

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ФАНЛАР
АКАДЕМИЯСИ У.О. ОРИФОВ НОМИДАГИ ЭЛЕКТРОНИКА
ИНСТИТУТИ**

Қўлёзма ҳуқуқида

УДК:537. 533.7.8.

Абдувайитов Акбаржон Абдумажидович

**ТУРЛИ ТАБИАТЛИ МАТЕРИАЛЛАР СИРТИДАН ЧИҚҚАН ОЖЕ-
ЭЛЕКТРОНЛАРНИНГ ОРИЕНТАЦИЯГА БОҒЛИҚЛИГИНИ ИОН ВА
ЭЛЕКТРОН ОЖЕ-СПЕКТРОСКОПИЯ УСУЛЛАРИ ЁРДАМИДА
ЎРГАНИШ**

01.04.04 - Физикавий электроника

**Физика – математика фанлари номзоди илмий даражасини олиш учун
тақдим этилган диссертация**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т И

Тошкент-2009

Иш ЎзР ФА У.О.Орифов номидаги Электроника институтида бажарилган

Илмий раҳбар:	физика-математика фанлари доктори, профессор Алиев Абдурашит Абдуллаевич
Илмий маслаҳатчи:	физика-математика фанлари номзоди, катта илмий ходим Исаханов Зинаобидин Абулпайзович
Расмий оппонентлар:	физика-математика фанлари доктори, профессор Турсунметов Комил Ахмедович физика-математика фанлари номзоди, катта илмий ходим Рахмонов Ганибой Таджиевич
Етакчи ташкилот:	Тошкент Давлат техника университети

Ҳимоя ЎзР ФА У.О.Орифов номидаги Электроника ва Ядро физикаси институтлари ҳузуридаги Д 015.23.01 рақамли Бирлашган ихтисослашган кенгашнинг «_____»_____2009 й. соат _____ да ўтадиган мажлисида бўлади. Манзил: 100125 Тошкент, Дўрмон йўли, 33. Тел.: (99871) 262-79-40, факс: (99871) 262-87-67. e-mail: aie@aie.uz

Диссертация билан ЎзР ФА У.О.Орифов номидаги Электроника институтининг кутубхонасида танишиш мумкин

Автореферат 2009 й. «_____»_____да тарқатилди.

Бирлашган ихтисослашган кенгаш
илмий котиби,
физика-математика фанлари доктори, проф.

И. Хидиров

1.ДИССЕРТАЦИЯНИНГ УМУМИЙ ТАВСИФИ

Мавзунинг долзарблиги. Турли электрон асбоблар ўлчамларини ихчамлаштириш, микроэлектроника ва юпқа пардали технологияларни ривожлантириш қаттиқ жисмларнинг сирт хусусиятлари билан узвий боғлиқдир. Бундан ташқари, кўплаб кимёвий (емирилиш), механик ва бошқа жараёнлар ҳам қаттиқ жисмлар сиртдаги ҳодисалар билан бевосита боғлиқ. Шу сабабли, модда сиртининг элементлар таркибини, кимёвий ҳолатини, кристалл ва электрон структураси тузилишини ўрганиш муаммоси ҳозирги замоннинг долзарб муаммосидир.

Маълумки, юқори вакуум шароитида турли усуллар (ион емирилиш билан биргаликда юқори температурали қиздириш) ёрдамида тозаланган барча қаттиқ жисмларнинг реал сиртлари таркибида маълум миқдордаги киришма атомлар (C,O,S ва бошқалар) мавжуд. Бу атомлар сирт тузилиши ва хусусиятларига етарлича таъсир кўрсатади, аксарият ҳолларда киришма атомлари асосий материал атомлари билан кимёвий боғланиш ҳосил қилиб, сиртнинг кристалл тузилишини ўзгартиради. Қаттиқ жисм сиртида наноэпитаксиал қатламлар ва нанокристалл фазаларни ҳосил қилиш, шунингдек кристалл-наноэпитаксиал қатлам чегарасида содир бўладиган жараёнлар тўғрисида маълумот олишда киришма атомларнинг асосий материал атомлари билан кимёвий боғланишлари натижасида сирт кристалл тузилишининг ўзгариши долзарб муаммо саналади. Шу сабабли, турли табиатли кристалллар учун киришмали элемент атомларининг сиртдаги ва сирт яқинидаги концентрацияси, кимёвий ҳолати ва жойлашиши тўғрисидаги ишончли маълумотлар олиш долзарб муаммодир. Бунда янги сиртий фазаларнинг пайдо бўлиш механизмларини аниқлаш ва уларнинг материал табиатига боғлиқлигини ўрганиш муҳим аҳамият касб этади. Бу муаммоларни ҳал қилиш мақсадида ушбу ишда биринчи марта сиртга тушаётган бирламчи электрон ва ион дасталарини 0^0 дан 90^0 гача ўзгартиргичдан фойдаланган ҳолда, ион ва электрон Оже-спектроскопия усулларида фойдаланилади.

Бир хил тажриба шароитида олинган ион ва электрон Оже-спектрларни таққослаб ўрганиш долзарб масала ҳисобланади, чунки ҳозиргача ион Оже-спектроскопия механизми етарлича ўрганилмаган. Бундан келиб чиққан ҳолда, турли табиатли материалларни (вольфрам, алюминий ва кремний монокристаллари) бир хил шароитда электронлар ва ионлар билан бомбардимон қилганда олинган Оже-спектрларни таққослаб ўрганилди. Ионлар билан бомбардимон қилиш жараёнида олинган Оже-спектрдаги Оже-чўққилар интенсивлигининг камайиши, ярим кенглигининг ортиши, спектрдаги асосий Оже-чўққи атрофида кўшимча чўққиларнинг пайдо бўлиши ўрганилди. Бу тажриба изланишлари қаттиқ жисм сиртининг элементар ва кимёвий таркибини батафсилроқ ўрганиш имкониятини

кенгайтиради ва ион Оже- спектроскопия усулининг сирт диагностикасида ишлатиш имкониятларини ривожлантиради.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Ҳозирги вақтда сиртнинг кимёвий таркибини таҳлил қилишда, киришмали атомларнинг намуна калинлиги бўйича тақсимооти, адсорбция, десорбция ва юпка пардали қатламларнинг эпитаксиал ўсиш жараёнларини, қаттиқ жисмларнинг зона тузилишларини, шунингдек, қотишмалар сиртида содир бўладиган жараёнларни ўрганишда электрон Оже-спектроскопия (ЭОС) усулидан кенг фойдаланилмоқда. Лекин турли табиатли материалларнинг таркибидаги киришмали атомларнинг кристалл панжараларидаги жойлашуви ЭОС ёрдамида ўрганилмаган. Таҳлиллар шуни кўрсатдики, қаттиқ жисмларни ионлар ва электронлар билан бомбардимон қилиш жараёнида олинган Оже-спектрлар бир-биридан фарқ қилади. Бу фарқ чет эл олимлари томонидан турлича тушунтирилган. Ҳозирги вақтга қадар ион Оже-спектроскопия механизми охиригача аниқланмаган. Бундан келиб чиққан ҳолда, мазкур ишда турли табиатли материаллар учун қатор ион Оже-спектрлар олинди ва ион Оже-спектроскопия механизмини ўрганиш мақсадида уларнинг илмий ва амалий таҳлили амалга оширилди.

Диссертация ишининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация мавзуси 2003-2007 йилларда ЎзР ФА нинг Электроника институтида бажарилган Ф-2.1.64 «қаттиқ жисмларни ион билан бомбардимон қилганда оже-спектрлар вужудга келишининг алоқида механизмини тадқиқ қилиш ва аниқлаш» Давлат илмий-фундаментал тадқиқотлар лойиҳаси билан бевосита боғлиқ. Бундан ташқари, амалий жиҳатдан “Ўзкабель” заводи билан тузилган ўзаро ҳамкорлик шартномаси (№ 450 11.07.2000 й.) асосида рангли металлларнинг (Cu, Al) кимёвий таркиби ўрганилди ва таҳлил қилинди.

Тадқиқот мақсади ва вазифалари. Монокристалллар Mo(100), W(100), Al(100), Si(100) сиртидаги киришмали атомлар таркибини ўрганиш, уларнинг кристалл панжарадаги жойлашувини аниқлаш, электрон ва ион Оже-спектрларни таққослаб ўрганиш ва ионлар билан бомбардимон қилиш жараёнида Оже-чўққилар шакли ва интенсивлиги ўзгаришига олиб келувчи асосий сабабларни аниқлаш. Бу мақсадни амалга ошириш учун қуйидаги **вазифалар** белгилаб олинди:

-Юқори вакуумли универсал Оже-спектрометрни такомиллаштириш, бир хил шароитда бир йўла олтита намунани текшириш имконини берувчи манипулятор блокини ишлаб чиқиш.

-Ион емирилиш ва юқори температурда қиздириш орқали тозалаш жараёнида монокристалллар Mo(100), W(100), Al(100), Si(100) ва мис намуналари сиртларининг элемент таркиби ва кимёвий ҳолати ўзгаришларини ўрганиш.

-Кристаллни турли азимутал бурчакларга ўзгартириш натижасида олинган Оже-спектрлар ва Оже-спектрларнинг электронларнинг тушиш

бурчагига боғлиқлигини таҳлил қилиш, кристалл панжарада ҳосил бўлган бирикмалар турини баҳолаш ва Mo(100), W(100) сиртий қатламларидаги киришма атомларнинг жойлашишини аниқлаш.

-Кислород ва углерод киришмали атомлари мавжуд бўлган Mo(100), W(100) монокристалларига юқори температурада термоишлов берилгандаги, намуна сиртларининг кристалл панжаралари моделини ишлаб чиқиш.

-W(100), Al(100), Si(100) монокристалларини ионлар ва электронлар дастаси билан бомбардимон қилиш жараёнида олинган Оже-спектрларни таққослаб ўрганиш.

-Киришма ва асосий материал сирти атомлари ўртасидаги кимёвий боғланишларнинг ҳосил бўлиши бўйича олинган тажриба натижаларини назарий йўл билан ҳисобланган катталиклар билан солиштириш.

Тадқиқот объекти ва предмети: Монокристаллар Mo(100), W(100), Al(100), Si(100) сиртидан чиққан Оже-электронларнинг ориентацияга ва бурчакка боғлиқлигини ион ва электрон Оже-спектроскопия усуллари ёрдамида ўрганиш.

Тадқиқот методлари. Электрон ва ион Оже-спектроскопия усуллари, Оже-ўтишлар энергиясини ҳисоблаш учун Хартри-Фок усулидан фойдаланилди.

Ҳимояга олиб чиқилаётган асосий ҳолатлар:

1. Қаттиқ жисм сиртини электрон Оже-спектроскопия усулида ўрганиш натижаларнинг сифати ва аниқлигини ошириш учун моноэнергетик дастага эга бўлган электрон (300эВ – 5кэВ) ва ион манбаларини (1кэВ-20кэВ) ишлаб чиқиш. Ток кучи $I = 1 \div 10 \mu\text{A}$ ва $I = 0,5 \div 1 \mu\text{A}$ бўлган электронлар ва ионлар манбаига эга бўлган такомиллаштирилган юқори вакуумли қурилма. Бир тажриба мобайнида олти намунани ўрганиш имконини берувчи такомиллаштирилган манипулятор.

2. Ион емирилиш ва юқори температурали тозалаш жараёнида монокристаллар Mo(100), W(100), Al(100), Si(100) ва саноатда ишлаб чиқарилган мис намуналари сиртларининг элементар таркиби ва кимёвий ҳолатидаги аниқланган ўзгаришлар. Сиртга тушаётган бирламчи электронлар дастасининг тушиш бурчаги ва кристаллнинг азимутал бурилиш бурчакларининг ўзгариши жараёнида киришма ва асосий материал атомлари Оже-чўққилари интенсивлиги ўзгаришининг ўрнатилган қонуниятлари.

3. Электрон Оже-спектрларнинг бурчак боғланишлари таҳлиliga асосланган киришма атомларининг монокристалл сирти кристалл панжараларида жойлашишини аниқлаш услуги. Mo(100), W(100) ни юқори температурали тозалаш жараёнида ҳажмдан сиртга диффузия йўли билан чиқадиган киришма элементлар атомларининг асосий намуна атомлари билан кимёвий боғланишлар ҳосил қилишининг, шунингдек кристалл панжара ва ҳосил бўладиган бирикмалар турини баҳолаш бўйича ўтказилган тадқиқот натижалари.

4. Юқори температурали ишлов бериш жараёнида монокристалларнинг сирт қатламларида ҳосил бўладиган молибден ва вольфрам оксидларининг кристалл панжарасида кислород атомининг октаэдриқ ҳолатдаги жойлашуви. $\text{Mo}(100)$, $\text{W}(100)$ монокристалларини юқори температурали қиздириш жараёнида, намуна ҳажмида мавжуд бўлган баъзи киришмали элемент атомлари диффузия йўли билан ҳажмдан сиртга чиқади ва сиртда MoO , MoO_2 , WO , WO_2 ва бошқа турдаги оксидлар ҳосил қилиши.

5. $\text{W}(100)$, $\text{Al}(100)$, $\text{Si}(100)$ монокристалларини ионлар ва электронлар билан бомбардимон қилиш жараёнида олинган Оже-спектрларнинг таққослаб ўрганиш натижалари. Электрон ва ион Оже-спектрлари структураларининг бир-биридан фарқланишга олиб келувчи, ион уйғотилиш натижасида Оже-спектрда янги чўққиларнинг пайдо бўлиши ва асосий чўққиларнинг иккига бўлиниш сабаблари кўрсатилди. Қўшимча чўққиларнинг пайдо бўлиши SiO , SiO_2 , AlO , Al_2O_3 юпқа оксид қатламларининг пайдо бўлиши билан тушинтирилди.

6. Сиртдаги асосий атомлар билан киришма элементлар атомлари орасидаги тажрибада ўрганилган (ион Оже-спектроскопия усули) кимёвий боғланишларнинг ҳосил бўлишини Хартри-Фок усулида назарий йўл билан ҳисобланган энергияларга мос келиши.

7. Ўзбекистондаги ва Россиядаги турли заводларда ишлаб чиқарилган мис сиртини электронлар билан бомбардимон қилганда олинган Оже-спектрдаги асосий ва киришма элемент атомлари концентрациясини ва уларнинг кимёвий ҳолатини аниқлаш бўйича олинган тажриба натижалари.

Илмий янгилиги:

1. Илк маротаба Mo ва W монокристаллари, миснинг саноат намуналари сирт соҳасидаги киришма элементлар атомлари ҳолати, шунингдек уларнинг сирт кристалл панжарасидаги жойлашиши тадқиқ қилинди.

2. Илк маротаба Mo ва W монокристалларининг Оже-спектрларидаги асосий ва киришма элементлар атомлари Оже-чўққилари интенсивлиги ўзгаришининг бирламчи электронлар дастасининг тушиш бурчагига ва намунанинг азимутал бурилиш бурчагига боғлиқлиги ўрганилди.

3. $\text{Mo}(100)$ ва $\text{W}(100)$ сиртларининг кристалл панжара тугунлари оралиғида жойлашган кислород ва углерод атомларининг кристалл атомлари билан октаэдриқ ҳолатда бўлиши аниқланган.

4. Илк маротаба бир хил тажриба шароитида вольфрам, алюминий ва кремний монокристалларини электронлар ва ионлар билан бомбардимон қилиш жараёнида олинган Оже-спектрларнинг қиёсий таҳлили амалга оширилди. $\text{W}(100)$ кристаллини ион Оже спектридаги асосий Оже-чўққиларнинг интенсивлиги камайиши, ярим кенлиги ортиши ва энергетик ҳолатларини ўзгариши квазимолекула ҳосил қилиши билан тушунтирилди.

5. Илк маротаба кремний ва алюминий монокристалларини ионлар билан бомбардимон қилиш натижасида олинган Оже-спектрлардаги L_{23} VV Оже чизиклари яқинида қўшимча чўққилар пайдо бўлишининг механизми аниқланди. Қўшимча чўққиларнинг пайдо бўлиши SiO , SiO_2 , AlO , Al_2O_3 юпқа оксид қатламларининг пайдо бўлиши билан тушинтирилади. Қўшимча чўққиларнинг пайдо бўлиши релятивистик тузатишларни ҳисобга олган ҳолда Хорти-Фок яқинлашиш усули орқали назарий йўл билан тушунтирилди.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Вольфрам ва молибден монокристалларини электронлар билан бомбардимон қилиш натижасида олинган Оже-спектрлар ўрганилди. Кристалл панжара кимёвий таркибида киришма элементлар атомларининг мавжуд бўлиши муҳим аҳамиятга эга бўлса ҳам, уларнинг кристалл панжарада жойлашуви илмий нуқтаи назардан сирт хусусиятининг ўзгариши уни тушунишда муҳим рол ўйнайди. Мазкур ишда қўлланилган кичик бурчакли Оже-спектрометр ва назарий ҳамда амалий ҳисоблашлар, амалий нуқтаи назардан қаттиқ жисмнинг кимёвий ҳолатини таҳлил қилиш имкониятини беради. Ҳозирги пайтда бизнинг Республикамизда ишлаб чиқарилаётган металлларнинг кимёвий таркибини ўрганиш долзарб муаммо ҳисобланади. Шу сабабли чиқарилаётган маҳсулотлар таркибини таҳлил қилиш бўйича бир неча металлургия заводлари билан ҳамкорликда ишлар олиб борилмоқда. Бундан ташқари, диссертацион ишнинг методик асослари ва асосий илмий хулосалар бу соҳада иш олиб бораётган илмий текшириш институтлари ва олий ўқув юр்தларининг илмий ва ўқув фаолиятида муҳим аҳамият касб этади.

Натижаларнинг жорий қилиниши. Ҳозирги кунда Республикамизда фаолият олиб бораётган кабел заводларида ингичка толали кабелларни тайёрлаш долзарб муаммо ҳисобланади. Шу сабабли кабел заводларида ишлатиладиган рангли металлларнинг кимёвий таркибини электрон Оже-спектроскопия усулида таҳлил қилиб берилди ва берилмоқда. Олинган натижалар асосида илмий ва амалий жиҳатдан зарур бўлган тавсиялар берилди. Бу рангли металлларнинг кимёвий таркибини ўрганиш муҳимдир, чунки уларнинг кимёвий таркибидаги айрим киришмали элементлар концентрациясининг ортиб кетиши, рангли металлларнинг электр ва механик хусусиятларини кескин ўзгартириб юборади. Бундан ташқари, Республикамиздаги бир нечта металл ишлаб чиқарувчи комбинатлардаги металлларнинг кимёвий таркиби мазкур диссертацияда қўлланилган усулларда таҳлил қилинди.

Ишнинг синовдан ўтиши. Диссертациянинг асосий мазмуни ЎЗР ФА Электроника институти, ЎЗМУ, ТДТУ илмий семинарларида ҳамда, “Взаимодействие ионов с поверхностью, ВИП-2003., ВИП-2005., ВИП-2007. Звенигород, Россия.”, “Фундаментальные и прикладные вопросы физики ” 27-28ноябр 2003й., 18-19 ноябр 2004 й Тошкент., “Физикавий электроника”

2-4 ноябр 2005й., Тошкент., мавзусидаги Халқаро ва Республика илмий анжуманларида маъруза қилинган.

Натижаларнинг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича 13 та илмий иш, шу жумладан, илмий журналларда 4 та мақола, Халқаро ва Республика илмий анжуманларда 9 та маърузалар тезиси нашр этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, 4 боб, хулоса ва 111 адабиётдан ташкил топган. Иш 135 бетдан, 36 расмдан ва 5 жадвалдан иборат.

2. ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида тадқиқот мавзусининг долзарблиги, мақсад ва вазифаси, илмий янгилиги ва унинг амалий аҳамияти ёритилган.

Биринчи бобда электронлар ва ионлар билан кристалларни бомбардимон қилганда чиққан Оже-электронларнинг ориентацияга боғлиқлик эффектлари тадқиқотига бағишланган экспериментал ва назарий ишларга қисқача шарҳ берилган. Сўнгги йилларда модда сиртининг элемент таркиби, кимёвий ҳолати, кристалл ва электрон структурасини ўрганишда янги усуллар ишлаб чиқилмоқда ва мавжуд усуллар такомиллаштирилмоқда. Ҳозирги вақтда қаттиқ жисм сирт диагностикасининг энг кенг тарқалган усулларида бири электрон Оже-спектроскопия усулидир. ЭОС бу металл, ярим ўтказгичлар ва диэлектриклар сирти ва сиртга яқин қатламларнинг кимёвий таркибини таҳлил қилувчи энг сезгир, сиртнинг физик ҳолатини деярли бузмайдиган усуллардан бири ҳисобланади.

Қийин эрийдиган металллар, ярим ўтказгичлар ва диэлектрикларни электронлар билан бомбардимон қилганда олинган Оже-спектрларнинг таҳлили келтирилган. Олинган натижалардан хулоса қилиб, уларнинг кимёвий таркибида бир қанча киришмали элементларнинг мавжудлиги аниқланди. Баъзи муаллифлар томонидан қаттиқ жисм сиртига тушаётган бирламчи электронлар энергиясини ва нишонни турли бурчакларга ўзгартирганда олинган Оже-спектрларнинг бир-биридан фарқ қилишини аниқлаган бўлсалар, баъзилари ҳар хил қотишмаларни электронлар билан бомбардимон қилганда олинган Оже-спектрлар таҳлил қилган. Ўрганилган ишлардан келиб чиқиб, биз қийин эрийдиган металлларни электронлар билан бомбардимон қилиш натижасида олинган Оже-спектрлардаги айрим киришмали атомларнинг Оже-чўққилари ўзгаришининг, кристаллнинг ориентация ва азимутал бурчакларига боғлиқлигини ўрганишни мақсад қилдик. Чунки, уларнинг элементар таркибидаги киришмали элементларнинг кристалл панжарада жойлашуви ўрганилмаган.

Сўнгги йилларда электрон Оже-спектроскопия усули билан бир вақтда ион Оже-спектроскопия усули ҳам жадал ривожланиб бормоқда. Ҳозирги кунгача ион Оже-спектроскопия усулининг аниқ бир механизми ишлаб чиқилмаган. Ион Оже-спектроскопия усулининг электрон Оже-

спектроскопия усулидан фарқи шундаки, ион Оже-спектрларда сони чекланган Оже- чўққилар кузатилади. Масалан германий элементининг Оже-спектрида куйидаги чўққилар мавжуд: $M_{4,5}VV$ (22 эВ), $M_1M_{2,3}M_{4,5}$ (47эВ), $M_1M_{2,3}V$ (52 эВ), $M_{2,3}M_{4,5}V$ (88 эВ), $M_{2,3}VV$ (106 эВ); ион Оже- спектрда эса фақат битта чўққи кузатилади $M_{4,5}VV$. Қаттиқ жисм ионлар ва электронлар билан бомбардимон қилинганда олинган Оже-спектрларнинг бир-биридан фарқ қилиши экспериментда кузатилган. Ион Оже спектроскопияда Оже-электронлар қаттиқ жисм ичида ҳаракат қилувчи атомдан чиқади деган ғоя таклиф этилган ва шунга мос спектрлар ҳаракатдаги заррачанинг электрон структурасини тасвифлайди. Бундан ташқари ион - электрон эмиссия ходисаси назарий йўл билан ҳам ўрганилган. Қаттиқ жисмларга ўрта энергияли ионлар таъсир қилганда бирламчи зарралар энергиясининг бир қисми нишон атомидаги электронларга узатилади. Бу жараён икки босқичдан иборат бўлиб, биринчи ҳолда ионларнинг кинетик энергияси электронларни кўзгатади ва атом қобиғида вакансия (бўшлиқ) ҳосил қилади. Бу бўшлиқ қобиқлардаги электронлар билан тўлдирилади, шу вақтда ΔE энергия ажралиб чиқади. Ажралган энергия бошқа валент соҳа электронига узатилади ва у қаттиқ жисмдан чиқиб кетади. Мазкур тадқиқотда ушбу эффект ҳисобга олинган ҳолда қатор қаттиқ жисм монокристалларини ионлар билан бомбардимон қилиш натижасида олинган Оже-спектрлар таҳлил қилинди.

Иккинчи боб электрон Оже-спектрометр қурилмаси, ўлчаш асбоблари ва тадқиқот усулларига бағишланган бўлиб, шу билан бирга бу бобда универсал Оже-спектрометр қурилмасининг (электростатик анализатор, электронлар манбаи, ионлар манбаи) тузилиши ёритилган.

Қурилма иккита цилиндрик камерадан иборат бўлиб, унинг барча деталлари номагнит зангламайдиган металллардан ясалган.

Юза- Рожанский типдаги электростатик анализатор Оже-спектрометр қурилмасининг юраги ҳисобланади, чунки айнан у сиртдан чиққан электронларни энергиялар бўйича тақсимлаб ажратади. Оже-спектрометр камерасига ўрнатилган конденсатор куйидаги параметрларга эга: мувозанатли траектория радиуси $R_0=100$ мм, бурилиш бурчаги $\varphi = 127^\circ$. Пластикаларнинг эни 40 мм, анализаторнинг кириш ва чиқиш тирқишлари кенглиги ўзаро тенг бўлиб $\Delta\gamma_1 = \Delta\gamma_2 = 0,15$ мм ни ташкил қилади. Бундай анализаторнинг энергия бўйича нисбий ажратиш қобилияти $\frac{\Delta E}{E} = \frac{2\Delta\gamma}{R_0} = 0,3\%$

га тенг.

Нишонни бир хил энергияли, монохроматик электронлар дастаси билан бомбардимон қилиш мақсадида ЎзРФА Электроника институтининг ориентацион ҳодисалар физикаси лабораториясида яратилган оғдирувчи конденсаторли электростатик линза ёрдамида электронлар дастасини фокусловчи электронлар манбаидан фойдаланилди. Электрон манба ёрдамида дастанинг ўлчами 0,3 – 0,5мм ва энергияси 300 – 5000 эВ бўлган фокусланган электронлар дастасини олиш мумкин. Бирламчи электронлар

дастасининг токи $(1 \div 10) \cdot 10^{-6}$ А га тенг қилиб ушлаб турилади. Камерада яна ионлар манбаи ҳам мавжуд.

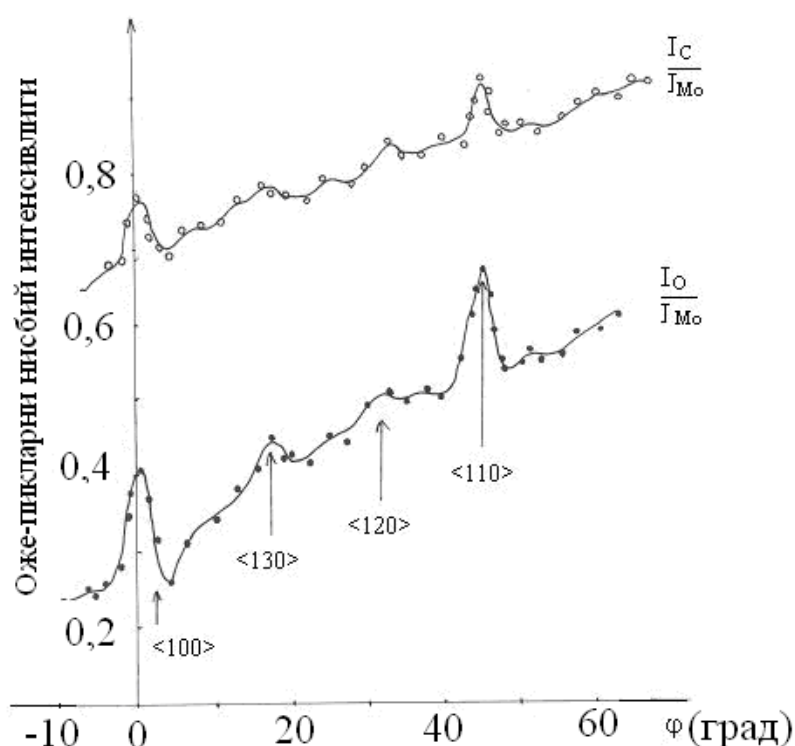
Иккиламчи электронлар эмиссияси ҳодисасига алоҳида эътибор берилган, чунки қаттиқ жисм сиртини электронлар билан бомбардимон қилганда сиртдан бир қанча турдаги электронлар, хусусан ҳақиқий иккиламчи электронлар, Оже- электронлар, ноэластик қайтган электронлар, эластик қайтган электронлар ва характеристик энергия йўқотган электронлар ажралиб чиқади. Уларнинг бир-биридан фарқи ёритилган.

Электронлар ва ионлар дастаси таъсирида кристаллардан чиққан Оже-электронларнинг энергетик спектрларини олиш ва тадқиқ қилиш усуллари ёритилган. Иккинчи боб Оже-электронларнинг ўлчашдаги хатоликлар билан якунланган.

Учинчи бобда қийин эрийдиган металллар молибден ва вольфрам монокристалларини электронлар дастаси билан бомбардимон қилганда чиққан Оже-электронларнинг ориентация ва азимутал бурчакларга боғлиқлиги ўрганилган.

Молибден ва вольфрам монокристалларини электронлар билан бомбардимон қилиш натижасида олинган Оже-спектрлардаги киришмали элемент атомларининг Оже-чўққилари интенсивлиги ўзгаришини кристалл ориентациясига боғлиқлиги экспериментал ўрганилди. Мо (100) монокристаллини, тушиш бурчаклари (ϕ) ва бошланғич энергияси $E_0=2800$ эВ бўлган бирламчи электронлар дастаси билан бомбардимон қилганда, олинган Оже-спектрлар таҳлил қилинди. Молибден монокристаллининг кимёвий таркибида (C, N, O, S, Fe, Co, Ni) каби киришмали элементларнинг атомлари борлиги аниқланди, уларнинг концентрацияси жуда кичик. Бирламчи электронларнинг тушиш бурчаги ўзгартирилганда, асосий (Мо) Оже-чўққилар ҳамда киришмали элемент атомлари Оже-чўққилари интенсивлигининг ҳам ўзгариши аниқланди. Молибден учун аниқланган киришмали атомлар ичида энг зарарлилари кислород ва углерод ҳисобланади. Кислород ва углерод концентрацияларининг ортиши металлнинг қатор физик хоссаларига ёмон таъсир кўрсатади. Бундан ташқари уларнинг кристалл панжарада жойлашуви (унинг кимёвий ҳолати) кристаллнинг хусусиятларини ўзгартиради. 1-расмда Мо монокристалига турли хил бурчакларда электронлар дастаси туширилганда, сиртдан чиққан киришмали элементларнинг (O ва C) Оже-чўққилари интенсивлигининг ўзгариши кўрсатилган. 1-расмдан кўриниб турибдики, кислород ва углерод Оже-чўққиларининг интенсивлиги, тушиш бурчагига текис боғлиқ эмас экан. Графикда бир қатор максимум ва минимумлар мавжуд. Кислород Оже-чўққи учун бу максимум ва минимум чўққилари жуда аниқ билинади. Тушиш бурчаклари $\phi=0^\circ$, $\phi=45^\circ$ бўлганда асосий максимумлар, $\phi=18^\circ$, $\phi=33^\circ$, $\phi=65^\circ$ бўлганда эса иккинчи даражали максимумлар кузатилди. Графикда максимумларининг бурчак бўйича жойлашиш таҳлили ва уларни кристаллнинг $\langle 100 \rangle$ текислигининг проекцияси билан солиштириш,

максимумларнинг $\langle 100 \rangle$; $\langle 130 \rangle$; $\langle 120 \rangle$ ва $\langle 110 \rangle$ кристалл қирралари йўналишларида кузатилишини кўрсатади. Кўрсатилган йўналишларда, айниқса $\langle 100 \rangle$ ва $\langle 110 \rangle$ да молибденинг ҳажмий марказий панжарасида кристаллографик каналлар очилади. Бу йўналишларда кристалл шаффоф бўлади ва тушган электронлар дастаси эффектив ютилади. Бундан кислород ва углерод Оже-чўққилари интенсивлигининг кескин ортиши, кислород ва углерод атомларининг $\langle 100 \rangle$, $\langle 110 \rangle$ йўналишларда катта концентрацияда $1/2$, $1/2$, 0 координаталарда октаэдрик позицияларда жойлашган деб хулоса қилиш мумкин. Кислород (ёки углерод) атомларининг бундай жойлашувида кристалга ютилган электронлар дастасининг, кислород (ёки углерод) атомлари билан ўзаро таъсир қилиш эҳтимоллиги ошади ва улардан чиққан Оже-электронлар сони ортади.

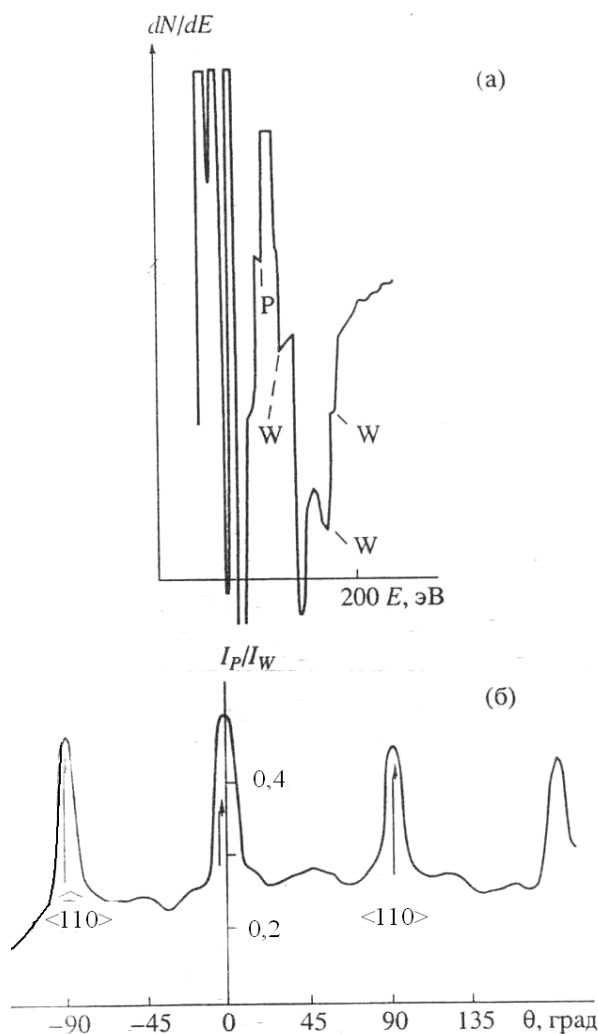


1-расм. Киришмали елеменлар кислород ва углерод (О ва С) атомлари Оже- чўққилари интенсивлигини электронларнинг тушиш бурчагига боғликлги

Мо ва W монокристалларининг кимёвий таркибидаги киришмали элементларнинг Оже-электронлар эмиссияси анизатропиясини аниқроқ кузатиш мақсадида, бирламчи электронларнинг тушиш бурчагини ўзгартирмаган ҳолда, кристаллнинг азимутал бурилиш бурчагини ўзгартирилди.

2(а)-расмда вольфрам монокристалини бирламчи электронлар билан бомбардимон қилинганда олинган Оже-спектр келтирилган. Вольфрам монокристаллининг кимёвий таркибида бир қанча киришмали элементлар мавжуд (Р, С, О, ...) бўлиб, уларнинг концентрацияси жуда кичик. Вольфрам

учун топилган киришмали атомлар ичида энг зарарлиси фосфор (P), кислород (O) ва углерод (C) ҳисобланади. Бу каби киришмали атомларнинг мавжудлиги кристалда бир қанча нуқсонлар ҳосил бўлишига олиб келади. Бу киришмали атомларнинг кристалл панжаранинг қаерида жойлашганлиги ўта муҳим ҳисобланади, шу сабабли биз кристалнинг кимёвий таркибидаги киришмали атомлар Оже-чўққилари интенсивлигининг ўзгаришини, намунани ўз ўқи атрофида азимутал бурилиш бурчакларига боғлиқлигини ўргандик.



2-расм. W(100) монокристаллининг электрон Оже-спектрлари. а) $E_0 = 2800$ эВ, $\varphi = 45^\circ$; б) кристаллнинг азимутал бурилиш бурчаги ўзгартирилганда, P-Оже-чўққи интенсивлигининг ўзгариши

2(б)-расмда W монокристаллининг кимёвий таркибидаги киришмали элемент ҳисобланган фосфор Оже-чўққи интенсивлигининг кристалнинг азимутал бурилиш бурчагига боғлиқлиги кўрсатилган. Бирламчи электронлар дастасининг йўналиши, кристалл панжаранинг кичик индексли кристаллографик йўналиши ёки кристалл текисликлари билан мос келган азимутал бурчакларида фосфор elementi Оже-чўққининг интенсивлиги, W

Оже-чўққининг интенсивлиги каби ошади. Бу эса ўз навбатида фосфор Оже-чўққининг анизотропиясидан, унинг атомлари вольфрам монокристаллини $\langle 110 \rangle$ қиррасида жойлашганлиги октаэдрик кристалл панжара ҳосил қилишини кўрсатади.

Вольфрам ва молибден монокристалларининг кимёвий таркибида кислород элементи атомларининг мавжудлиги, айниқса уларнинг кристаллнинг элементар ячайкасида октаэдрик ҳолатида жойлашганлиги, бу шароитда кислород атомларининг бир қисми кристалл атомлари билан кимёвий брикиши мумкин деган фикрга олиб келади. Вольфрам ва молибден монокристалларини электронлар билан бомбардимон қилганда олинган спектрларни ўрганиш жараёнида биз Мо ни 27 эВ (Оже- ўтиш қобиклари $N_1, N_{2,3}, N_{4,5}$), W ни 36 эВ (Оже- ўтиш қобиклари $O_2, O_{4,5}, O_{4,5}$) кичик энергияли Оже-чўққиларининг қўшимча чўққиларига эътиборни қаратдик. Қўшимча Оже-чўққиларнинг ҳосил бўлишига сабаб, бизнинг фикримизча молибден ва вольфрам монокристалларини юқори температураларда киздирганимизда (2000-2400 К) намуна ҳажмидаги айрим киришмали элементлар атомларининг намуна сиртига диффузия йўли билан чиқади.

Бунинг натижасида улар намуна атомлари билан кимёвий бирикишлар ҳосил қилади. Молибден ва вольфрам атомлари киришмали элемент атоми ҳисобланган кислород атомлари билан кимёвий бирикиб, ҳар хил MoO , MoO_2 , WO , WO_2 оксидларни ҳосил қилади. Шу сабабли, асосий Оже-чўққилар олдида қўшимча Оже-чўққилар вужудга келади. Бундан ташқари намунага термо- ишлов (қиздирилганда) берилганда, намуна таркибидаги водород ва кислород атомларининг ўзаро кимёвий бирикиши натижасида сув молекулалари ҳосил бўлади ($2H+O=H_2O$). Бу молекулалар кристалл тугунлари оралиғида жойлашиб қолиб, кристалл тугунларидаги атомларнинг бир-бири билан ўзаро таъсир кучининг ўзгаришига олиб келади. Амалий жиҳатдан намунани коорозияга (занглашга, емирилишга) олиб келади.

Бир атом бошқа атом билан кимёвий боғланиш ҳосил қилганда Оже-чўққининг кимёвий силжиши, масалан Мо учун LMN Оже- ўтиш қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$\Delta E_{хим}(Z) = E_L(Z) - E_M(Z) - E_N(Z) - \{ [E_L(Z) + \Delta E_L(Z)] - [E_M(Z) + \Delta E_M(Z)] - [E_N(Z) + \Delta E_N(Z)] \} = \Delta E_L(Z) + \Delta E_M(Z) + \Delta E_N(Z) \quad (1)$$

бу ерда $E_L(Z)$, $E_M(Z)$, $E_N(Z)$ – LMN қобикдаги электронлар энергияси.

$\Delta E_L(Z)$, $\Delta E_M(Z)$, $\Delta E_N(Z)$ – бир элемент атомининг иккинчи элемент атоми билан кимёвий боғланганда электронлар энергиясини ўзгариши.

(1) – ифода ёрдамида кимёвий силжишлар катталигини аниқ аниқлай олмаймиз, чунки электронлар энергетик сатҳларининг ўзгаришини тўлиқ билмаймиз. Шу сабабли, бир атомни иккинчи атом билан ион типиди

кимёвий боғланган деб ҳисоблаб, унинг эффектив заряди ўзгариши ёрдамида кимёвий силжишини ҳисоблашимиз мумкин.

Мо атоми кислород атоми билан кимёвий боғланиш ҳосил қилган ҳолати учун қуйидаги ифодани ёзиш мумкин:

$$\Delta E_{хим}(Mo \rightarrow MoO_{n-1}) \approx \frac{\Delta E (Mo \rightarrow MoO_n) \Delta Z_{эфф}(Mo \rightarrow MoO_{n-1})}{\Delta Z (Mo \rightarrow MoO_n)} \quad (2)$$

бу ерда $\Delta E (Mo \rightarrow MoO_n)$ ва $\Delta E_{хим}(Mo \rightarrow MoO_{n-1})$ – Мо элементини О элементи билан кимёвий бирикиш ҳосил қилган ҳолда Оже-чўққининг силжиши. $\Delta Z (Mo \rightarrow MoO_n)$ ва $\Delta Z_{эфф} (Mo \rightarrow MoO_{n-1})$ – Мо атомларининг кимёвий бирикишларида эффектив зарядларининг ўзгариши.

Тўртинчи бобда қаттиқ жисмлар сиртини ионлар ва электронлар билан бомбардимон қилганда олинган Оже-спектрлар таққослаб ўрганилган. Қаттиқ жисмлар сиртини ион ва электронлар дастаси билан бомбардимон қилиш натижасида олинган Оже-спектрлар бир–биридан кескин фарқ қилади. Оже-спектрдаги Оже-чўққилар ярим кенглигининг кенгайиши, Оже-чўққилар энергия ҳолатининг ўзгариши, Оже-чўққилар интенсивлигининг ўзгариши ва қўшимча чўққиларнинг пайдо бўлиши билан фарқ қилади. Тажрибада қийин эрувчи металлар вольфрам, рангли металл алюминий, ярим ўтказгич кремний монокристалларини бошланғич энергияси $(3 \div 10)$ кэВ соҳада бўлган ионлар (Ar^+ , K^+) ва бирламчи электронлар билан бомбардимон қилиш натижасида олинган Оже-спектрларни таққослаб таҳлил қилинди. Вольфрам монокристалли (100) қиррасини $E_0=5$ кэВ энергияли бирламчи электронлар билан бомбардимон қилиш натижасида олинган Оже-электронлар спектрида 135эВ, 164эВ, 170 эВ ва 182 эВ энергияга эга бўлган вольфрам атомининг тўртта ҳарактерли Оже-чўққилари пайдо бўлар экан. Бундан ташқари энергиянинг кичик қийматлари соҳаси спектрида яна иккита 38 эВ ва 52 эВ энергияли юқори интенсивликка эга бўлган вольфрам атомларидан чиққан Оже- чўққилар кузатилди.

Худди шундай Оже-электронлар спектри вольфрам монокристаллининг (100) қиррасини $E_0=5$ кэВ энергияли Ar^+ ионлари дастаси билан бомбардимон қилиш натижасида ҳам олинди. Ион бомбардимон қилиш натижасида олинган Оже-чўққиларнинг шакли, электронлар билан бомбардимон қилиш натижасида олинган Оже-чўққиларнинг шаклидан фарқ қилади. Ионлар билан бомбардимон қилиш натижасида олинган Оже-спектрдаги 164 эВ, 170 эВ ва 182 эВ энергияли Оже-чўққиларнинг ярим кенглиги бир мунча кенг бўлади ва интенсивлиги кичиклашди.

Тушаётган ионлар энергиясининг ортиши Оже- чўққилар кенглигининг ортишига, тушиш бурчагини ўзгариши эса, Оже- чўққилар интенсивлигининг анизатропик ортишига олиб келар экан. Агарда бирламчи ионлар

дастасининг йўналиши монокристалнинг Миллер индексли ўқлари билан устма – уст тушса, Оже- чўққиларнинг кенглиги тораяди.

Олинган тажриба натижаларидан бизда, улар фақатгина қаттиқ жисмдаги (монокристаллардаги) атомларнинг Оже-ғалаёнланиши туфайли эмас, балки металдан ташқарида ҳам заррачаларнинг чангланиши, яъни мусбат ва манфий чангланган ионлар туфайли ҳосил бўлиши ҳам мумкин деган фаразга олиб келади.

W монокристали ионлар дастаси билан бомбардимон қилинганда, кристалл атомлари билан ионлар қаттиқ жисм сиртида квазимолекула ҳосил қилади, бу эса ўз навбатида электрон қобиклари энергиясининг ўзгаришига олиб келади, шу вақтда Оже-электронлар ажралиб чиқади. Кристалл атомлари ва тушаётган ионлар квазимолекула ҳосил қилганда Оже-электронлар асосан ташқи қобиклардан ажралади. Бундан ташқари, қаттиқ жисм сиртини ионлар дастаси билан бомбардимон қилганда, қаттиқ жисм сиртидан ҳар-хил турдаги зарядланган заррачалар ажралиб чиқади. Ажралиб чиққан зарядланган заррачаларнинг мусбат ва манфий ионлари, электрон қобиклари энергиясининг ўзгариши натижасида, вакуумда бу мусбат ва манфий ионлардан ҳам Оже-электронлар учиб чиқади, яъни Оже- релаксация ҳодисаси содир бўлади.

3–расмда кремний (Si) кристаллини электронлар ва ионлар (8 кэВ энергияли Ag^+ ионлари) дастаси билан бомбардимон қилиш натижасида олинган Оже-электронларнинг икки спектри келтирилган. Олинган спектрлардан кўринадик, кристалли электрон ва ион дастаси билан бомбардимон қилиш натижасида олинган Оже-спектрлар бир–биридан фарқ қилади.

Кристалли электронлар дастаси билан бомбардимон қилиш натижасида олинган Оже- электрон спектрида битта асосий кремний Оже- чўққиси борлиги расмдан кўриниб турибди. Унинг энергияси 91 эВ га тенг (Оже-ўтиш -LVV). Кристалли Ag^+ ионлари билан бомбардимон қилганда, асосий Оже- чўққининг кенгайганлигини, интенсивлигининг камайганлигини ва бундан ташқари биз учун ноъмалум бўлган қўшимча чўққиларнинг пайдо бўлганлиги расмдан кўриниб турибди. Бизнинг фикримизча спектрда кузатилган асосий Оже- чўққининг иккиланиши (қўшимча чўққининг ҳосил бўлиши) бу SiO ёки SiO₂ каби кимёвий бирикмаларнинг пайдо бўлиши билан боғлиқдир, чунки ион бомбардимон жараёнида одатда сиртнинг маълум бир қисми (ион тушган ўрни) қизийди, бу эса унинг оксидланишига олиб келади.

Тажрибада кузатилган ҳодисага асосланиб қуйидаги фикрларни илгари суриш мумкин; қаттиқ жисм атомларини ионлар дастаси билан бомбардимон қилиш натижасида, олинган Оже- спектрдаги Оже- чўққиларнинг кенгайиши ва силжиши мусбат ва манфий ионлар Оже-ғалаёнланиш жараёнлари билан боғлиқ. Кузатилган ҳодисалар механизми (хусусан 91эВ энергияли кремний Оже- чўққининг иккига бўлиниши) тўғрисидаги фикрни асослаш мақсадида $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$ конфигурациядаги Оже-электронлар спектридаги Оже-чўққиларнинг силжиши ҳисоблаб чиқилди. Оже-ўтишлар энергиясини

хисоблаш релятивистик тузатмаларни ҳисобга олган ҳолда Хартри – Фок яқинлашишида амалга оширилди.

Ўзгарувчиларни ажратиш яқинлашишида, яъни бир хил n ва l квант сонларига эга бўлган электронлар бир хил тўлқин функциялари билан характерланади деб ҳисобланганда, атом конфигурацияси энергиялари куйидагича ёзилади:

$$E = \sum [Nl(nl) + \sum_k f_k(l^N) F_k(nl, n'l') + (1/2) \sum_{n'l' \neq nl} (\sum_k f_k(l^N, l'^N) E_k(nl, n'l') + \sum_k g_k(l^N, l'^N) G_k(nl, n'l')], \quad (3)$$

бу ерда

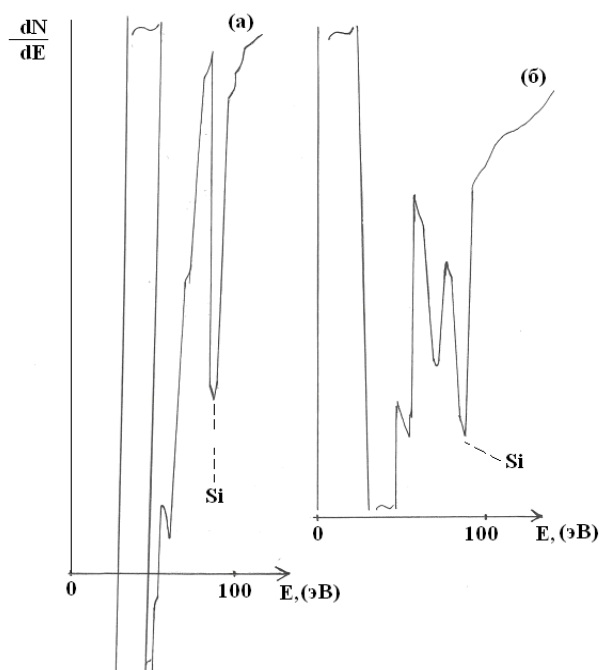
$$I(nl) = -(1/2) \int_0^\infty P(nl|r) \left((d^2/dr^2) + (2z/r) - l(l+1)/r^2 \right) P(nl|r) dr$$

Кинетик энергия интегралли ва ядро билан электростатик таъсир $P(nl|r)$ - nl – қобикдаги электрон тўлқин функциясининг радиал қисми. (3) ифодадаги F_k ва G_k лар электронларнинг тўғри ва ҳажмий ўзаро таъсирларини характерлайди:

$$F_k(nl, n'l') = \int_0^\infty \int_0^\infty (r_<^k / r_>^{k+1}) P^2(nl|r_1) P^2(n'l'|r_2) dr_1 dr_2 \quad (4)$$

$$G_k(nl, n'l') = \int_0^\infty \int_0^\infty (r_<^k / r_>^{k+1}) P(nl|r_1) P(nl|r_2) P(n'l'|r_1) P(n'l'|r_2) dr_1 dr_2 \quad (5)$$

(3) ифодадаги f_k - ва g_k -коэффициентлар $1/n$ операторга эга тўлқин функциясининг бурчак қисмини интеграллаш натижасида пайдо бўлади ва улар умумий ҳолда алоҳида қобиклар ёки умуман барча атом конфигурациясининг орбитал ва спин моментларига боғлиқ бўлади. Бизнинг ҳисоблашлар конфигурациянинг ўртачалаштирилган термлари учун амалга оширилди. 3-расмдан кўринадик, ионлар билан бомбардимон қилиш натижасида олинган Оже-спектрдаги кремнийнинг асосий Оже-чўққи ёнида ҳосил бўлган қўшимча Оже- чўққининг энергияси 76эВ га туғри келади, яъни бу чўққи спектрда кичик энергияли томонга 15 – 16 эВ га силжиган. Назарий ҳисоблашлар шуни кўрсатадики, кремний атоми битта электрон йўқотганда Оже-ўтиш энергияси 13-14 эВ ни ташкил қилади (1 жадвал), бу эса тажрибада кузатилган кремний чўққиларининг силжиш энергияларига яқин.



3-расм. Кремний монокристалини электронлар (а) ва (Ar^+) ионлар (б) билан бомбардимон қилиш натижасида олинган Оже-спектрлар

1 – жадвал.
Кремнийдаги ўтишлар (атом конфигурацияси $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$, энергия-289,44 ат.бир.)

№	Ўтишлар	бошланғич конфигурация ва энергия (ат. бир.)	охирги конфигурация ва энергия (ат.бир.)	ўтиш энергияси фарқи (ат. бир.) ларда	ўтиш энергияси фарқи (эВ) ларда
1.	$L_{2,3}-M_1M_{2,3}$	$1s^2 2s^2 2p^5 3s^2 3p^2$ -285,468	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^1 3p^1$ -288,355	2,887	78,555
2.	$L_{2,3}-M_{2,3}M_{2,3}$	$1s^2 2s^2 2p^5 3s^2 3p^2$ -285,468	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^0$ -288,602	3,134	85,276
3.	$L_{2,3}M_1-$ $M_1M_{2,3}M_{2,3}$	$1s^2 2s^2 2p^5 3s^1 3p^2$ -284,496	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^1 3p^0$ -287,425	2,929	79,698
4.	$L_1-M_1M_{2,3}$	$1s^2 2s^1 2p^6 3s^2 3p^2$ -283,509	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^1 3p^1$ -288,355	4,846	131,859
5.	$L_1-M_1M_{2,3}$	$1s^2 2s^1 2p^6 3s^2 3p^2$ -283,509	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^0$ -288,602	5,093	138,561

3. ХУЛОСА

1. Юқори вакуумли универсал Оже-спектрометр қурилмаси такомиллаштирилди. Бир хил шароитда бир вақтнинг ўзида олти намунани тадқиқ қилиш имконини берувчи манипулятор блоки конструкцияси ишлаб чиқилди. Қурилма Оже-спектрлар структурасининг бирламчи электронлар энергияси ва тушиш бурчагига, ҳамда кристалнинг азимутал бурилиш бурчагига боғлиқлигини батафсил ўрганиш имконини беради.

2. Mo(100), W(100), Al(100), Si(100) кристалларини юқори температурагача қиздириш жараёнида сиртнинг элементар таркиби ва кимёвий ҳолатининг ўзгариши сабаблари аниқланди. Температура ошганда (W - 2500K, Mo- 2500K, Al-650K, Si-1100K) киришмали атомлар ҳажмдан диффузия йўли билан сиртга чиқади ва намуна атомлари билан ҳар хил оксидлар (MoO, MoO₂, WO, WO₂) ҳосил қилади.

3. Илк бор Оже-спектрларнинг ориентацион ва бурчак боғланишларидан фойдаланиб монокристаллар кристалл панжараларида O, C каби киришмали элемент атомларининг жойлашиши аниқланди. $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{2}$, 0 октаэдрик вазиятларда киришмали атомларининг MoO, MoO₂, WO, WO₂ типдаги бирикмалар ҳосил қилишини кўрсатилди.

4. Углерод ва кислород Оже-чўққилари интенсивлигининг бирламчи электронлар дастасининг тушиш бурчаги ва кристалнинг азимутал бурилиш бурчагига боғлиқликларини тадқиқ қилиш натижасида таркибида O ва C каби киришмали атомлари мавжуд бўлган Mo ва W нинг кристалл панжараси модели ишлаб чиқилди. Кристалнинг маълум аниқ бир йўналишларида $\langle 100 \rangle$, $\langle 110 \rangle$ бу элементлар атомларининг концентрацияси ортади ва улар $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{2}$, 0 координатага эга бўлган октаэдрик вазиятда жойлашади.

5. W(100) сиртини электронлар ва ионлар билан бомбардимон қилиш жараёнида олинган Оже-спектрларни қиёсий таҳлил қилиш натижасида асосий чўққиларнинг ҳолати ва шаклида сезиларли фарқ мавжудлиги кузатилди, кузатилган натижалар ионлар билан бомбардимон қилинганда сиртда квазимолекулалар пайдо бўлиши билан тушунтирилади ва бу эса электрон қобиклар энергиясининг ўзгаришига олиб келади. Тўзғитилган мусбат ва манфий ионларнинг электрон қобикларидаги энергиянинг ўзгариши натижасида Оже-ғалаёнланиш содир бўлади ва вакуумда бу ионлардан Оже-электронлар ажралиб чиқади.

6. Илк бор Al(100), Si(100) кристалларининг ион Оже-спектрларидаги L_{2,3} VV асосий чўққиларнинг иккига бўлиниши кузатилди. Ионлар билан бомбардимон қилинганда ионларнинг тушган ўрни қизийди ва натижада шу ерда оксидлар ҳосил бўлади.

7. Хартри-Фок усули ёрдамида кремний оксидлари ҳосил бўлишидаги энергетик ўтишлар назарий йўл билан ҳисобланди. Бу натижалар тажрибада олинган натижаларга мос келди.

8. Илк бор саноат намунаси миснинг таркибидаги асосий ва киришмалар элементар атомлари концентрацияси ва уларнинг кимёвий ҳолатлари аниқланди. Fe, Ni, Ti каби киришмаларнинг концентрацияси 1,5-2% дан ортиши, симларнинг мустаҳкамлик чегарасига ва электр ўтказувчанлигига салбий таъсир қилиши аниқланди.

4. ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ

1. Алиев А. А., Кодиров Т., Абдуваитов А. А., Буриев Ш. К. Сравнительное исследование методами ЭОС и ВИМС состава и химического состояния примесных элементов медной катанки, выпускаемой различными комбинатами СНГ // УФЖ – Ташкент, 2005.- №2. -С.146-150.

2. Алиев А.А., Абдуваитов А.А., Мирзахмедов М. Сравнительное исследование эмиссии оже-электронов при бомбардировке поверхностей твердых тел пучком ионов и электронов // Журнал поверхность – Москва, 2006.- №10.-С.105-109.

3. Алиев А.А., Абдуваитов А.А. Ориентационная зависимость эмиссии оже- электронов от монокристаллов Мо и W бомбардировке их пучком ионов и электронов // УФЖ – Ташкент, 2007.- №6. -С.263-269.

4. Алиев А.А., Абдуваитов А.А., Рузибаева М.К. Исследование эмиссии оже-электронов с поверхности кремния при бомбардировке пучком ионов и электронов // Журнал поверхность – Москва, 2009.- №5.-С.102-105.

5. Алиев А. А., Абдуваитов А.А. Особенности формирования оже-спектров при бомбардировке твердых тел пучком ионов // Российская конф. по Взаимодействие ионов с поверхностью ВИП-2003: Россия., г. Звенигород., 2003. –С. 454-457.

6. Алиев А. А., Кодиров Т., Абдуваитов А. А. Изучение состава профиля и химического состояния примесей на границе раздела полупроводник – диэлектрик, полупроводник –металл методами ЭОС и ВИМС // Фундаментальные и прикладные вопросы физики.:Тез.докл. межд. конф. 27-28 ноября 2003.- Ташкент, 2003.-С.191-193.

7. Алиев А.А., Мирсагатов Ш. А., Музаффарова С.А., Абдуваитов А.А. Исследование примесного состава и химического состояния синтезированных пленок теллурида кадмия CdTe на молибденовых Мо подложках из паровой фазы методом ЭОС // Фундаментальные и прикладные вопросы физики.:Тез.докл. межд. конф. 18-19 ноября 2004.- Ташкент, 2004.- С.211-214.

8. Алиев А. А., Абдуваитов А.А. Исследование ориентационной зависимости эмиссии оже-электронов от монокристаллов Мо и W при бомбардировке их пучком ионов и электронов // XXXV Российская конф. по взаимодействию заряженных частиц с кристаллами: Тез.докл.-М. 30 мая – 1 июнь. 2005.-С.77.

9. Aliev A.A., Abduvaitov A.A. Investigation of impurity composition and chemical state of films of CdTe on Mo substrates synthesized from steam phase using Auger Electron Spectroscopy // ICMAT- 2005. Тез. докл.- Singapore. 3 – 8 July. 2005.-P.103.

10. Aliev A. A., Abduvaitov A. A., Shalimov Z. T. Investigation of orientational dependence of Auger – Electrons emission from the single crystals of Mo and W under bombardment them by electron and ionic beam // XXIV ICPEAC-2005. Тез. докл.- Argentina. 2005.-P.84.

11. Алиев А.А., Абдувайтов А.А. Сравнительное исследование эмиссии оже-электронов при бомбардировке поверхностей твердых тел пучком ионов и электронов // Российская конф. по Взаимодействию ионов с поверхностью ВИП-2005: Россия., г. Звенигород., 2005. -С. 519-522.

12. Алиев А.А., Абдувайтов А.А. Исследование ориентационной зависимости эмиссии оже-электронов от монокристаллов Мо и W при бомбардировке их пучком ионов и электронов // UzPEC-4: Тез. докл. респ. науч. 1-3 ноября 2005.-Ташкент, 2005.-С.58.

13. Алиев А.А., Абдувайтов А.А. Исследование ориентационной зависимости эмиссии оже электронов с поверхности кремния при бомбардировке пучком ионов и электронов // Российская конф. по Взаимодействию ионов с поверхностью ВИП-2007: Россия., г. Звенигород., 2007. -С. 112-115.

**Физика-математика фанлари номзоди илмий даражасига талабгор
Абдувайитов Акбаржон Абдумажитовичнинг 01.04.04-физикавий
электроника ихтисослиги бўйича «Турли табиатли материаллар
сиртидан чиққан Оже-электронларнинг ориентацияга боғлиқлигини
ион ва электрон Оже-спектроскопия усуллари ёрдамида ўрганиш»
мавзусидаги диссертациясининг**

РЕЗЮМЕСИ

Таянч сўзлар: электрон Оже-спектроскопия, ион Оже-спектроскопия, Оже-электрон эмиссия, Оже-чўққи, ионлар дастаси, электронлар дастаси, Оже- ўтиш, Оже- релаксация, Хартри-Фок усули, каттик жисмдаги нуқсон.

Тадқиқот объекти: монокристаллар Mo(100), W(100), Al(100), Si(100) сиртидан чиққан Оже-электронларнинг ориентацияга ва бурчакка боғлиқлигини ион ва электрон Оже-спектроскопия усуллари ёрдамида ўрганиш.

Ишнинг мақсади: монокристаллар Mo(100), W(100), Al(100), Si(100) сиртидаги киришмали атомлар таркибини ўрганиш, уларнинг кристалл панжарадаги жойлашувини аниқлаш, электрон ва ион Оже-спектрларни таққослаб ўрганиш ва ионлар билан бомбардимон қилиш жараёнида Оже-чўққилар шакли ва интенсивлиги ўзгаришига олиб келувчи асосий сабабларни аниқлаш.

Тадқиқот усули: электрон Оже-спектроскопия, ион Оже-спектроскопия.

Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги: молибден монокристалли ҳар-хил бурчак остида тушган электронлар билан бомбардимон қилинганда олинган Оже-спектрлардаги киришмали элементлар атомлари Оже-чўққиларининг ўзгариши, W ва Mo монокристалларини ҳар-хил азимутал бурчакларда электронлар билан бомбардимон қилганда олинган Оже-спектрларидаги киришмали элемент атомлари Оже- чўққиларининг ўзгариши. W, Si, Al монокристалларини электронлар ва ионлар билан бомбардимон қилганда олинган Оже-спектрлар таққослаб ўрганилган. Олинган натижалардаги Оже- чўққиларнинг энергиялари, назарий йўл билан ҳисобланган энергияларга яқин эканлиги аниқланди.

Амалий аҳамияти: тадқиқот ишидаги илмий хулосалардан фойдаланиш республикамиздаги металлургия камбинатларида, кабель заводларида ишлаб чиқарилаётган маҳсулотларни сифатини оширишга ёрдам беради. Шу жумладан электрон ва радиотехника технологиясида материал танлашда ишлатилади.

Татбиқ этиш даражаси ва иқтисодий самарадорлиги: Ишнинг илмий натижалари Республикамиздаги металлургия камбинатларида, кабель заводларида ва аралашмалар таркибини текширишда қўлланилмоқда.

Қўлланиш соҳаси: Республикамиздаги металлургия камбинатлари, кабель заводлари, илмий текшириш институтлари ва олий ўқув юртлари.

РЕЗЮМЕ

диссертации Абдувайитова Акбара Абдумажитовича на тему:
“Исследование ориентационной зависимости эмиссии Оже-электронов с поверхности различных материалов методами ионной и электронной Оже спектроскопии”, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04-физическая электроника

Ключевые слова: электронная Оже-спектроскопия, ионная Оже-спектроскопия, эмиссия Оже- электронов, Оже-пик, ионный пучок, электронный пучок, Оже- переход, Оже- релаксация, метод Хартри-Фока, дефекты твёрдого тела.

Объект исследования: угловые и ориентационные зависимости эмиссии Оже-электронов с поверхности монокристаллов Mo(100), W(100), Al(100), Si(100) исследованы методами ионной и электронной оже спектроскопии.

Цель работы: исследование элементного состава и химических состояний примесных атомов на поверхности монокристаллов Mo(100), W(100), Al(100), Si(100) и их локализации в кристаллической решетке. Проведение сравнительных исследований электронных и ионных Оже-спектров и выявление основных причин, приводящих к изменению формы и интенсивности Оже- пиков при ионном возбуждении.

Методы исследования: электронная Оже-спектроскопия и ионная Оже-спектроскопия

Полученные результаты и их новизна: изменения Оже-пика атомов примесных элементов при бомбардировке монокристалла молибдена и вольфрама при различных углах падения электронов и при изменении азимутального угла поворота кристалла. Сравнительное исследование Оже-спектров, полученных при бомбардировке ионами и электронами монокристаллов вольфрама, алюминия и кремния. Сравнивались экспериментально полученных энергий Оже-пиков с расчетными значениями, который сделано нами впервые.

Практическая значимость: выводы научных исследований позволят улучшить качество продукции, выпускаемой кабельными заводами и металлургическими комбинатами республики, а также при выборе материалов в технологии электроники и радиотехники.

Степень внедрения и экономическая эффективность: результаты научной работы применяются в металлургических комбинатах и кабельных заводах нашей Республики при производстве различных материалов и проверке примесного состава, химического состояния выпускаемой продукции, а также в электронной технике.

Область применения: металлургические комбинаты, кабельные заводы, научно-исследовательские институты и высшие учебные заведения.

RESUME

Thesis of Abduvaitov Akbar Abdumajidovich on the scientific degree competition of the doctor the philosophy in physics sciences math on speciality 01.04.04 «Physical electronics», subject: “Investigation of the orientational dependence of Auger electrons emission from the surface of different materials using ion and electron Auger-spectroscopy”

Key words: Auger electron spectroscopy, Auger ion spectroscopy, Auger electron emission, Auger peak, ion beam, electron beam, Auger transition, Auger relaxation, method of Hartri-Fock, defect of solid.

Subjects of research: single crystals of refractory metals Tungsten and Molybdenum, nonferrous metal - Aluminium and semiconductor -Silicon.

Purpose of work: Investigation of the dependence of electron emission on orientation and azimuthal angle at electron and ionic bombardment. Comparative research of Auger spectra obtained at the bombardment of solid by electron and ionic beam.

Methods of research: Auger electron spectroscopy and Auger ion spectroscopy.

The results obtained and their novelty: change of impurity elements peak in Auger spectrum of Mo and W single crystals at the bombardment under different incident and azimuthal angles. Comparative investigation of Auger spectra of W, Al, Si single crystals at electron and ionic bombardment. Similarity of the data obtained from experimental Auger spectra and calculated data.

Practical value: application of the scientific-practical recommendation from research works helps to improve quantity of the products of metallurgical and cable works of our republic and can be used at choice of materials in technology of electron and radio technique.

Degree of embed and economic efficiency: the results of scientific work are applied in the electron techniques and in manufacturing of products and checking their chemical composition in metallurgical and cable works of Uzbekistan.

Field of application: metallurgical and cable works, research institutes and high education institutes.

Босишга рухсат этилди 05.06.2009. Адади 100 нусха. Буюртма 12.
Тошкент математика ва инфор­мацион технологиялар институти
босма­хонасида чоп этилди, Ф. Хўжаев кўчаси, 25