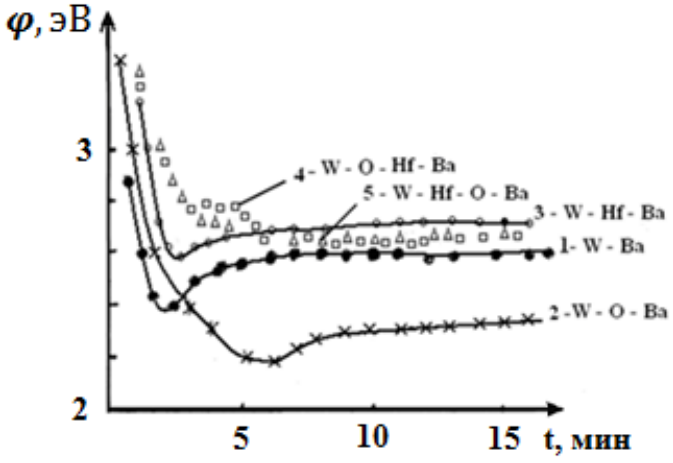
1-расм. Барий атомлари оқимида Т=1000 К да оксидланган Hf (■ ■ ■), Zr (● ● ●), Ti (▲▲▲), W (▼▼▼) ва Nb (◆◆◆) лар чиқиш ишининг температурага боғлиқлиги.

гафний ёки цирконийли антиэмиссион қопламали эмиссия токи зичлиги қопланмаган сирти катод эмиссияси зичлигига қараганида ~10^4 марта кам эканлигини билдириб, бу антиэмиссион материалларга қўйилган талабларга тўлиқ жавоб беради.

Оксидланиш гафний ва цирконийда барий атомларининг ниобий ва вольфрамга қараганда нисбатан кучсиз адсорбциясини, барий атомлари оқимида цирконий ва гафнийнинг эмиссион ва адсорбцион хоссаларига кислороднинг таъсирини классик тасаввурлар билан тушунтириб бўлмайди. Бироқ, экспериментлар натижаларининг кўрсатишича, Me-O-Ba тизимининг термоэмиссион эффективлиги кучли фарқланади ва у таглик – металлнинг кристалл панжараси структурасига боғлиқ.

Кристалл панжараси ГЗЖ бўлган Hf, Zr, Ti туридаги металлар оксидланишида Me_3O ва Me_6O турдаги ГЗЖ панжарада ҳажмий субоксидлар ҳосил бўлади.

ГЗЖ панжара ҳажмидаги кислород атомлари анча мустаҳкам кимёвий боғ ҳосил қилади, натижада Me_6O ва Me_3O туридаги субоксидлар ҳосил бўлади. Бунда кислород атомлари Zr ва Hf панжара ҳажмида бўлганидан атомларнинг адсорбентлар билан ўзаро таъсир кучини унчалик сезиларли оширмайди. Бунда Me-Ba диполь моменти қиймати ҳам, ГЗЖ кристалл панжарали металлар сиртидаги адсорбцияланган атомларнинг адсорбция иссиқликлари ҳам унчалик сезиларли ўзгармайди. ҲМК-панжарали ниобий ва вольфрамнинг оксидланишида уч ўлчамли – «ҳажмий» субоксидлар ҳосил бўлмайди ва кислород атомлари металл сиртида бўлади, Me-O-Ba тизимида диполь моментини анча ошириши мумкин ва, албатта, бу унинг чиқиш ишини камайтиради. Юқорида баён этилган концепция К.А.Турсунметов ва Э.З. Имомов ишлаб чиққан Me-O-Ba эмиссион тизим моделида ўз аксини топган. W-Ba, W-O-Ba системаларида антиэмиссион материал сифатида гафнийни қўллаш имконини аниқлаш мақсадида барий атоми оқимида тоза ва оксидланган W(110)-Hf тизимнинг термоэмиссион хоссалари текширилди.



2-расм. Барий атомлари оқимида W (110) нинг чиқиш ишининг ўзгариши.

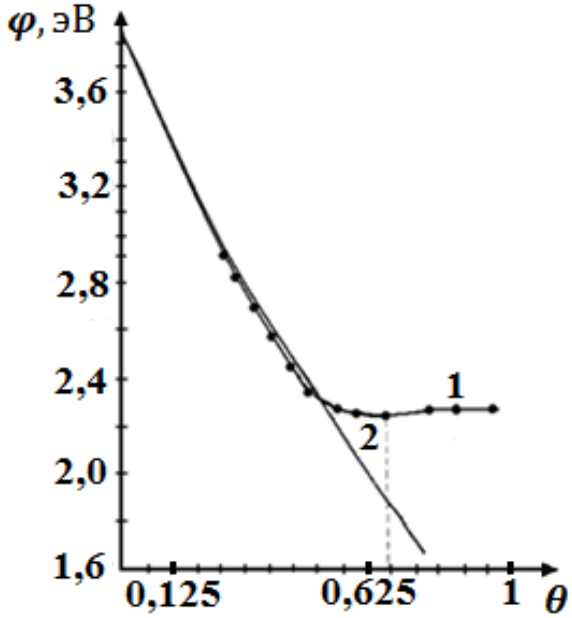
2- расмда тоза (1-эгри чизиқ), 1000 К да оксидланган (2-эгри чизиқ), гафний монoқатлами билан қопланган (3-эгри чизиқ), олдиндан оксидланган W(110) ва гафний атомлари монoқатлами билан қопланган (4-эгри чизиқ) ҳамда гафний атомлари монoқатлами билан олдиндан қопланган ва T=1000 К да оксидланган (5-эгри чизиқ) W(110)нинг барий атомлари оқимидаги чиқиш ишининг вақтга боғлиқлиги келтирилган.

Натижалардан кўриниб турибдики, гафний атомларининг мавжудлиги W-Ba тизими чиқиш ишини ~0,20эВ га, W-O-Ba тизими чиқиш ишини эса ~0,40 эВ га оширар экан.

Вольфрам сиртида гафний атомларининг мавжудлиги барий атомлари адсорбциясини сусайтиради ва яна W-O-Ba тизимида кислороднинг ролини ҳам сусайтиради. Гафний атомларининг нисбатан кислород фаоллиги, W-O-Ba тизимининг чиқиш ишини пасайтирувчи иккиталик қутбланган қатлам ҳосил бўлиш жараёнига сезиларли таъсир этар экан. Бу асос эса гафний пардаларини антиэмиссион материал сифатида тавсия этишга имкон беради. Шунинг учун К.А.Турсунметов томонидан гафний атомлари пардали ғовак-вольфрам катод (FMK) текширилган. FMK сиртида ионли пуркаш усули билан ~ 20 мкм қалинликдаги гафний атомлари пардаси ҳосил қилинган. Шундан сўнг ион нурли технология билан гафний пардасининг айрим соҳалари катод юзасидан олиб ташланган.

Гафний пардаси билан қопланган соҳаларида эмиссион ток зичлиги гафний билан қопланмаган катод соҳасидагига қараганда 2000–2500 марта кичик бўлган, аммо бундай қалин парда билан қоплаш узоқ муддатли жараённи талаб қилади. Шунингдек, қалин (10 мкм ≤) пардада конфигурация чегараларини аниқ геометрик шаклга келтириш муаммо бўлиб қолди. Шу жумладан, микроўлчамдаги электрон дасталарини олиш, уларнинг бирлик юзадан олинадиган сонини ошириш имкониятлари чегараланган. Шу сабабли, наноқатламли антиэмиссион пардаларни олиш ва унинг физик принципларини ишлаб чиқиш талаб қилинди.

3-расмда гафний-барий системаси чиқиш иши юзанинг қопланиш даражаси (θ)га боғлиқлигини назарий ҳисобланган ва 1000 К да экспериментал олинган графиклари келтирилган. Расмдан кўриниб турибдики, тизим чиқиш ишининг боғлиқлиги қопланиш даражаси $\theta \approx 0{,}5$ гача чизиқли бўлиб, минимумга $\theta \approx 0.67$ да эришади ва $2{,}26 \pm 0{,}037$ эВ ни ташкил этади. Hf-Ba тизими чиқиш иши $\varphi = \varphi(\theta)$ нинг ўзгаришини чизиқли қисми $\Delta\varphi = 4\pi np$ формула бўйича аниқланди.



3-расм. Hf-Ba системаси чиқиш ишининг қопланиш даражаси (θ) боғланиши:
1-экспериментал,
2-назарий боғланиш.

Бу ерда n – адсорбцияланган атомлар концентрацияси, p-Hf-Ba тизимининг диполь моменти.

Тизим чиқиш ишининг қиймати $\varphi = \varphi_{\text{м}} - V_s(\theta)$ кўринишда ифода этилган, бу ерда $\varphi_{\text{м}}$ – металларнинг чиқиш иши, $V_s(\theta)$ сирт потенциали камайишини кўрсатувчи ва фақат қопланиш даражасининг функцияси бўлган потенциалдир. Ушбу услубдан фойдаланган ҳолда, Hf-Ba тизими чиқиш ишининг θ га боғланишини ҳисоблаш методикаси келтирилди. Бунинг учун поликристалл гафний сиртида барийнинг адсорбцияланган атомлари модели кўриб чиқилди. Бу кўрилган сирт структураси ГЗЖ панжарали монокристалнинг (1000) қирраси структурасига мос келади. Ba нинг Hf сиртидаги Оже-спектрида энергия бўйича силжиш баҳолашларига биноан, W-Ba тизимида Ba атомларида W га заряд кўчиши $\approx 1{,}1e$ ни ташкил этади, Hf-Ba тизими учун эса бу қиймат 0,96 e га тенг, яъни барий атомлари зарядини тахминан 1 e га тенг деб ҳисоблаш мумкин.

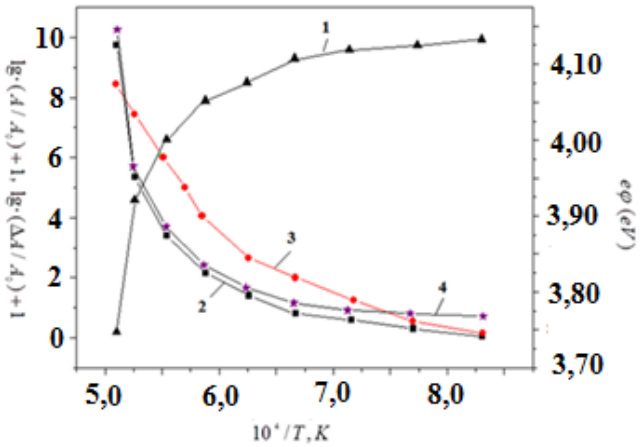
Катта масофаларда – 4 та қўшни атомлар масофасидан катта масофаларда ионлар жойлашувининг дискрет характери деярли қийматга эга эмас. Шунинг учун марказий иондан тўртинчи тартибли қўшнигача масофа, яъни марказий ион ва унинг 30 та яқин қўшниси жойлашган ячейка радиуслари аниқланди. Сирт потенциали камайишини, демак, тизимнинг электрон чиқиш ишини камайишини кўрсатувчи Гельмгольц муносабати ҳисобланади $V_S = 0{,}75V_C\theta^{1/2}$. Тадқиқотда $V_C \approx 3{,}25\ eV.$ ифодасига асосланилди. Агар атомлар оқимида қопланиш даражасига боғлиқ бўлган гафний чиқиш ишининг камайишини кўрсатувчи тенглама тузилса: $\varphi = \varphi_M - 0{,}75V_C\theta^{1/2}$ ва графиги чизилса (3-расм), у ҳолда гафний сиртининг барий атомлари билан тўлдирилиш даражаси $\theta \leq 0{,}5$ гача бу боғлиқлик экспериментал маълумотлар билан яхши мос келади, бироқ зичроқ қопланишлар ($\theta \geq 0{,}5$)да диполь тизимлар ўзаро таъсири ҳам ошади, бу эса диполларнинг декутбланишларига олиб келади ва албатта, сирт потенциали камаяди, демак, тизим электрон чиқиш иши минимумининг ўзгаришига олиб келади.

Диполларнинг ўзаро таъсирлашув энергиясининг ўзгариши $\approx 0{,}29$ эВ ни ташкил этишини ҳамда адатомлар (ионлар) электростатик ўзаро таъсирининг фридел ташкил этувчиси ишқорий-ер адатомлари учун ўзаро таъсир энергияси 0,1 эВ ни ташкил этишини ҳисобга олсак, у ҳолда тизим чиқиш ишининг қопланиш даражасига боғлиқлигини ҳеч қандай қарама-қаршиликларсиз тушунтириш мумкинлиги кўрсатилди.

Цирконий пардаларининг W ва W-губка юзасидаги термостабиллиги ва цирконий ҳамда гафний атомларининг буғланиш тезлиги ўрганилди. Унда цирконий пардасининг термостабиллиги ОЭС усули билан ҳамда W(110) монокристали ва вольфрамли губка сиртларидаги эмиссион токнинг ўзгариши асосида ўрганилди.

$W(110) - Zr$ - тизимининг чиқиш ишини минимал қиймати $3{,}70 \pm 0{,}05$эВ ни ташкил этиб, унинг 1,5-2 цирконий моноқатлами учун қиймати $3{,}75 \pm 0{,}05$эВ ни ташкил этади. Вольфрам губка – цирконий тизими чиқиш ишининг минимал қиймати $3{,}65 \pm 0{,}05$эВ бўлиб, 1,5-2 цирконий моноқатламли тизими учун эса $3{,}70 \pm 0{,}05$эВ ни ташкил этди. Т≤1300 К да

олдиндан тозаланган вольфрам монокристаллига қалинлиги ≈1,5 моноқатлам бўлгунча цирконий атомлари адсорбция эгри чизиғи олиб турилиб пуркалди, тизим чиқиш ишининг ўзгариши тўла ток усули ва КПФ усули билан ўлчанди. Шундан кейин, 1100К-2000К температураларда, ҳар бир температура қийматида 10 минут давомида вакуумда тизим қиздириб борилди ва ҳар 100 К оралиғида эмиссия токи ва сирт элементларининг Оже-чўққиси интенсивликлари ўлчаб турилди. 4-расмда цирконийнинг 1,5 моноқатлами билан қопланган вольфрамли губка сиртида цирконий Оже-чўққиларининг нисбий камайишини температурага боғлиқлиги келтирилган. W(110) сиртида цирконий Оже-чўққининг нисбий ўзгариши $(\lg A/A_0)$нинг температурага боғлиқлиги 1-эгри чизиқда тасвирланган. Ушбу маълумотлар асосида Оже-чўққининг нисбий камайиши $(\lg \Delta A/A_0)$нинг $10^4/T,K$ га боғлиқлик графиги чизилган. Бунда цирконий Оже-чўққиси интенсивлигининг нисбий камайиши вольфрам сиртидаги цирконий атомлари концентрациясининг камайишини характерлайди. Таққослаш учун 4-расм (3-эгри чизиқ)да цирконийнинг 1,5 моноқатлами билан қопланган вольфрам-губка сиртида цирконий Оже-чўққисининг нисбий камайишининг температурага боғлиқлиги келтирилган. Ушбу боғлиқликларнинг паст температурали қисми асосан цирконий атомларининг вольфрам сиртидаги миграцияси билан тушунтирилади, бунда цирконий атомининг икки ва уч ўлчамли оролчалари ҳосил бўлади. Бундай қонуният молибден-цирконий тизими учун В.А.Шредник томонидан кузатилган. Бундай қонуният бизнинг экспериментларимизда ҳам кузатилди, унда W (110) сиртида цирконий атомларининг миграция иссиқлиги ~0,15 эВ ни ташкил этди, бироқ паст температураларда вольфрам-губка сиртида цирконий Оже-чўққисининг интенсивроқ камайиши кузатилди, бу эса цирконий атомларининг губка ғовакларига миграцияси билан боғлиқ. Бундан пардали тизимлар сирт эмиссион хоссаларини, сиртдаги парда атомлари Оже-чўққиларининг интенсивлиги билан характерлаш мумкинлиги келиб чиқди.



4-расм. W(110) ва вольфрам губка сиртида цирконий Оже-чўққилари интенсивлигининг нисбий ўзгаришлари; 1– W(110) сиртидаги нисбий ўзгариши; 2– W(110) сиртидаги нисбий камайиши; 3–W губка сиртидаги нисбий камайиши; 4– W(110)-Zr тизим чиқиш ишининг ўзгариши.

Шундай қилиб, вольфрам сиртидаги цирконийнинг юпқа пардалари Т=1300 – 1350К гача термостабилдир, бироқ металл-ғовак катодлар сиртида

антиэмиссион қопламалар ишлаб чиқишда цирконий атомларининг вольфрамли губка ғовакларига миграцияси жараёнини ҳисобга олиш керак.

Гафний ва цирконий пардаларининг термостабиллигини ўрганиш жараёнида бу металлар атомларининг W(110) сиртидаги буғланиш тезликларини аниқлаш усули таклиф қилинди. Қопланиш даражаси $\theta < 1$ да цирконий қатламини ҳосил қилиб, n_1 цирконий концентрациясига мос келувчи $e\varphi$ - чиқиш иши аниқланди, сўнгра система танланган (1300÷2000) К температурада қиздирилди. Ундан кейин Δt вақт ичида система температура хона температурасигача туширилди ва цирконийнинг сиртий концентрацияси n_1 га мос келувчи чиқиш иши аниқланди. $\varphi(n)$ боғланиш графигида Δn цирконий концентрациясининг Δt вақт ичида ўзгаришини аниқлаб, қаралаётган қиздириш температураси учун цирконий атомларининг буғланиш тезликлари аниқланди.

Бу графиклардан маълум бўлдики, W(110) сиртидан буғланиш иссиқликлари гафний атомлари учун 6,80±0,05 эВ ни, цирконий атомлари учун 6,25±0,05 эВ ни ташкил қилди ва улар адабиётларда келтирилган катталиклар билан етарлича аниқликда мос тушди.

Шундай қилиб, сиртдан гафний ва цирконий атомларининг буғланиш тезликларини эмиссион усулда аниқлаш мумкин экан. Бу катталиклардан фойдаланган ҳолда мазкур металлар антиэмиссион юпқа пардалари билан қопланган кўп нурли ўта юқори частота(СВЧ)ли асбобларнинг иш режимини аниқлаш ҳамда системаларнинг ишлаш муддатларини баҳолаш мумкин экан.

Молибден сиртида барий компоненталарнинг миграцияси жараёни ўрганилди. Тадқиқотлар учун эмиссион тизим коаксиал цилиндрдан иборат бўлиб, унинг 6 мм ли диаметри марказида металл-ғовак катод жойлашган ва унинг атрофида молибдендан ясалган коаксиал цилиндр бўлиб, унинг сирти стандарт технология бўйича сайқалланган. Тизимнинг ташқи диаметри 20 мм ни ташкил этади. Тадқиқотлар юқори вакуумли эмиссион микроскопда олиб борилди. Электрон микроскоп тасвирни 2000 марта катталаштирди, бу эмиссион тасвирни 1 мкм катталикда ажратиш қобилияти билан кузатиш имконини берди.

Олинган миқдорий натижалар молибден юзаси бўйича Ва-компоненталари миграцияси жараёнининг эмиссион манзарасини кузатиш натижалари қуйидаги хулосаларни қилишга имкон берди:

температура ошиши билан миграция узунлигининг максимал қиймати ва интенсивлиги ошади. Бошқа томондан, бунда буғланиш жараёни кучайиб, унга мос ҳолда адатомларнинг яшаш вақти камаяди, шунинг учун Ва – компоненталари миграцияси узунлигининг температурага боғлиқлиги намуна температураси 1460–1480 К да максимумга эга;

кислород босимининг ошиши билан Ва-компоненталари миграция узунлигининг боғлиқлигидаги максимум юқори температурлар томонга силжийди;

кислород атомлари иштирокида Ва-компонентaлари миграцияси жараёнининг секинлашуви, молибдендаги Ва- компонентaлари адатомлари адсорбция иссиқликлигининг қийматини ошиши билан боғлиқ.

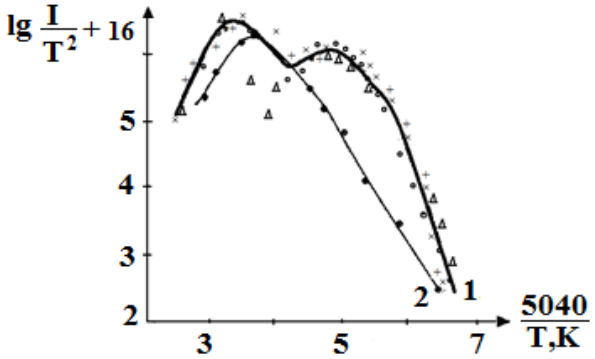
Цирконий пардасининг W-Ba ва W-O-Ba тизимлар эмиссион хоссаларига таъсири ўрганилди. Барий атомлари оқимида намунанинг эмиссион хоссалари T=1000–1200 K температураларда ўрганилиб, бу температуралар термокатодлар ишчи температураси интервалига мос келади. Тажрибалар қўрсатишича, цирконий атомлари 3- моноқатламидан бошлаб тизим чиқиш иши сезиларли ўзгаради ва цирконий атоми 5- моноқатламида, яъни W-5Zr-O-Ba тизимда W-O-Ba тизимининг чиқиш иши сезиларли, тахминан ≈0,15 эВ га ошади. Бу эса цирконийнинг учта моноқатламидан бошлаб унинг гексагонал структурасининг ҳосил бўлиши ҳақидаги тасаввурни исботлайди, яъни гафний ва цирконийнинг қалин пленкалари (~10-20мкм) антиэмиссион материаллар бўлиб, уларнинг гексагонал структурасида Me_3O ва Me_6O турларидаги ҳажмий субоксидлар ҳосил бўлади. Бунда тизим чиқиш ишининг анча камайишига жавобгар бўлган эмиссион тизимлар сиртида катта диполь моментига эга иккиталик қутбланган қатламнинг ҳосил бўлишида кислороднинг роли камаяди. Бизнинг ҳолда, цирконий атомлари моноқатламлари учдан кўп бўлганидагина гексагонол структура ва ҳажмий субоксидлар ҳосил бўлади, бунда уларнинг антиэмиссион хоссалари намоён бўлади, деб хулоса қилиш мумкин.

W-губкани юқори температурада қиздиришдаги эмиссион хоссалари ҳамда юза структурасининг ўзгариши тадқиқ қилинди. Вольфрам-губка ғоваклиги, уларда фаол моддаларнинг (барий компонентaлари) нисбатан катта миқдорининг эришига – сингишига имкон беради ва унинг самарали сирти поликристалл вольфрамникига қараганда анча каттадир. Бу вольфрам-губка сиртида юқори самарали эмиссион сирт ҳосил қилиш имконини беради.

Металл-ғовак катоднинг эскириши катоднинг эмиссион сиртидаги фаол модда-Ва-компонентaларининг камайиб кетишига боғлиқ бўлади. Бунда катод юзасининг нотекислиги ва ёйилиб кетганлиги вольфрам-губка сирти хоссасини ўзгартиришига эътибор берилмаган. Шунинг учун ушбу ишда вольфрам губка эмиссион сирти, уни вакуумда узоқ термик қиздиришда ўзгариши текширилди.

Юқори температурали қиздириш – тоблашлардан кейин вольфрам губкасининг тўла ток усули билан аниқланган чиқиш иши 3,99±0,05 эВ ни, контакт потенциаллар фарқи усули билан аниқланган чиқиш иши эса 4,50±0,04 эВ ни ташкил этди. Агар поликристалл вольфрамнинг ҳақиқий чиқиш иши биз аниқлаганимиздек 4,52 эВ ни ташкил этса, у ҳолда W-губканинг самарали эмиттерловчи сирти сиртнинг “ёйилиб” кетганлиги эвазига поликристалл вольфрам сиртининг чиқиш иши ғовак вольфрамнинг чиқиш ишидан 1,14-1,15 марта катта бўлади. Бу эса W-губкасидан нисбатан катта эмиссион ток олиш имконини беради. 5-расмда ўлчашларнинг турли

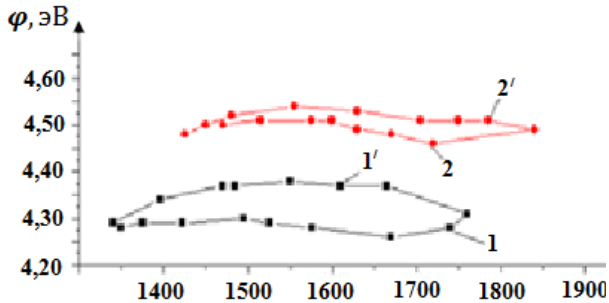
босқичларида W губка учун Ва атомлари оқимида S-симон эгри чизиқлар [$\lg(I/T^2) + C$ нинг (5040/T) га боғлиқлиги] келтирилган. Улардан кўриниб турибдики, S-симон эгри чизиқлар иккиталик қўнғироқсимон шаклга эга. Бундай боғлиқликдан эмиссиянинг камайишига "губка" ғовакларига барий атомларининг миграцияси ортиши билан боғлаш мумкин, шундан кейин температура ошиши билан барий атомлари қайтадан W-губка сиртига диффузияланади, бунда сиртдаги барий концентрациясининг ошиши, чиқиш ишининг камайиши ҳисобига эмиссион ток ошади. Бу қонуният температуравий боғлиқлиги келтирилган 5-расмда ҳам кўриниб турибди. Температура 1600 К дан юқори бўлганда барий атомлари W-губка сиртидан деярли тўлиқ буғланади ва тизимнинг чиқиш иши тоза поликристалл вольфрамнинг чиқиш ишига яқин бўлади. Кўп маротабалик оксидлаш ва термотоблашдан кейин W-губка ғоваклари пишиб қоладики, унинг барий атомлари оқимидаги эмиссион хоссалари барий атомлари оқимидаги поликристалл вольфрамникига аналогик бўлиб қолади. Бу W-губканинг барий атоми оқимидаги эмиссия токининг температуравий боғлиқлигидан аниқ кўриниб турибди.



5-расм. Т=1000 К (+++), 1100 К (ΔΔΔ), 1200 К (xxx), 1300 К (ooo) температураларда оксидлангандан кейинги ва (1)-дастлабки босқичда W губка учун Ва атомлари оқимидаги S-симон эгри чизиғи, (2) (•••)- узоқ муддатли термик қиздиришдан кейин.

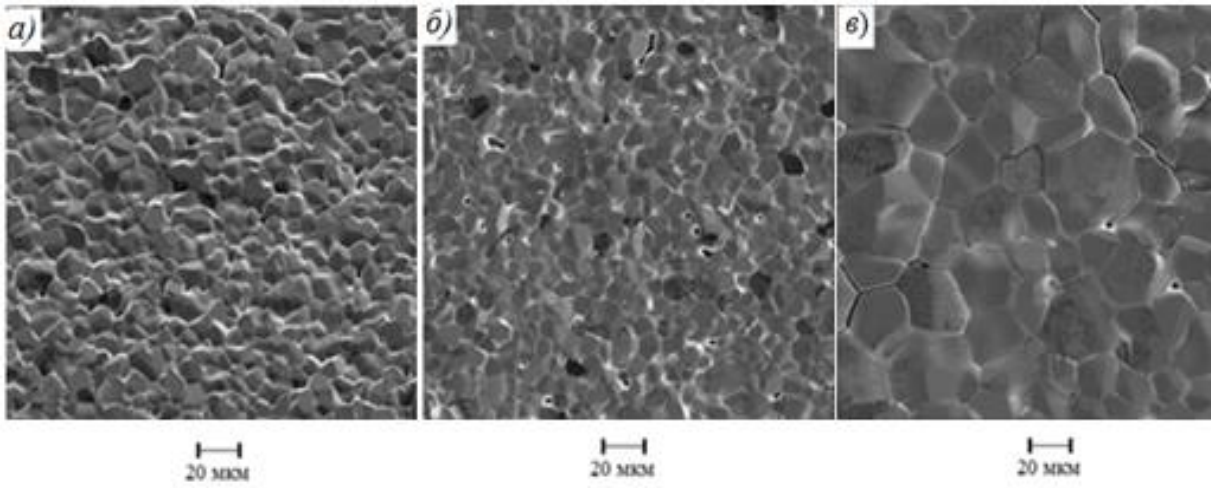
Вольфрам губкани қолдиқ газ босими $\leq 2 \cdot 10^{-8}$ Тор бўлганда 2100 К температурагача қиздириш билан оксидлаш ва термик қиздириш цикларидан кейин 1150 ÷ 1800 К температура интервалида чиқиш ишининг температурага боғлиқлиги олинди.

Эксперимент натижалари 6-расмда келтирилган (1 ва $1'$ эгри чизиқлар). Ҳар бир нуқтага мос келувчи термик қиздиришлар 10 минутдан олиб борилди. Расмдан кўриниб турибдики, термик қиздиришда эмиссион сирт ўзгаради, агар сирт таркиби биргина материал – вольфрамдан ташкил топганлиги ва унинг чиқиш иши доимий (4,52 эВ) эканлиги ҳисобга олинса, у ҳолда эмиссион токнинг ўзгариши сиртнинг самарали юзаси ўзгаришига асосланган дир. Бу вольфрам губкасини термик



6-расм. Вольфрам-губканинг термоишловнинг ҳар ҳил босқичидаги чиқиш ишининг температурага боғлиқлиги: 1 ва 2-температуранинг ошиши бўйича; $1'$ ва $2'$ температуранинг пасайиши бўйича.

қиздиришда эмиссион сирт, унга мос ҳолда сирт эмиссияси токи камайиши ва вольфрам губка сиртий ғоваклигининг пишишига боғлиқ бўлган самарали эмиссион сиртнинг камайишини билдиради. Бу, айниқса, вольфрам губкасининг узоқ муддат (t≥60 соат) T≤2000 K да термик қиздиришдан кейинги чиқиш ишининг температурага боғланишлари келтирилган графикларида (6-расм, 2 ва $2^{/}$ эгри чизиқлари) яққол намоён этилган. Бунда агар вольфрамнинг чиқиш иши доимий ва 4,52 эВ га тенг дейилса, у ҳолда вольфрам губканинг эмиссион сирти 280 мартага камаяди (1 ва $1^{/}$ эгри чизиқларга нисбатан), электроннинг чиқиш иши ≈4,0 эВ бўлган бошланғич ҳолатга нисбатан эса тахминан 38 мартага камаяди. Шундай қилиб, вольфрам губкани юқори температурали қиздиришлар (T>1600Кда) губка ғовакларининг пишишига асосланган эмиссион сиртининг камайишига олиб келади. Шунинг учун бу металл-ғовакли катодларнинг эскириши губкани фаол модда – Ва-компонента билан тўлдиришигагина боғлиқ бўлмай, балки вольфрам-губка ғовакларининг пишиб қолишига ҳам боғлиқдир дейиш



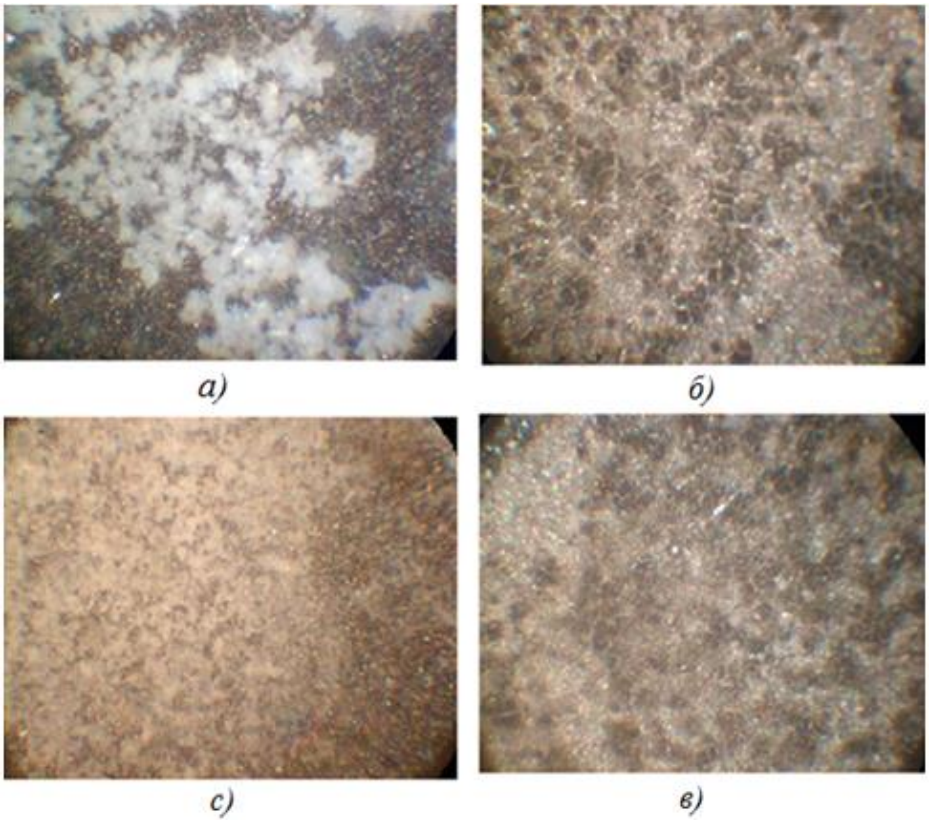
7-расм. W-губка юзасининг дастлабки (*а*), кимёвий ишловдан кейинги (*б*) ва юқори температурада қиздиришлардан сўнгги (*в*) кўринишлари.

имконини беради. Шу муносабат билан вольфрам губкаларнинг эмиссион ва адсорбцион хоссаларини текширишда уларни 1450–1500 К температуралардан юқори температураларда қиздириш керак эмас, деган тавсия келиб чиқди.

Вольфрам губкаларнинг юза морфологиясининг ўзгариши электрон микроскопда ($K=250^{x}$) ўрганилди. 7а-расмда дастлабки ҳолат кўрсатилган. Ундан кўриниб турибдики, губка юзаси жуда нотекис. Шунинг учун юзасига механик ҳамда кимёвий ишлов берилди. Бизнинг тажрибалардан маълум бўлдики, механик ишловдан сўнг, яъни силлиқлашдан сўнг юза морфологияси кескин бузилиб кетади. Шунинг учун губка юзасига NaOH нинг кучсиз эритмасида кимёвий ишлов берилди ва унинг юзаси сезиларли даражада силлиқ бўлди (7 *б*-расм). Қатор вакуумдаги термоишлов ва тадқиқотлардан кейинги, яъни юқорида эмиссион ва адсорбцион хоссалари тадқиқотидан сўнг ҳамда электрополировкадан кейинги юзаси 7 *в*-расмда келтирилган. Ундан юзадаги ғовакларнинг беркилиб, пишиб қолиши аниқ

кўриниб турибди, бу эса юзанинг барий-компонеталари билан барча механизмлари асосида таъминланишини кескин ёмонлаштиради ҳамда металл-ғовак катоднинг ишлаш даври «қариши» – ишдан чиқишига олиб келади.

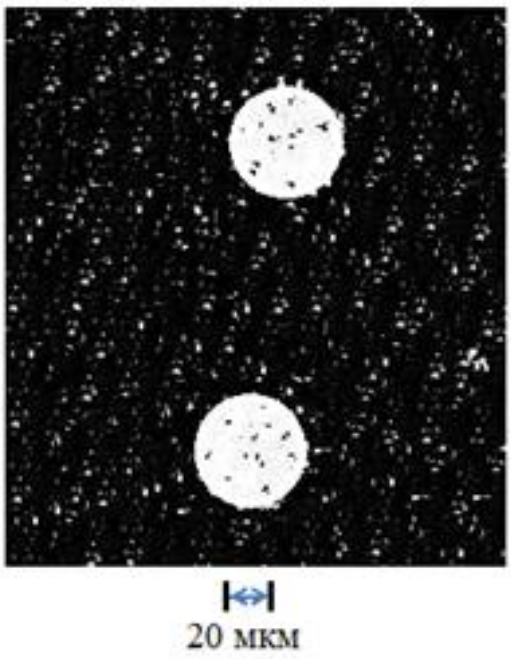
Металл-ғовак катодни 1500 К температурадан паст температураларда қиздириш, фаоллаштириш температурасини T≤1400 К дан, ишчи температурасини T≤1300 К дан паст температураларда амалга оширилса, у ҳолда катод юзаси бир жинсли эмиссион системага айланади. Вольфрам губкали металл-ғовак катоднинг эмиссион микроскопдаги тасвирлари фаоллаштиришнинг ҳар хил босқичлари учун 8(*а, б, в, с*)-расмда келтирилган. Унинг эмиссион манзаралари юқори вакуумли микроскопда олинган бўлиб, унинг эмиссион юзасини шаклланиши аниқ тавсифланган ва батафсил ифодаланган.



8-расм. Металл-ғовак пресланган катодни фаоллаштиришнинг ҳар хил босқичларидаги юзасининг эмиссион микроскопдаги тасвири.

Катод юзаси аргон ионлари (энергияси~ 10 кэВ) билан бомбардировка қилиниб, юза қайта ишлангандан сўнг унинг юзасида~1,5 мкм қалинликдаги цирконий пардаси буғланиш усулида ҳосил қилинди. Сўнгра магнит майдонда фокусланган Ar^+ микродастаси ёрдамида диаметри 3,2 мм бўлган катод юзасида 20 дан ортиқ “дарча”лар, яъни, катод юзасидаги цирконий пардаларда «ойналар» ҳосил қилинди. Сўнгра бу катод эмиссион микроскопга жойлаштирилиб, газсизлантирилиб, термик фаоллаштирилиб, унинг эмиссион манзараси кузатилди. Цирконий пардаси олиб ташланган дарчалардан чиқаётган эмиссион ток асосида ҳисобланган эффектив чиқиш иши 2,1-2,2 эВ ни ташкил қилди. Бунда «дарча»лардан чиқаётган ток

зичлигини цирконий пардаси билан қопланган юзасидан чиқаётган ток зичлигига нисбати бир неча минг мартани ташкил қилди (9-расм). Тасвирдан кўриниб турибдики, эмиссион дарчаларнинг геометрияси аниқ контурга эга ва унинг контури 10–20 мкм қопламалардаги гафний пардаларида ҳосил қилинган “дарча”ларнинг контурига нисбатан аниқ ва юқори аниқликка эга. Тасвирдан кўриниб турибдики, ≈1,5 мкм қалинликдаги цирконий пардаси юзасида айрим-айрим кичик эмиссион нуқталар – марказлар мавжуд ва у катод юзасининг нотекислиги билан боғлиқ. Шунинг учун, антиэмиссион цирконий пардасининг қалинлиги 2-3 мкм қилиб олиниши керак бўлади.



9-расм. Шимдирилган металл-ғовак катод сиртига антиэмиссион-цирконий пардаси билан қопланган эмиссион микроскопдаги тасвири (парда қалинлиги~ 1,5 мкм).

Шундай қилиб, кўп нурли юқори частотали электрон параметрик кучайтиргичлар (ЛБВ, ЛОВ, Клистрон)да кўп нурли электрон манба сифатида металл-ғовак катодлар 2-3 мкм (юза нотекислигини қоплайдиган) қалинликдаги антиэмиссион-цирконий пардалари асосида ҳосил қилиниши мумкин.

Янги цезийли катоднинг эмиссион хусусиятлари ёритилган. Илмий тадқиқотлар учун цезийнинг қаттиқ жисмли манбалари керак, чунки суюқ цезий билан ишлаш қўшимча ва машаққатли техник ва технологик муолажаларни талаб этади. Шунинг учун кўпинча цезий бирикмаси (CsCl) вольфрам губкага шимдирилган цезийнинг қаттиқ жисмли манбалари ишлатилди ва уни термокатод сифатида қўллаш мумкинлиги илк бор кўрсатилди.

Цезийли катоднинг турғунлашган ҳолати учун электрон чиқиш ишининг температуравий боғлиқлиги чизиқли характерга эга ва температуранинг 800–1100 К интервалларида уни эмпирик тенглама билан ифода этиш мумкин:

$$\varphi = 1{,}32 + 6 \cdot 10^{-4} T$$

Шундай қилиб, Т=1000–1100 К да шимдирилган цезийли катод фақат цезий атомларининг қаттиқ жисмли манбаи сифатидагина эмас ($\nu \leq 10^{12}$ат/см$^2 \cdot$ с), балки уни (30 мА/см^2 гача) термоэлектрон катод сифатида ҳам қўллаш мумкин экан.

ХУЛОСАЛАР

Мавзу бўйича ўтказилган илмий тадқиқотлар натижасида қуйидаги асосий хулосаларни қилиш мумкин:

1. Юқори вакуум ҳосил қилувчи металл қурилма модификация қилинди. Унда масс-спектрометр МХ-7304 анализатори намунага ~6–10 мм гача яқин масофада ўрнатилди. Оже-спектрометрда қучланишни ўзгартириш электрон мосламаси ўрнатилди ва у тўғри (ортиб борувчи) ҳамда тескари (кучланиш камайиб бориш) йўналишда кучланишни берилган тезликларда ўзгартиришга имкон беради.

2. Турли шароитларда оксидланган гексагонал панжарали Ti, Zr, Hf ларнинг барий атомлари оқимидаги термоэлектрон эмиссияси ўрганилди. Уларнинг эмиссион хоссаларини таққослаш учун Nb-O-Ba, W-O-Ba системалари ҳам ўрганилди. Эксперимент натижаларига кўра металл-ғовак термокатодларнинг иш температураси интервалларида антиэмиссион материалга қўйилган талабга Zr, Hf металлари жавоб бериши тажрибалар асосида кўрсатилди.

3. Антиэмиссион материаллар бўлган поликристалл Zr, Hf ҳамда Ti юзасига барий атомларининг адсорбцияси ўрганилди ва Hf-Ba системаси учун чиқиш иши барий концентрациясига боғлиқлигини экспериментал ва назарий ҳисобланган ифодалари олинди ва таҳлил қилинди. Чиқиш иши барий концентрациясига боғлиқлик графигининг чизиқли соҳалари аниқланди хамда унда назарий ҳисоблаш натижаларининг экспериментда тасдиқланган шарт-шароитлари кўрсатилди.

4. Zr ва Hf пардаларининг монокристалл W(110) юзасидаги термостабиллиги термоэмиссия ва ОЭС усулларида ўрганилди. Уларнинг термостабил бўлиши шарт-шароитлари, температура интервалларини аниқланди ва Zr пардаларини антиэмиссион қоплама сифатида металл-ғовак термокатодлари учун қўллаш мумкинлиги кўрсатилди. Шунингдек, Hf, Zr атомларининг W(110) юзасида буғланиш тезлигининг температурага боғлиқлиги экспериментал аниқланди.

5. Zr атомлари пардаларининг W(110)-Ba ва W(110)-O-Ba системасида антиэмиссион парда сифатида шаклланиш жараёни ўрганилди. Пардаларнинг қалинлиги 3-моноқатламдан катта, яъни 4-,5-моноқатламларда бўлгандагина кислороднинг барий адсорбциясига таъсири деярли бўлмаслиги кўрсатилди ва у системанинг ҳажмий зичлашган гексагонал панжарага эга бўлиши билан тушунтирилди.

6. Металл-ғовак термокатоднинг ишлаш жараёнида Ba ва BaO ларнинг юза диффузияси катта роль ўйнагани учун уларнинг молибден юзаси бўйлаб миграцияси эмиссион микроскопда ўрганилди ва миграция узунлигининг температурага ва кислород босимига боғлиқлик қонуниятлари экспериментал аниқланди. Миграция узунлиги T=1550–1600 K ларда максимал қийматга эга бўлиб, 20–22 мкм ни ташкил қилади. Кислороднинг босими $(1\text{-}2)\cdot10^{-7}$ Тор гача ортганда бу катталик 4 мкм гача камайди.

7. Вольфрам-ғовак асоснинг юза хусусияти электрон микроскопда ўрганилиб, юза ўзгаришлари аниқланди. Металл-ғовак губкани юқори температураларда (≤2000 К) давомли қиздириш, унинг юзасидаги ғовакларнинг беркилишига олиб келиши кўрсатилди. Бу эса металл-ғовак

катодларнинг “қариши” – ишдан чиқиш механизми – ғовакларининг беркилиб қолиб, Ва-компонентaлари юзага диффузиясини чегаралаши билан боғлиқлиги кўрсатилди.

8. Цезий атомларининг манбаи сифатида қўлланиладиган CsCl шимдирилган металл-ғовак цезий манбаининг термоэмиссияси илк бор ўрганилди ва уни паст температураларда (T<1100 К) термокатод сифатида қўллаш мумкинлиги кўрсатилди.

9. Қалинлиги ≈1,5 мкм бўлган Zr антиэмиссион қопламасининг эмиссион хоссаси ва термостабиллиги ўрганилди. Металл-ғовак термокатодлар юзасининг нотекислиги механик ва кимёвий ишлов берилганда 2–3 мкм, ион дастаси билан емирилганда 1–2 мкм эканлигини ҳисобга олган ҳолда антиэмиссион қопламаларнинг қалинлиги танланиши кераклиги аниқланди. Zr пардаларининг барча термокатодларда, шу жумладан, металл-ғовак термокатодларда қўллаш мумкинлиги кўрсатилди.

НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.30.05.2018.FM/T.65.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ДОКТОРА НАУК ПРИ ИНСТИТУТЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ И ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ АН РУз

НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА

ТУРГУНБОЕВ ФАРХОД ЮСУПЖАНОВИЧ

ВЛИЯНИЕ АТОМОВ И ПЛЕНОК ГАФНИЯ ИЛИ ЦИРКОНИЯ НА ЭМИССИОННЫЕ СВОЙСТВА СИСТЕМ МЕТАЛЛ-БАРИЙ И МЕТАЛЛ-КИСЛОРОД-БАРИЙ

01.04.04 – Физическая электроника

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

ТАШКЕНТ – 2018

Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № B2017.1.PhD/T20.

Диссертация выполнена в Национальном университете Узбекистана

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

Научный руководитель:	**Турсунметов Комилжон Ахметович,** доктор физико-математических наук, профессор
Официальные оппоненты:	**Умирзаков Болтахужа Ерматович,** доктор физико-физико-математических наук, профессор
	Исаханов Зийнабиддин Абилпайзиевич, доктор физико-физико-математических наук, с.н.с.
Ведущая организация:	**Каршинский государственный университет**

Защита диссертации состоится «____» _____ 2018 г. в ____часов на заседании Научного совета DSc.30.05.2018.FM/T.65.01 при Институте ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз. Адрес: 100125, г.Ташкент, ул.Дурмон йули, 33. Тел./Факс: (+998 71) 262-32-54, e-mail: iplt@iplt.uz.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института ионно-плазменных и лазерных технологий (зарегистрирована за № ____) по адресу: 100125, г.Ташкент, ул.Дурмон йули, 33. Тел.: (+998 71) 262-32-54.

Автореферат диссертации разослан «____» _____ 2018г.

(реестр протокола рассылки № _____ от _____ 2018г.).

Х.Б.Ашуров,
Председатель Научного совета по присуждению ученых степеней, д.т.н., с.н.с.

Д.Т.Усмонов,
Ученый секретарь Научного совета по присуждению ученых степеней, д.ф.-м.н., с.н.с.

Б.Е. Умирзаков,
Председатель Научного семинара при научном совете по присуждению ученых степеней, д.ф.-м.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. Сегодня в мире интенсивно развивается область физической электроники, одной из её перспективных проблем является создание многолучевых электронных приборов и исследование физических основ их усовершенствования. Разработка системы, позволяющей получить многочисленных и наноразмерных потоков электронов, определение физические принципы их работы и испытания их в практике является актуальной современной задачей.

На сегодняшний день научно-исследовательские работы по разработке многолучевых параметрических электронных усилителей, применяющихся в космической и военной технике ведутся в ведущих государствах: РФ, США, Китай и Япония. Разработка высокоэффективных и термостабильных антиэмиссионных материалов для многолучевых электронных усилителей, предназначенных для космической и военной техники, определение их физических принципов, определение и решение вопросы по режимам их работы являются необходимыми и составляют основу данного исследования, обосновывая актуальность и востребованность.

В Республике Узбекистан в последний период в области физической электроники разработаны электронные приборы, позволяющие изучать физико-химические процессы и явления, а также проведены исследования имеющие теоретические фундаментальные значения. Созданы новые материалы, имеющих усовершенствованные свойства с нанодобавками и структурами.

В соответствии со Стратегией действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан по пяти приоритетным направлениям, важное значение имеет разработка современное материаловедение, приборостроение и технологии. Следовательно, получение антиэмиссионных материалов способствующие получению многочисленных потоков электронов в многолучевых параметрических усилителях, а также определение физических условий их стабильной работы определяют актуальность и востребованность темы настоящего исследования.

Данное диссертационное исследовании в определённой степени соответствует задачам обозначенным в Указе Президента Республики Узбекистан № УП-4947 «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017–2021 годы» от 7 февраля 2017 года, в Постановлениях Президента Республики Узбекистан № ПП-1442 «О приоритетных направлениях развития промышленности в 2011–2015 годах» и № ПП-2789 «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Академик наук, управления и финансирования научно-исследовательской деятельности» от 17 февраля 2017 года, а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологии республики. Диссертация выполнена в рамках приоритетных направлений развития науки и технологии Республики

Узбекистан III. «Энергетика, энергоресурсосбережение, транспорт, машинно- и приборостроение: развитие современной электроники, микроэлектроники, фотоники, электронного приборостроения».

Степень изученности проблемы. На сегодняшний день в научных исследованиях и в исследованиях производителей в основном изучены антиэмиссионные свойства толстых плёнок Hf, Zr, Ti, Mo, B, Re. Американские учение A.N.Curren, B.T.Ebihara, S.Peet создали многолучевые электронные приборы на основе получения и применения многолучевых потоков, создаваемое установлением сетки на поверхности катода. Российские учёные Б.Ч.Дюбуа, Ю.В.Гурков, А.Камерцель, Н.Н.Чубун, И.Б.Бутенко изучали антиэмиссионные свойства Hf, Zr, Ti плёнок толщиной 10–20 мкм на поверхности термоэмиссионных катодов и предложили использовать Hf как антиэмиссионный материал. Узбекские учёные Г.Н.Шуппе, У.В.Азизов, К.А.Турсунметов, Н.А.Горбатый изучили адсорбции атомов Ba и кислорода на поверхности тугоплавных металлов. К.А.Турсунметов и Ю.В.Гурков испытали на практике плёнки гафния толщиной 10–20 мкм как антиэмиссионное покрытие, но антиэмиссионные свойства, термостабильность и физический принцип работы более тонких плёнок до сих пор не изучены.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного или научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертационная работа. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планами научно-исследовательских работ Национального университета Узбекистана им. М.Улугбека в рамках проекта № 02-07 «Исследования эмиссионных и фотоэмиссионных свойств тугоплавких металлов и их сплавов» (2015–2018).

Целью исследования является определение антиэмиссионных материалов, позволяющие получить многолучевые электронов с термокатодов, определение эмиссионных свойств и термостабильность антиэмиссионных тонких плёнок.

Задачи исследования:

модификация цельнометаллической высоковакуумной установки, установление анализатора масс-спектрометры МХ-7304 на расстоянии 6–10 мм от образца, установление электронной системы распределения потенциалов Оже-спектрометра и на этой основе создание системы позволяющие изменения напряжения в прямом и обратном направлении заданных автоматически;

сравнительное изучение термоэмиссии металлов с гексагональной решёткой: Ti, Hf, Zr в чистом и окислённом состояниях в потоке атомов бария, а также сравнение их эмиссионных свойств со свойствами систем W-O-Ba или Nb-O-Ba для определения металлов, отвечающих требованиям к антиэмиссионным материалам;

изучение термоэмиссионных свойств плёнок антиэмиссионных металлов на поверхностях чистого, окислённого пористых, вольфрамовых

поликристаллов и монокристаллов (110) и физические аспекты их применения как антиэмиссионные покрытия;

изучение термостабильности тонких (нано) плёнок Zr и Hf на поверхности поли-, монокристаллических (110) W термоэмиссионными и Оже-спектрометрическими методами; определение условий их термостабильности и их возможностей как антиэмиссионные материалы для термокатодов;

изучение процессов формирования плёнок атомов Zr и Hf в системах W(110)-Ba и W(110)-O-Ba как антиэмиссионные материалы и определение физических механизмов формирования их как антиэмиссионные плёнки;

определение физических и технологических аспектов стабильной работы антиэмиссионных покрытий на поверхности металлопористых термокатодов.

Объектами исследования являются поликристаллические образцы Zr, Ti, Hf, Nb, W, монокристалл W(110), а также пористые вольфрамовые таблетки – основа металлопористых катодов.

Предметом исследований являются металлы, металлопористые катоды, эмиссионные и адсорбционные свойства тонких-наноразмерных антиэмиссионных покрытий на их поверхности, а также физический механизм формирования антиэмиссионных плёнок.

Методы исследований. В исследованиях применён метод полного тока и контактная разность потенциалов термоэмиссии, ОЭС, масс-спектрометрия, окисление, адсорбция и десорбция, электронная микроскопия.

Научные новизна исследования заключается в следующем:

на основе термоэлектронной эмиссии окислённых Ti, Zr, Hf в потоке атомов Ba определено, что требованиям антиэмиссионного материала отвечают Zr и Hf;

на основе адсорбции атомов Ba на поверхностях Hf, Zr и Ti и получена экспериментальная зависимость работы выхода системы от концентрации Ba и теоретически определена эта зависимость для системы Hf-Ba;

экспериментально определена возможность использования плёнок Zr в качестве антиэмиссионного материала для металлопористых катодов, и зависимость от температуры скорости испарения атомов Hf и Zr с поверхности W(110);

в процессе формирования антиэмиссионных пленок Zr в системе W(110)-Ba, W(110)-O-Ba и определено, что на плёнки Zr при толщине более 4-5 монослоя атомов Zr, кислород почти не влияет на адсорбцию атомов Ba;

экспериментально определена закономерность зависимости длины миграции Ba-компонент на поверхности Mo от температуры и давления кислорода;

на основе исследований изменения поверхностного рельефа W-губки в электронном микроскопе показано, что длительные высокотемпературные

(T≤2000K) термические прогревы приводят к её спеканию, закрытию пор на её поверхности и к выходу из строя металлопористых катодов;

впервые исследована термоэлектронная эмиссия W-губки, пропитанной CsCl и показана возможность использования в качестве термокатода при T<1100 К.

Практические результаты исследования:

по результатам экспериментов выявлено, что для оксидных и металло-пористых термокатодов плёнки Zr и Hf можно применять как антиэмиссионные покрытие. Показано что, когда толщина плёнок равна 5 или более монослоям их можно использовать как антиэмиссионное покрытие. Учитывая, что при механической и химической обработки неравномерность металлопористых термокатодов составляет 3–5 мкм, а при ионном травлении 2–3 мкм, необходимо учитывать это при выборе толщины антиэмиссионных покрытий;

исследуя эмиссионные характеристики и термостабильность антиэмиссионных покрытий толщиной ~1,5 мкм показано, что их можно применять во всех, в том числе в металлопористых термокатодах;

впервые изучена термоэлектронная эмиссия металлопористой системы пропитанной CsCl и показана возможность её использования в качестве термокатода при температурах T<1100 К.

Достоверность результатов исследования объясняется тем, что использован комплекс современных методик исследования и статическая обработка полученных результатов, материалов, их сравнение с полученными данными другими авторами, изученные электронными микроскопами и испытанием полученных результатов на практике.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научное значение результатов исследования в том, что определены физические и технические аспекты применения тонких плёнок атомов циркония и гафния в качестве антиэмиссионных покрытий, условии их термостабильной работы, научно-обоснована слабая адсорбция на них атомов бария и кислород-бария.

К практическим значениям результатов исследования можно отнести следующие: возможность использовать антиэмиссионные материалы в модифицированных многолучевых электроннопараметрических усилителях, в сетках приборов, применяющихся при преобразовании постоянного тока в переменную; применение антиэмиссионных покрытий Zr или Hf в ЛБВ, ЛОВ и клистронах (анодах) увеличивает их коэффициент полезного действия.

Внедрение результатов исследования. Определение на основе научных исследований и результатов антиэмиссионных материалов и определение физических условии их стабильной работы:

эффективный способ очистки поверхностей тугоплавких металлов (W, Nb, Hf, Zr и Ti) путём окисления их в атмосфере кислорода, с учётом структуры и термостабильности металлических плёнок при очистке поверхности материалов и получения многослойных плёнок использован АО

«FOTON» (Справка Uzeltexsanoata 02-2017 от 19 сентября 2018 года). Использование результатов исследования дало возможность контролировать структуру и термостабильность многослойных плёнок;

результаты по очистке поверхности тугоплавких металлов путем окисления их в атмосфере кислорода, образования структуры и термоустойчивости тонких плёнок, использование твердотельного источника цезия в качества термокатода использованы в научных проектах Ф2-ФА-Ф161 «Механизмы формирования свободных тонких пленок (Al, Си, Ag, и Me-Si) и наноразмерных гетероструктур, созданных на поверхности кристаллов (W, WO_n, TiN, CdTe $Si0_2$) методом ионной имплантации и изучение их физико-химических свойств», № ОТ-Ф3-13. «Механизмы формирования свободных многослойных нанопленочных структур кремний-силицид-металл и изучение их электронной и кристаллической структуры». Института «Ион-плазмы и лазерной технологии» АН Республики Узбекистана (Справка АН РУз 2/1255-2070 от августа 2018 года). Использование результатов исследований позволили улучшить качество системы, контролировать структуру и степень совершенствования тонких плёнок.

Апробация результатов исследования. Результаты настоящего исследования обсуждены на 2-х международных и 3-х республиканских научных и научно-практических конференциях.

Публикации результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 16 научных трудов, в том числе 8 статей в журналах, рекомендованных высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистана для публикации основных научных результатов диссертационных работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка использованной литературы. Объём диссертации составляет 120 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

В вводной части диссертации обоснована её актуальность и необходимость, цели и задачи диссертации, дана характеристика объекта и предметов, показано соответствие передовым направлениям развития научных технологий в республике, изложена научная новизна и практические результаты исследования, раскрыто научное и практическое значение полученных результатов, приведены данные о внедрении результатов исследования в практику и апробации работы, сведения об объёме и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Анализ литературы, опубликованных по теме диссертации»** проанализированы теоретические и практические работы по эмиссионным и адсорбционным свойствам тугоплавких металлов, физабсорбционных и хемадсорбционных процессов, научных условий их осуществления.

Дан анализ результатов экспериментальных работ по адсорбции атомов щёлочноземельных металлов на поверхности тугоплавких металлов. В них проанализированы изменения работы выхода системы в процессе адсорбции, в зависимости от покрытия, уровня чистоты поверхности, а также аспекты, связанные со структурой поверхности.

Проведён анализ опубликованных научных работ и литературы по взаимодействию кислорода с металлами, определены виды систем Me-O, термостабильных в вакууме и при высоких температурах (при рабочих температурах катодов).

Проанализированы опубликованные экспериментальные и научные работы по эмиссионным свойствам систем металл-кислород-барий, где определены зависимости работы выхода от степени и режимов окисления, а также связь со структурой основы-металлов. Указаны результаты уменьшения выхода системы кислородных атомов Me-Ba с объёмно-центрированной кубической (ОЦК) решётки металлов до уровня 1,20–1,25эВ. Отмечено слабое влияние атомов кислорода на работу выхода систем Me-Ba на подложке с гексагональной решётки (ГПУ). В связи с перечисленным выше апробирована идея использования металлов с ГПУ решёткой: Ti, Zr, Hf в качестве антиэмиссионного материала.

Термоустойчивость антиэмиссионных плёнок играет важную роль в получении большого количества устойчивых электронных пучков с поверхности термокатода или в получении стабильной электронных потоков с требуемой конфигурацией.

Учитывая, что существует проблема создания на толстых плёнках микромасштабных «глазков», основной целью данной работы является исследование их в качестве антиэмиссионного материала, технологически более простых и относительно дешёвых тонких нанослойных плёнок металла-циркония, определение условий его термостабильной работы.

Во второй главе диссертации **«Методика эксперимента»** изложены возможности экспериментальной установки для исследования эмиссионных и адсорбционных свойств поверхности твёрдых тел. На установке, созданной из полностью нержавеющего и не подвергающегося намагничиванию стали, имеются цеолитовые, магниторазрядные насосы и СОН, которые дают возможность создавать низкое давление~$1\cdot10^{-9}$ Тор в системе.

Установка даёт возможность исследовать при высоком вакууме и высокой температуре (T≤2100 *K*) от 2х до 4х образцов одновременно, а также даёт возможность изучить их термоэлектронные и адсорбционные свойства, вести исследования с помощью контактной разницы потенциалов (КРП) и методом полного тока, методами Оже-спектрометрии и масс-спектрометрии. Анализатор масс-спектрометра МХ-7304 устанавливается на расстоянии 6–10 мм от образца. Вместе с этим, температура образца измеряется с помощью термопары ВР5/20 и контролируется с помощью микропирометра. Установка также даёт возможность осуществлять окисление образцов при заданной температуре и давлении кислорода, при этом используются таблетки Ba-Ti,

являющиеся источниками бария, а их температура измерялась с помощью термопары.

Изложены особенности Оже-спектрометра, его параметры и его возможности. Концентрация атомов на поверхности определяется с помощью метода Чанга на уровне 0,01 монослоя. Поверхность образцов твёрдых тел путём термического нагревания в вакууме, окисления в течении короткого времени, последующего термического нагревания были очищены, затем чистота и состав поверхности контролировались с помощью ОЭС. Коллекторная система являясь цилиндром Фарадея, внутри которого устанавливается вольфрамовый катод, позволяющий работать в качестве электронной пушки, методом КРП даёт возможность измерить работу выхода.

Образцы эксперимента, использованные в ходе испытания, были изготовлены в Металлургическом институте России, их поверхности были отполированы по принятой стандартной технологии и путём химического или ионного травления, были отшлифованы. Металлы, предназначенные для исследования: Ti, Zr и Hf, использованные для сравнения их свойств поликристаллы W и ниобия, W(110), их термостабильность были аналитически изучены в литературе. Было определено, что самые термостабильные оксиды создаются металлами Ti, Zr и Hf; эти металлы могут создавать объёмные субоксиды Me_3O и Me_6O обладающие высокой термостабильностью. Расположение атомов кислорода внутри решёток ГПУ вместе с обеспечением термостабильности оксидов, оказывают слабое влияние на адсорбцию атомов бария. Именно поэтому появилась возможность получения антиэмиссионных плёнок из этих металлов на поверхности термокатодов.

Третья глава диссертации **«Влияние атомов и плёнок гафния или циркония на эмиссионные свойства систем Me-Ba и Me-O-Ba»** посвящена определению возможностям использования нанослойных плёнок гафния или циркония в качестве антиэмиссионных материалов.

В данной главе изложены термоэмиссионные свойства окислённых гафния, циркония, титана и ниобия в потоке атомов бария. Для сравнения были проверены поликристаллические образцы ниобия, так как его работа выхода близки к работе выхода Hf, Zr и Ti, однако структура кристаллической решётки другая (ОЦК). Это даёт возможность определить роль атомов бария в механизме адсорбции и роль кислорода в создании системы металл-кислород-барий (Me-O-Ba). После обезгаживания системы, степень чистоты поверхности образцов, разогретых в вакууме до температуры $(1–5)\cdot10^{-9}$Тор, контролировалась методом ОЭС. После изчезания Оже-пиков примесей с поверхности покрытия, методом полного тока была определена работа выхода образца. Значение работы выхода гафния составляло 3,95±0,05 эВ, циркония – 3,85±0,05 эВ, титана – 4,05±0,05 эВ и ниобия 4,0±0,05 эВ. Все эти данные полностью согласуются с данными литературы.

После этого, при температуре образца 1000, 1100, 1200 К, были сняты кривые адсорбции атомов бария на поверхности Zr, Hf, Ti и Nb. Было определено минимальное значение работы выхода системы, она составила при Т=1000К, для системы Ti-Ba $\varphi_{мин}$=2,35±0,5 эВ, для Hf-Ba $\varphi_{мин}$=2,38±0,5 эВ, для Zr-Ba $\varphi_{мин}$=2,36±0,5 эВ, для Nb-Ba $\varphi_{мин}$=2,35±0,5 эВ. Эти данные полностью соответствуют литературным данным. Так как работа выхода подложки мало отличаются друг от друга и находятся в интервале 3,85–4,05эВ, небольшую разницу в минимальном значении работы выхода системы Me-Ba можно объяснить моделью Ленгмюра. Однако необходимо отметить, что эти значения связанные со структурой подложки слабо различаются, тогда как Nb обладает структурой ОЦК, то Zr, Hf, Ti обладают структурой ГПУ. Окисление было проведено в атмосфере кислорода при давлении $(1–5)\cdot10^{-6}$ Тор и при температуре образца Т=1000К в течении 30 минут. Для сравнения эмиссионных свойств были сняты S-образные кривые, окислённых металлов Ti, Zr, Hf, Nb и W в потоке атомов бария. На основе этого приведены графики зависимости работы выхода системы Me-O-Ba от температурой (Рис.1). Анализ сравнение этих данных даёт основание сделать вывод, что на окислённых поверхностях циркония и гафния атомы бария обладают слабой адсорбцией. При температурном режиме металлопористых катодов, значение работа выходов систем Hf-O-Ba и Zr-O-Ba равна 3,10–3,20 эВ, что выше работы выхода этих металлопористых катодов на ~1эВ. Это означает, что плотность эмиссионного тока антиэмиссионного покрытия гафния или циркония меньше плотности эмиссии катода непокрытой поверхности в ~10^4 раза, что вполне отвечает требованиям, предъявляемым к антиэмиссионным материалам. Слабую адсорбцию атомов бария при окислении гафния и циркония, по сравнению с ниобием и вольфрамом, слабое влияние кислорода на эмиссионные и адсорбционные свойства циркония и гафния нельзя объяснить классическими представлениями.

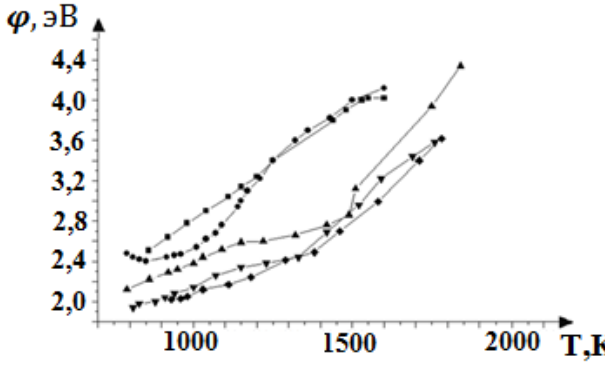


Рис. 1. Зависимость работы выхода окислённых при Т=1000 К Hf (■■■), Zr (●●●), Ti (▲▲▲), W (▼▼▼) и Nb (◆◆◆) в потоке атомов бария.

Однако, как показывают результаты экспериментов, термоэмиссионная эффективность системы Me-O-Ba сильно отличается и это связано со структурой кристаллической решётки металла. Окисление металлов типа Hf, Zr, Ti, обладающих кристаллической решёткой ГПУ, создают объёмные субоксиды типа Me_3O и Me_6O. Атомы кислорода в объёме ГПУ решётки, создают значительно прочную химическую связь, в результате образуются субоксиды типа Me_3O и Me_6O. В этом случае атомы кислорода, находясь в

объёме решётки Zr и Hf, почти не усиливают взаимодействие с атомами адсорбентов. Здесь и значение дипольного момента Me-Ba и теплота адсорбции адсорбированных атомов на поверхности металлов значительно не меняется. При окислении ниобия и вольфрама, обладающих ОЦК-решётками, трёхмерные–«объёмные» субоксиды не образуются, в системы Me-Ba можно значительно увеличить дипольный момент и этим самым уменьшить его работу выхода. Изложенная выше концепция разработана К.А.Турсунметовым и Э.З.Имамовым и нашло своё воплощение в модели эмиссионной системы Me-O-Ba. В целях определения возможности использования гафния в качестве антиэмиссионного материала в системах W-Ba, W-O-Ba были проверены термоэмиссионные свойства чистой и окислённой системы W(110)-Hf в потоке атомов бария. На рисунке 2 приведены зависимости работы выхода в потоке атомов бария от времени: чистая (1 – кривая), окислённая при температуре 1000К (2 – кривая), покрытая монослоем гафния (3 – кривая), предварительно окислённая W(110) и покрытая монослоем атомов гафния (4 – кривая), предварительно покрытая монослоем гафния и окислённая при температуре 1000К (5 – кривая). Из результатов видно, что при наличии атомов гафния, работа выхода системы W-Ba повышается на 0.20 эВ, а работа выхода системы W-O-Ba до 0.40 эВ. Наличие атомов гафния на поверхности вольфрама ослабляют адсорбцию атомов бария и снижают роль кислорода в системе W-O-Ba. Активность атомов гафния к кислороду, незначительно влияет на процесс создания дипольного слоя, понижающего работу выхода системы W-O-Ba. Это даёт возможность предложить плёнки из гафния как антиэмиссионный материал. Поэтому атомы гафния были проверены К.А.Турсунметовым на вольфрамовом металлопористом катоде. На поверхности МПК ионным напылением была получена плёнка из атомов гафния, толщиной ~20мкм. После этого, с помощью ионно-лазерной технологии были сняты отдельные участки гафниевой плёнки с поверхности катода. Плотность эмиссионного тока на поверхности покрытой гафниевой плёнкой, по сравнению с поверхностью катода не покрытой гафнием, была в 2000–2500 раза меньше. Однако покрытие такой толстой плёнкой поверхности катода требует длительного процесса. Кроме того, при толстой плёнке (10 мкм ≤), получение участки с чёткой геометрией и конфигурацией создаёт определённые проблемы. В частности, ограничены возможности получения микроскопических электронных лучей, увеличения количество

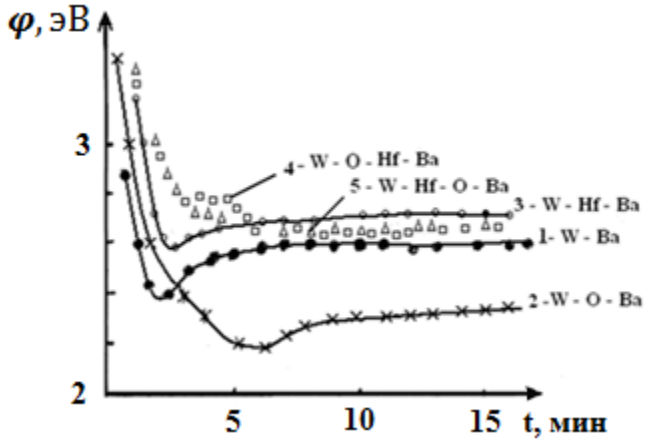


Рис. 2. Изменение работы выхода W (110) в потоке атомов бария.

пучков, получаемых с поверхности. Поэтому требуется получение нанослойных антиэмиссионных плёнок и разработка их физических принципов.

На рисунке 3 приведены графики теоретических расчётов зависимости работы выхода системы гафний-барий от степени покрытия (θ) поверхности и экспериментальный график полученной при температуре 1000К. Как видно из рисунка, зависимость работы выхода системы от степени покрытия является линейной до θ≈0.5, достигает минимума при θ≈0.67 и составляет 2.26±0.037 эВ. Изменения линейной части зависимости $\varphi=\varphi(\theta)$ системы Hf-Ba определяется формулой $\Delta\varphi=4\pi np$. Здесь n-концентрация адсорбированных атомов, –момент диполя системы Hf-Ba.

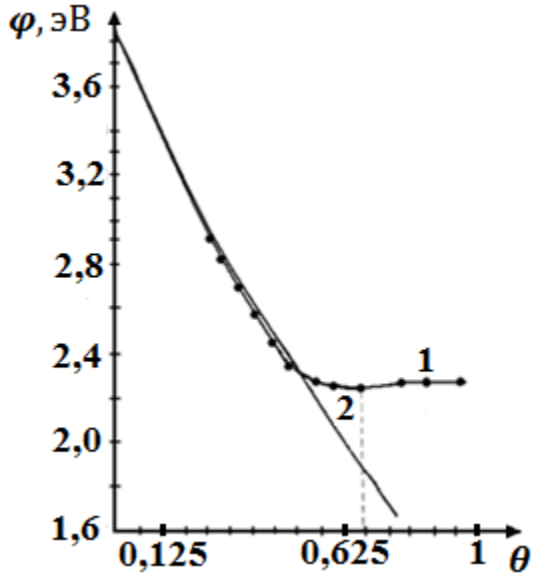


Рис. 3. Зависимость работы выхода системы Hf-Ba от степени покрытия: 1 – экспериментальная, 2 – теоретическая зависимость.

Значение работы выхода системы выражается в виде $\varphi=\varphi_м-V_s(\theta)$, здесь $\varphi_м$ – работа выхода металла, а $V_s(\theta)$ – потенциал, показывающий уменьшения поверхностного потенциала и является функцией степени покрытия (θ). При использование этого метода приводилась методика расчётов зависимости работы выхода системы Hf-Ba от θ. Для этого была рассмотрена модель адсорбированных атомов бария на поверхности поликристаллического гафния. Рассмотренная структура поверхности соответствует структуре грани (1000) ГПУ решётки монокристалла. Согласно оценки изменения энергии Оже-спектра Ba на поверхности W, переход с атома Ba (в системе W-Ba) заряда к W составляет ≈1,1e а для системы Hf-Ba это значение равно 0.96, т.е. заряд атомов бария можно считать равным 1e.

На больших расстояниях – при больших чем 4 соседних атома, дискретный характер расположения ионов значения не имеют. Поэтому были определены радиусы ячеек, как расстояние от центрального иона до четвёртой порядкового соседа, т.е. радиус ячейки центрального иона и его 30 ближайших соседей. Если составить уравнение, показывающее уменьшение работы выхода гафния, связанного со степенью покрытия поверхности атомами Ba в нашей системе и построить график (рис. 3), то в этом случае уровень заполнения поверхности гафния атомами бария до θ≤0,5 будет соответствовать экспериментальным данным, однако при более плотном покрытии (θ≥0,5) возрастёт и взаимодействие дипольных систем. Это приведёт к деполяризации диполей и потенциал поверхности уменьшится. Следовательно, это приведёт к изменению минимума электронной работы

выхода системы. Если учесть, что изменение энергии взаимодействия диполей составляет ≈0,29 эВ, и если принять в расчёт то, что электростатическое взаимное влияние адатомов (ионов) составляет ≈0.1 эВ, в этом случае зависимость работы выхода системы от степени покрытия можно объяснить без всяких противоречий.

Изучена термостабильность плёнок циркония на W (110) и W-губке, а также, скорость испарения атомов циркония и гафния. Здесь была изучена термостабильность плёнки циркония методом ОЭС, а также, изменение эмиссионного тока на поверхности монокристалла W(110) и вольфрамовой губки.

Минимальное значение работы выхода системы W-губка – Zr составляло 3,65 эВ и при 1,5–2 монослоях циркония составляло 3,70±0,05 эВ соответственно.

При T≤1300K на предварительно очищенный вольфрамовый монокристалл был напылён монослой атомов циркония, изменение работы выхода системы был измерен методом полного тока и методом КРП. После этого, при интервалах температуры 1100K–2000K, в течении 10 минут система нагревалась в вакууме и в промежутках 100K, измерялись эмиссионный ток и интенсивность Оже-пиков элементов поверхности. На рисунке 4 показана зависимость относительного уменьшения Оже-пиков циркония на поверхности вольфрамовой губки, покрытых 1,5 монослоем циркония от температуры. Относительное изменение $\left(\frac{A}{A_0}\right)$ Оже-пиков циркония от температуры на поверхности W(110) изображено 1-ой кривой. На основе этих данных изображён график логарифм относительного уменьшения Оже-пиков $\left(lg\,{}^{\Delta A}/_{A_0}\right)$ от $\frac{10^4}{T,K}$. Здесь относительное уменьшение интенсивности Оже-пика характеризует уменьшение концентрации атомов циркония на поверхности вольфрама. Для сравнения на рисунке 4 (3-кривая) приводится зависимость относительного уменьшения Оже-пика циркония от температуры на поверхности вольфрамовой губки, покрытой 1,5 монослоем циркония. Эта зависимость объясняется миграцией атомов циркония на вольфрамовой поверхности при низких температурах, также возможным образованием двух или трёхмерных островков атомов циркония. Такая

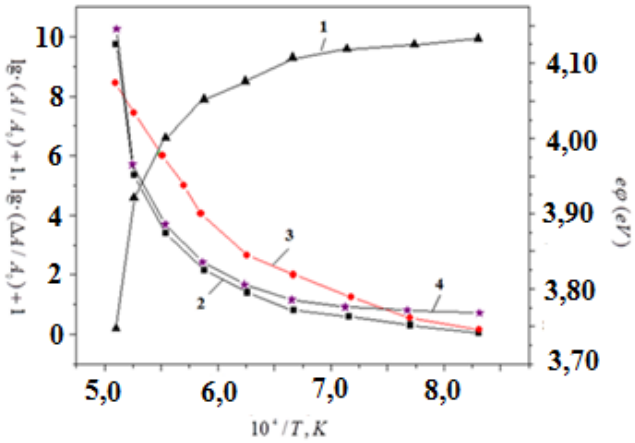


Рис. 4. Относительные изменения интенсивности Оже-пика циркония на поверхности W(110) и вольфрамовой губки; 1 – относительное изменения на поверхности W(110); 2 – относительное уменьшение на поверхности W(110); 3 – относительное уменьшение на поверхности W-губки; 4 –изменения работы выхода системы W(110)-Zr.

закономерность наблюдалась и В.А.Шредником для системы молибден-цирконий. Эта закономерность наблюдалась и в нашем эксперименте. Здесь теплота миграции атомов циркония на поверхности W (110) составила ~0,15 эВ, однако при низких температурах наблюдалось более заметное уменьшение интенсивности Оже-пика циркония на поверхности вольфрамовой губки, что связано с миграцией атомов циркония в поры губки. Таким образом, эмиссионные свойства поверхности плёночных систем, концентрация атомов плёнок на поверхности характеризуются интенсивностью Оже-пиков.

Отметим, что тонкие плёнки циркония на вольфрамовой поверхности термостабильны до Т=1300 – 1350 К, однако при создании антиэмиссионных покрытий на поверхности металлопористых катодов необходимо учитывать процесс миграции атомов циркония в поры вольфрамовой губки. В процессе изучения термостабильности плёнок гафния и циркония, был предложен метод определения скорости испарения атомов металлов поверхности W(110). Была определена степень покрытия циркониевого слоя, а также работа выхода соответствующей концентрации циркония, затем система была разогрета до избранной температуры (1300÷2000)К. Затем температура системы была доведена до комнатной температуры и была определена работа выхода соответствующая концентрации поверхности циркония. На соответствующем графике было определено изменение концентрации циркония в течении времени прогрева, и скорость испарения атомов циркония при температуре нагревания. Из этих графиков определено, что теплота испарения с поверхности W(110) составила для атомов гафния 6,80±0,05 эВ, для атомов циркония-6,25±0,05 эВ. Эти показатели соответствуют данным, приведённых в литературах.

Учитывая изложенное, можно определить эмиссионным методом скорость испарения атомов гафния и циркония с поверхности. При использовании этих величин возможно выбрать рабочий режим СВЧ приборов, покрытых антиэмиссонным покрытием, а также оценить срок службы систем.

Изучен процесс миграции компонентов бария на поверхности молибдена. Использованная для этих исследований эмиссионная система состояла из коаксиального цилиндра в центре которого был расположен металлопористый катод, а вокруг него был сооружён коаксиальный цилиндр из молибдена, где внешний диаметр системы 20 мм. Испытания были проведены в высоковакуумном электронном микроскопе. Увеличение в микроскопе составляет 2000 и это даёт возможность наблюдать эмиссионные изображения с разрешением в 1 мкм. Полученные результаты дают возможность сделать следующие выводы:

с повышением температуры увеличивается интенсивность и максимальные значения длины миграции. С другой стороны, усиливается процесс испарения и соответственно уменьшается время жизни адатомов. Полученные количественные результаты, т.е. результаты наблюдения

эмиссионного изображения процесса миграции компонент Ba на поверхности молибдена позволяют сделать следующее заключение. Длина миграции Ba-компонентов связана с температурой и её максимум достигает при температуре 1460–1480К;

с повышением давления кислорода максимум длины миграции Ba-компонентов изменяется в сторону высоких температур;

замедляется процесса миграции Ba-компонентов при наличии атомов кислорода, это связано с повышением значений теплоты адсорбции адатомов Ba-компонента на поверхности молибдена.

Также было изучено влияния плёнок циркония на эмиссионные свойства систем W-Ba и W-O-Ba. Изучены эмиссионные свойства образца в потоке атомов бария при температуре T=1000-1200 К, которые соответствуют интервалам рабочей температуры термокатодов. Как показали эксперименты изменения работы выхода системы наблюдается когда атомы циркония достигают более 3 монослоёв, а при достижения 5 монослоёв, т.е. в системе W-5Zr-O-Ba работа выхода системы W-O-Ba существенно возрастает, примерно на ≈0,15 эВ. Это доказывает, что начиная с 3-4-х слоёв циркония возникает гексагональная структура, т.е. толстые плёнки (~10-20мкм) гафния и циркония являются антиэмиссионным материалом, где в гексагональной структуре образуются объёмные субоксиды типа Me_3O и Me_6O. Здесь уменьшается роль кислорода, участвующего в создании двухполярного слоя, обладающего большим дипольным моментом на поверхности эмиссионных систем, ответственных за уменьшение работы выхода системы. В нашем случае атомы циркония создают гексагональную структуру только при наличии более 3-х слоёв, появляются объёмные субоксиды, которые приведут к появлению антиэмиссионных свойств.

Были исследованы эмиссионные свойства W-губки при высоких температурах, а также изменения структуры поверхности. Поры вольфрамовой-губки дают возможность впитывания относительно большого количества активных элементов (компонентов бария) и соответственно его эффективная поверхность значительно больше, чем у поликристалла вольфрама. Это даёт возможность создать на поверхности W-губки высокоэффективную эмиссионную поверхность. Устарение металлопористого катода связано с уменьшением на эмиссионной поверхности катода активных веществ – Ba-компонентов. Не было уделено должного внимания на шероховатость-неровность поверхности катода, его разветвлённость, а также на изменения свойств W-губки. Поэтому, в данной работе были исследованы изменения эмиссионной поверхности W-губки, и изменения при длительной термической обработки в вакууме. После высокотемпературного нагрева работа выхода W-губки определённая методом полного тока составляла 3.99±0.05 эВ, а методом контактных разность потенциалов составила 4.50±0.04 эВ. Если истинная работа выхода поликристаллического вольфрама составляет, как мы определили, 4.52 эВ, то в этом случае за счёт размазывания эффективной эмитирующей

поверхностей, работа выхода пористого вольфрама меньше в 1,14-1,15 раза чем для поликристаллического вольфрам. Это даёт возможность получить относительно большого эмиссионного тока с W-губки. На рисунке 5 приведены различные этапы измерений S–образные кривые [$\lg(I/T^2)$ от (5040/T,K)] для W-губки в потоке атомов Ba. Из них видно, что, S–образные кривые имеют форму двойных колоколов. По этим зависимостям можно сказать, что уменьшение эмиссии губки после первого максимума, связано с миграцией атомов бария в поры губки, с последующим повышением температуры атомы бария вновь диффундируют на поверхность W-губки, при этом увеличивается концентрация бария на поверхности, эмиссионный ток увеличивается за счёт уменьшения работы выхода. Эта закономерность видна на температурной зависимости, приведённой на рисунке 5. При температурах выше 1600 К градусов атомы бария полностью испаряются с поверхности W-губки и работа выхода системы будет в порядке работы выхода чистого поликристалла вольфрама. После многочисленных окислений и термообработок поры W-губки спекаются, и её эмиссионные свойства в потоке бария становятся аналогичными свойствам поликристаллического вольфрама. Это ясно видно по зависимостям эмиссионного тока W-губки потоков бария от температуры (кривая 2).

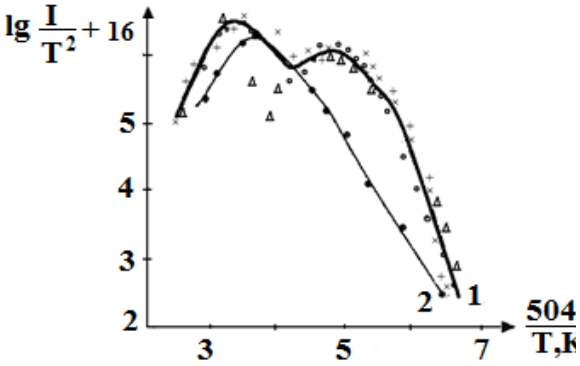


Рис. 5. S-образные кривые W-губки в потоке атомов Ba: при окислении T=1000 K (+++), 1100 K (ΔΔΔ), 1200 K (xxx), 1300 K (···) на первоначальном этапе (кривая-1); после длительного термического нагревания (кривая-2).

Получены температурные зависимости работы выхода вольфрамовой губки после нескольких циклов при её окислении в вакууме $\leq 2\cdot10^{-8}$ Тор до температуры 2100К, а также термического нагрева в температурных интервалах 1150÷1800К после окисления. Результаты экспериментов приведены на рисунке 6 (1 и 1′ кривые). Термический нагрев соответствующий каждой точке проводился по 10 минут. Как видно из рисунка, при термическом нагревании эмиссионная поверхность

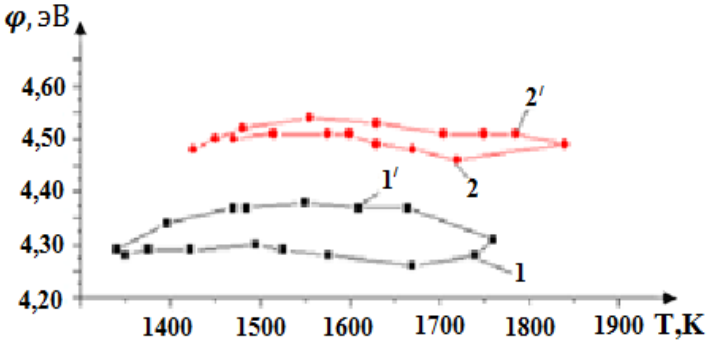


Рис .6. Зависимость, работы выхода W-губки на различных этапах термообработки от температуры: 1-и 2-при повышении температуры; 1′-и 2′-при понижении температуры.

изменяется. Если учитывать, что состав поверхности состоит из одного материала-вольфрама и работы выхода постоянная (4,52эВ), то в этом случае изменение эмиссионного тока связано с изменением поверхности. Это означает снижение эффективной эмиссионной поверхности вольфрамовой губки и связано с её термической обработкой, соответствующей уменьшением электронного тока и спеканием поверхностных пор вольфрамовой губки. Это отчётливо видно из графика (рис. 6, кривые 2 и $2^{/}$), который показывает зависимость работы выхода при длительном нагреве вольфрамовой губки (t≥60 часов) при температурах T≤2000K. При этом, если работа выхода вольфрама постоянна и равна 4.52 эВ, в этом случае эмиссионная поверхность вольфрамовой губки уменьшится в 280 раз (кривые 1 и $1^{/}$), если работа выхода составляет ≈4.0эВ, то относительно начального этапа она уменьшится в 38 раз. Таким образом, нагревание вольфрамовой губки при высоких температурах (T>1600K) приведёт к уменьшению эмиссионной поверхности вследствие спекания пор губки. Поэтому мы можем отметить, что старение металлопористых катодов связано не только с

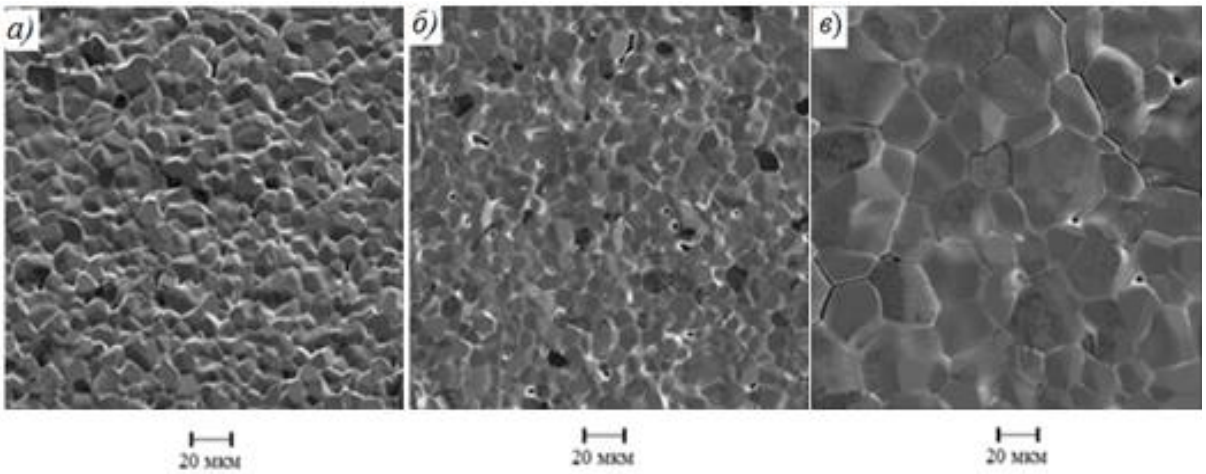


Рис.7. Виды поверхности W-губки первоначальное (а), после химической обработки (б) и после нагревания при высоких температурах (в).

наполнением губки активными веществами Ba-компонентов, но и со спеканием пор вольфрам-губки. В связи с этим предлагается при исследовании эмиссионных и адсорбционных свойств вольфрамовой губки не нагревать их свыше 1450–1500K. Изменения морфологии поверхности вольфрамовой губки были исследованы электронным микроскопом ($K=250^{x}$). На рисунке 7а показано первоначальное состояние вольфрамовой губки, где видно, что поверхность губки неровная. Поэтому поверхность подвергнута механической и химической обработке. Опыты показали, что после механической обработки, т.е. после полировки, морфология поверхности резко нарушается. Поэтому поверхность губки обработана путём электротравления слабым раствором NaOH. В результате поверхность стала значительно гладкой (рис. 7*б*). На рисунке 7*б* показано состояние поверхности после ряда термообработок в вакууме и исследований эмиссионных и адсорбционных свойств, а также после электрополировки. На

нём видно, что поры на поверхности скрыты, спеклись, в результате этого в процессе работы металлопористого катода резко уменьшаются поступления Ва-компонента изнутри и приводит к «старению»–выхода из строя катода.

Поверхность катода становится однородной эмиссионной системой если металлопористый катод нагревать ниже 1500К, т.е. если провести активировки при температурах Т≤1300К а рабочую температуру держать на уровне Т≤1300К. Изображения металлопористого катода, сделанные в эмиссионном микроскопе на различных этапах показаны на рисунке 8 (а, б, в, с). Эмиссионные изображения получены в высоковакуумном микроскопе, на

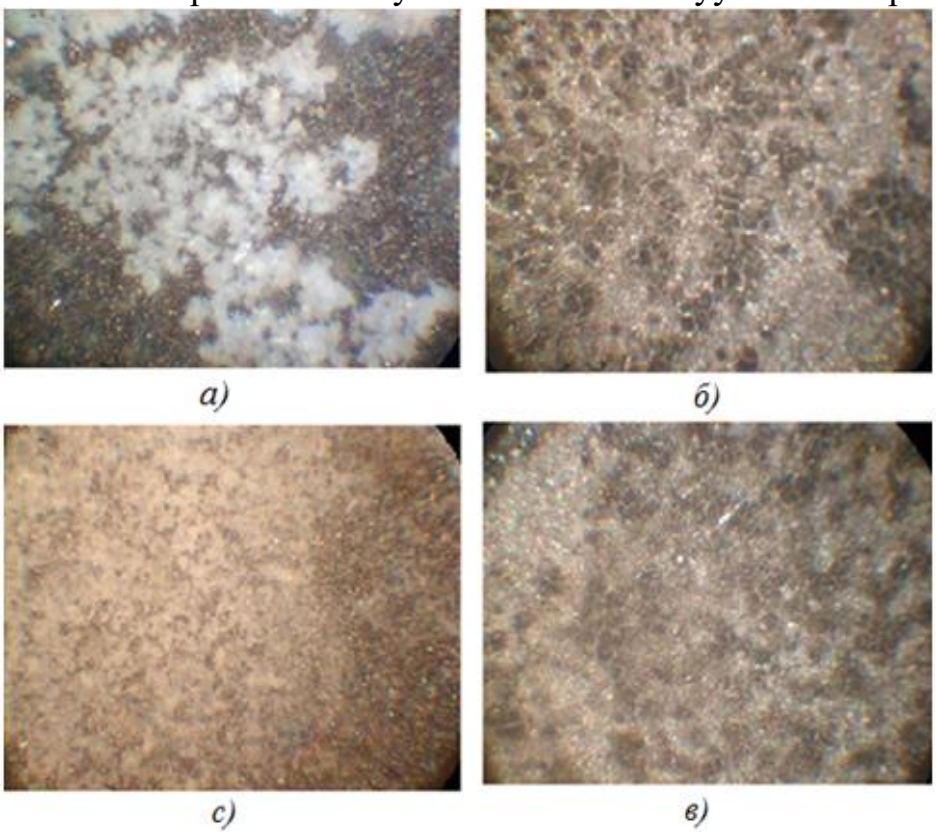


Рис. 8. Изображение в эмиссионном микроскопе металлопористого прессованного катода на различных этапах активизации.

них чётко и подробно отображено формирование эмиссионной поверхности (рис. 8). Поверхность катода очищена бомбардировкой ионами аргона (энергия 10кэВ), затем на поверхности катода методом испарения получена циркониевая плёнка толщиной 1,5 мкм. Затем в магнитном поле с помощью сфокусированного пучка Ar^+ на поверхности катода диаметром 3,2 мм были созданы более 20 «окошек». После этого катод был расположен в эмиссионный микроскоп, где было проведено обезгаживание, термическая активировка, проведено наблюдение его эмиссионного изображения.Эффективная работа выхода, определённая на основе измерения эмиссионного тока исходящего из «окошек», где циркониевые плёнки были сняты, составила 2,1–2,2эВ. Соотношение плотности тока исходящего из этих «окошек» превысило плотность эмиссионного тока с поверхности покрытого циркониевой плёнкой в несколько тысяч раз (рис. 9). Как видно из рисунка, геометрия данных эмиссионных окон обладает чётким

контуром и чёткость его контура значительно превосходит контуры окошек с толщиной, диаметром 10–20мкм сделанных на гафниевых плёнках. На изображении видно, что на поверхности циркониевой плёнки толщиной ≈1,5 мкм есть маленькие точки – эмиссионные центры и это связано с неравномерностью поверхности катода. Поэтому целесообразно выбрать толщину антиэмиссионной циркониевой плёнки 2-3 мм и более. Таким образом, можно создавать, источника многолучевых электронов, на основе металлопористых катодов покрытых антиэмиссионными плёнками циркония толщиной 2-3мкм, для усилителей высокочастотных электронно-параметрических усилителей (ЛБВ, ЛОВ, Клистрон).

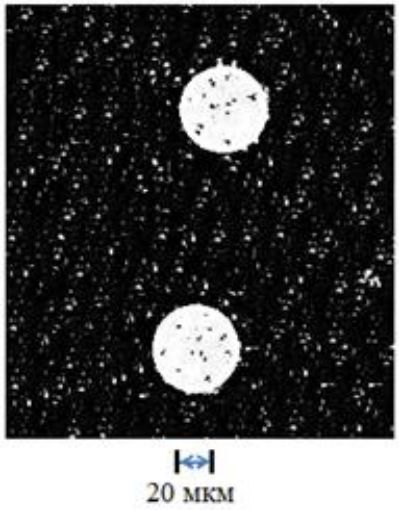


Рис. 9. Изображение в эмиссионном микроскопе металлопористого катода, покрытого антиэмиссионной плёнкой циркония (толщина плёнки ~1.5мкм).

Изучены эмиссионные свойства нового катода из цезия. Для научных исследований необходимы твердотельные источники цезия, так как работа с жидким цезием требует дополнительных работ и технологических процессов. Поэтому часто используется твердотельные источники цезия – вольфрамовые губки, пропитанные соединением цезия (CsCl) и в первые показано использование возможность его как термокатода. Для стабилизированного состояния катода, температурная зависимость электронной работы выхода обладает линейным характером и в интервале температур 800–1100К, его эмпирическое уравнение можно выразить в виде $\varphi=1.32+6\cdot10^{-4}T$.

Таким образом, вольфрамовую губку пропитанной цезием при температурах Т=1000–1100К можно использовать не только как твердотельный источник атомов цезия ($\nu\leq10^{12}$ат/см^2·с), но и в качестве термоэлектронного катода (до 30 мА/см^2).

Выводы

На основе проведённых научных исследований можно сделать следующие основные выводы:

1. Модифицирована цельнометаллическая сверхвысоковакуумная установка. В ней установлен масс-спектрометр МХ-7304 таким образом, что расстояние между его анализатором и образцом составляло 6–10 мм.

2. Изучена термоэлектронная эмиссия в потоке атомов бария окислённых металлов с гексагональной структурой в различных режимах окисления. Для сопоставления эмиссионные свойства которых также были изучены эмиссионные свойства систем Nb-0-Ba и W-O-Ba. На основе экспериментов определены как антиэмиссионные материалы Zr и Hf,

отвечающее требованиям, предъявленным к антиэмиссионным материалам при рабочих температурных интервалах металлопористых катодов.

3. Изучена адсорбция атомов бария на поверхностях антиэмиссионных материалов – поликристаллических Zr, Hf и Ti и получены экспериментальная и теоретическая зависимости работы выхода системы Hf-Ba от концентрации бария и эти зависимости проанализированы. Определена линейная часть зависимости работы выхода от концентрации Ba и показана возможности теоретическое объяснения этой зависимости.

4. Изучена термостабильность плёнок Zr и Hf на поверхности W(110) методом термоэмиссии и ОЭС. Определены условия и температурные интервалы термоустойчивости этих плёнок, показана возможность использования плёнок циркония в качестве автоэмиссионного покрытия для металлопористых катодов. Также экспериментально определены зависимости скорости испарения от температуры атомов Hf и Zr с поверхности W(110).

5. Изучен процесс формирование плёнки атомов Zr в качестве антиэмиссионной плёнки в системах W(110)-Ba и W(110)-O-Ba. При толщине плёнки Zr более 3-х монослоев, т.е. при 4–5 монослоях показано почти отсутствие влияния атомов кислорода на адсорбции атомов бария и это объясняется формированием гексагональной плотноупакованной структуры плёнки.

6. В механизме работы металлопористых катодов большую роль играет процесс диффузии Ba и BaO на поверхности термокатодов. Поэтому был изучен процесс их миграции по поверхности молибдена и определены закономерности зависимости длины миграции от температуры и от давления кислорода. Длина миграции имеет максимальное значение (20–22 мкм) при T=1550–1600K, при увеличении давлений кислорода до (1–2) 10^{-7}Тор, это значение уменьшается до 4 мкм.

7. В электронном микроскопе изучены поверхностные свойства W-губки металлопористого катода и их изменения. Показано закрытия пор W-губки при её длительных термических прогревах (T<2000K) в вакууме. Закрытые-спекание пор губки объясняет один из механизмов «старения» металлопористых катодов, связанное ограничением диффузии изнутри Ba-компонент на поверхность.

8. Впервые изучена термоэлектронная эмиссия твердотельного источника атомов цезия (пропитанная W-губка CsCl) и показана возможность использования его в качестве термокатода при низких температурах (T<1100K).

9. Изучены эмиссионные свойства и термостабильность плёнки Zr толщиной ~1,5мкм. Определено, что при подборе толщины антиэмиссионной плёнки необходимо учесть неравномерность поверхности металлопористых катодов, которые при механической и электрохимической обработки составляет 2-3 мкм, при ионном травлении 1-2 мкм. Показано, что плёнки

циркония можно использовать в качестве антиэмиссионного покрытия для всех термокатодов, в частности металлопористых катодов.

SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING OF SCIENTIFIC DEGREES DSc.30.05.2018. FM/T.65.01 INSTITUTE OF ION-PLASMA AND LASER TECHNOLOGIES

NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN

TURGUNBAEV FARKHAD YUSUPJANOVICH

INFLUENCES OF HAFNIUM OR ZIRCONIUM ATOMS AND FILMS TO THE EMISSION PROPERTIES OF THE METAL-BARIUM AND METAL-OXYGEN-BARIUM SYSTEMS

01.04.04 - Physics electronics

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

TASHKENT – 2018

The theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) on physical and mathematical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of Republic of Uzbekistan under number B2017.1.PhD/T20.

Dissertation has been prepared at the National university of Uzbekistan.

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

Scientific consultant:	**Tursunmetov Komiljon Ahmetovich** doctor of physical and mathematical sciences professor
Official opponents:	**Umirzakov Boltaxuja Yermatovich** doctor of physical and mathematical sciences professor
	Isakhanov Ziynabiddin Abilpayzievich doctor of physical and mathematical sciences, senior researcher
Leading organization:	**Karshi State University**

Defense will take place on «___» _____ 2018 at ____ at the meeting of scientific council number DSc.30.05.2018. FM/T.65.01 at Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies (Address: 100125, Uzbekistan, Tashkent, 33 Durmon yuli street. Phone/fax: (+99871) 262-32-54, e-mail: iplt@iplt.uz).

Doctoral dissertation is possible to review in Information-resource centre at Ion-plasma and laser technologies Institute (is registered №_____) (Address: 100125, Uzbekistan, Tashkent city, 33, Durmon yoli str., Phone: (99871) 262-32-54.

Abstract of dissertation sent out on «___» _____ 2018.

(Mailing report № _____ on «__» _____ 2018).

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

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

B.Ye.Umirzakov
Chairman of the scientific seminar at the scientific council
on award of scientific degree of doctor of sciences,
doctor of physical and mathematical science, sciences professor

INTRODUCTION (Annotation of the doctoral dissertation)

The purpose of the study is to determine the anti-emission materials, which make it possible to obtain multiradial electrons from thermal cathodes, to determine the emission properties and the thermostability of anti-emission thin (nano) films.

The objects of investigation are polycrystalline samples of Zr, Ti, Hf, Nb, W, single crystal W (110), as well as porous tungsten tablets, which are the basis of metal-porous cathodes.

Scientific novelties of research work:

The thermionic emission of pure and oxidized Ti, Zr, and Hf with a hexagonal lattice in a stream of barium atoms was studied. On the basis of experimental results, it is shown that in the interval of operating temperature of metal-porous cathodes, Zr and Hf meet the requirements of anti-emission material;

The adsorption of barium atoms on the surfaces of anti-emission materials: Hf, Zr, and Ti has been studied and the relation of the functioning of the system on the concentration of barium has been obtained. Theoretically, such relation was obtained for the Hf-Ba system and it was compared with the experimentally obtained results. It is shown that the linear part of the relation of the functioning of the Hf-Ba system coincides with the experimental relation;

The thermostability of Zr and Hf films on the surfaces of a polycrystal and a single crystal of tungsten by thermal emission and Auger electron spectroscopies has been studied. The temperature intervals of their thermal stability are determined, the possibility of their use as an anti-emission material for metal-porous cathodes is shown. The evaporation rates of the Hf and Zr atoms from the W (110) surface are also determined.

The process of formation of anti-emission Zr films in the W (110) -Ba and W (110) -O-Ba systems was studied. It is shown that Zr films at a thickness of more than 3 monolayers, i.e. at more than 4-5 monolayers of Zr atoms, oxygen has almost no effect on the adsorption of Ba atoms and this is due to the formation of a zirconium film with a hcp lattice.

The prosese migration of Ba components on the Mo surface was studied and the migration lengths at different oxygen pressures were determined.

Changes in the surface relief and composition of polycrystalline W, Hf and porous W-sponge, coating Hf on the surface of W (110) on an atomic force microscope are determined. It is shown that long-term high-temperature thermal heats ($T \leq 2000K$) of W-sponge lead to its sintering and dispenses closure on its surface. This explains one of the reasons for the "aging" of metal-dispenses cathodes, due to the restriction of diffusion of Ba internal components.

The possibility of using a solid-state source of cesium-impregnated CsCl tungsten sponge as a low-temperature ($T < 1100$ K) thermal cathode is shown for the first time.

Application of research results. As a result of research and anti-emission materials, determining the physical conditions for their stable operation:

The possibilities of obtaining stable thin films and their control are determined on the basis of the results of an investigation of the effective cleaning of the surface of refractory metals by oxidation in the atmosphere of oxygen and their thermal stability (reference No. 02-1031 of May 4, 2018, Uzeltexsanoat); the results of cleaning the surface of refractory metals by oxidizing them in an oxygen atmosphere, forming the structure and thermal stability of thin films, using solid-state cesium as a thermal cathode for use in improving the quality of materials, controlling the structure and perfecting the structure of thin films were used in scientific projects No. Ф2-ФА-Ф161, No. ОТ-Ф3-13 of the Institute of "Ion-Plasma and Laser Technology" of the Academy of Sciences of Uzbekistan (Reference to the Academy of Sciences of Uzbekistan №2/1255-2070 dated August 6, 2018 year).

Structure and scope of the dissertation. The thesis consists of an introduction, three chapters, conclusion, a list of used literature. The thesis is consist of 120 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHD WORKS

I бўлим (I часть, part I)

1. Турсунметов К.А., Тургунбоев Ф.Ю., Хамиджонов И.Х. Термоэмиссионные свойства системы W-Hf-Ba // Узбекский физический журнал – Ташкент, 2010, № 1-2 – С. 71-74 (01.00.00. № 5).

2. Турсунметов К.А., Тургунбоев Ф.Ю., Хамиджонов И.Х. Исследование процесса миграции бариевых компонент на поверхности молибдена // Доклады академии наук республики Узбекистан – Ташкент, 2010, № 5 – С. 36 –38 (01.00.00. № 7).

3. Турсунметов К.А., Тургунбоев Ф.Ю., Хамиджонов И.Х. К расчёту работы выхода системы гафний-барий // Узбекский физический журнал – Ташкент, 2011, № 4 – С. 276–280 (01.00.00. № 5).

4. Турсунметов К.А., Тургунбоев Ф.Ю. Влияние плёнок циркония на эмиссионные свойства систем W-Ba и W-O-Ba // Ўзбекистон миллий университети хабарлари – Ташкент, 2013, № 2/1 – С. 181–183 (01.00.00. № 8).

5. Турсунметов К.А., Тургунбоев Ф.Ю. Новый цезиевый катод // Доклады академии наук республики Узбекистан – Ташкент, 2015, № 4 – С. 18–20 (01.00.0. № 7).

6. Tursunmetov K.A., Turgunbaev F.Yu. Work Function Calculation For Hafnium- Barium System // International journal of scientific & technology research Vol 5. ISSUE 04, 2016 – P. 355–358 (Research Gate IF=0,36).

7. Турсунметов К.А., Тургунбоев Ф.Ю. Термоэмиссионные свойства окислённых гафния, циркония, титана и ниобия в потоке атомов бария // Ўзбекистон миллий университети хабарлари – Ташкент, 2017, 2/2.б. – С. 209–213 (01.00.00. № 8).

8. Тургунбоев Ф.Ю. Определение скорости испарения атомов циркония с поверхности W (110) // Доклады академии наук республики Узбекистан – Ташкент, 2018, № 2 – С. 215–221 (01.00.00. № 7).

II бўлим (II часть, part II)

9. Турсунметов К.А., Тургунбоев Ф.Ю. К расчёту работы выхода системы гафний–барий // Фундаментальные и прикладные проблемы физики. – Россия, 2013. – С. 41–44.

10. Турсунметов К.А., Тургунбоев Ф.Ю. Влияние плёнок циркония на эмиссионные свойства систем W-Ba и W-O-Ba // Респ. Илм–назарий семинар Тошкент давлат техника университети, 2013 – С. 4.

11. Турсунметов К.А., Тургунбоев Ф.Ю. Влияние многослойных плёнок циркония на эмиссионные свойства систем W-Ba и W-O-Ba // 6–ая международная конференция по Физической электронике. – Ташкент, Тезисы докладов, 2013 – С. 9–11.

12. Tursunmetov K.A., Turgunbaev F.Yu. New cesium cathode // Science and education. – Munich, Germany, 2015 – С. 293–295

13. Турсунметов К.А., Тургунбоев Ф.Ю. Изучение эмиссионной поверхности вольфрамовой губки при термических прогревах // Физика фанининг муаммолари ва унинг истеъдодли ёшларнинг ўрни // Республика илмий амалий конференциясида. – Ташкент, 2016 – С. 291–293.

14. Tursunmetov K.A., Turgunbaev F.Yu. Thermal stability of zirconium films on tungsten and tungsten sponge // Nev. Trends of Development Fundamental and Applied Physics: Symposium proceedings. Институт ионно-плазменных и лазерных технологий-6 – Tashkent, 2016, 10-11 November. – С. 249–250.

15. Турсунметов К.А., Тургунбоев Ф.Ю. Определение скорости испарения атомов циркония с поверхности W(110) // Муҳандислик физикасининг илмий-услубий муаммолари. – Ташкент, Тошкент давлат техника университети, 2017, 8-9 сентября – С. 148-149.

16. Турсунметов К.А., Тургунбаев Ф.Ю. Изменение морфологии W-губки МПК катода в процессе термического прогрева // Седьмая международная конференция по физической электронике Институт ионно-плазменных и лазерных технологий. – Ташкент, 2018, 18-19 май – С 71.

Автореферат “Til va ababiyot ta’limi” журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилиб, ўзбек ва рус тилидаги матнлар ўзаро мувофиқлаштирилди. (24.09.2018)