

**URGANCH DAVLAT UNIVERSITETI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
PhD.03/30.09.2020.FM.55.04 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA
UNIVERSITETI**

O‘ROQOV AZIMJON NARZULLAYEVICH

**NANOSTRUKTURALI SILIKAT SHISHALARNI OLISH VA ULARNING
FIZIK XUSUSIYATLARINI O‘RGANISH**

01.04.04 – Fizik elektronika

**Fizika-matematika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Urganch – 2024

UDK: 535.371; 535.016; 538.975

**Fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
avtoreferatining mundarijasi**

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

**Contents of dissertation abstract of doctoral philosophy (PhD) on
physical-mathematical sciences**

О'roqov Azimjon Narzullayevich

Nanostrukturali silikat shishalarni olish va ularning fizik xususiyatlarini
o'rganish..... 3

Уроков Азимжон Нарзуллаевич

Получение и изучение физических свойств наноструктурированных
силикатных стекол..... 24

Urokov Azimjon Narzullayevich

Obtaining and studying the physical properties of nanostructured silicate
glasses..... 46

E'lon qilingan ishlar ro'yxati

Список опубликованных работ
List of published works..... 50

**URGANCH DAVLAT UNIVERSITETI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
PhD.03/30.09.2020.FM.55.04 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA
UNIVERSITETI**

O‘ROQOV AZIMJON NARZULLAEVICH

**NANOSTRUKTURALI SILIKAT SHISHALARNI OLIH VA ULARNING
FIZIK XUSUSIYATLARINI O‘RGANISH**

01.04.04 – Fizik elektronika

**Fizika-matematika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Urganch – 2024

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2020.2.PhD/FM469 raqam bilan ro‘yxatga olingan.

Dissertatsiya Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o‘zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasida (<https://urdu.uz/uz>) hamda “ZiyoNet” Axborot-ta’lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar: **Tashmuxeimedova Dilnoza Artikbaevna**
fizika-matematika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentalar: **Isaxanov Zinaobidin Abilpeyzovich**
fizika-matematika fanlari doktori, professor

Kurbanov Muzaffar Kadambayevich
fizika-matematika fanlari nomzodi, dotsent

Yetakchi tashkilot: **Farg‘ona politexnika instituti**

Dissertatsiya himoyasi Urganch Davlat universiteti huzuridagi PhD.03/30.09.2020.FM.55.04 raqamli Ilmiy kengashning 2024 yil «__» _____ soat __dagi majlisida bo‘lib o‘tadi. (Manzil: 220100, Urganch sh., H.Olimjon ko‘chasi, 14-uy. Tel.: (99862) 224-66-11; faks: (99862) 224-67-00; e-mail: fizelektronika.urdu@umail.uz).

Dissertatsiya bilan Urganch Davlat universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (№ _____ - raqami bilan ro‘yxatga olingan). (Manzil: 220100, Urganch sh., H. Olimjon ko‘chasi, 14-uy. Tel.: (99862) 224-66-11; faks: (99862) 224-67-00).

Dissertatsiya avtoreferati 2024 yil «__» _____ kuni tarqatildi.

(2024 yil «__» _____ dagi _____ raqamli reestr bayonnomasi).

U.O.Qutliev
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash raisi,
f.-m.f.d., professor

K.R.Yakubov
Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash ilmiy kotibi,
f.-m.f.d., dotsent

Q.A.Ismaylov
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash qoshidagi
ilmiy seminar raisi,
f.-m.f.d., professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasining annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda legirlangan silikat shishalarni (LSS) o'rganishga qiziqish, birinchi navbatda, ularni turli xil fizik va kimyoviy ta'sirlarning datchiklardagi plyonka rezistorlari va chiplarini yaratishda uzoq yillar davomida keng qo'llanib kelinmoqda. Shunga qaramasdan legirlangan silikat shishalarning (LSS) hali o'rganilmagan jihatlari juda ko'p. Silikatlarining katta qismi yaxshi elektr izolyatorlaridir. Qalin plyonkali rezistorlarning asosini turli tarkibli silikat shishalar tashkil etadi. Legirlangan silikat shishalari bo'yicha barcha tadqiqotlar, taxminan 1123 K haroratda silikat shishalarning submikron kukunlari va legirlangan metall oksidlarining birgalikda pishirish orqali legirlangan namunalarda o'tkazilgan. Biroq legirlangan shishalarda ligatura atomlarining holati hanuzgacha o'rganilmagan. Shuning uchun murakkab texnologik jarayonlardan iborat bo'lgan yangi xususiyatli materiallarni yaratishga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Jahon miqyosida yuqori haroratli o'ta o'tkazuvchan (YHO'O') materiallarining yangi turlarini yaratish jadallik bilan rivojlanib, ularning xususiyatlariga turli xil tashqi omillarning ta'sirini o'rganish bo'yicha ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Shuningdek, nol magnit maydonda ham, yuqori kuchlanishli tashqi magnit maydonlarda ham yuqori darajadagi oqim o'tkazuvchanlik xususiyati bo'lgan YHO'O' birikmalar asosidagi yangi o'ta o'tkazuvchan kompozit materiallarni olish usuli taklif qilingan. Ikkinchi avlod YHO'O' plyonkalarni olish alohida qiziqish uyg'otadi. Ushbu epitaksial geterostrukturalar asosida yaratilgan elektrotexnik materiallarni yangi elektroenergetik qurilmalarini ishlab chiqish dolzarb vazifalardan hisoblanadi.

Respublikamizda LSS va YHO'O' materiallarni olish, ushbu materiallarning xususiyatlarini turli xil ta'sirlarga barqarorligini saqlash imkonini beradigan usulni ishlab chiqish va ularni tadbiiq qilish bo'yicha tadqiqotlar amalga oshirilmoqda. Yangi O'zbekistonning 2022-2026-yillarga mo'ljallangan Taraqqiyot strategiyasida, jumladan "Innovatsion loyihalarni amalga oshirish uchun barcha yo'nalishlarda keng imkoniyatlarni yaratish, tadqiqotlarni va innovatsion tashabbuslarni qo'llab-quvvatlashning zamonaviy mexanizmlarini joriy qilish"¹ bo'yicha vazifalar belgilangan. Ushbu vazifalarni amalga osirishda, xususan YHO'O' materiallar va legirlangan silikat shishalar tarkibi, strukturasi va fizik xususiyatlarini o'zgarish qonuniyatlarini ishlab chiqish muhim hisoblanadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son "2022-2026- yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi Farmoni, 2019 yil 22 avgustdagi PQ-4422-son "Iqtisodiyot va ijtimoiy tarmoqlarning energiya samaradorligini oshirish, energiyani tejaydigan texnologiyalarni joriy etish va qayta tiklanadigan energiya manbalarini rivojlantirishning tezkor chora tadbirlari to'g'risida" gi² qarorlari, shuningdek,

¹ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son "2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi Farmoni // Qonunchilik ma'lumotlari milliy bazasi, 29.01.2022-y., 06/22/60/0082-son

² O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 22-avgustdagi PQ-4422-sonli "Iqtisodiyot va ijtimoiy tarmoqlarning energiya samaradorligini oshirish, energiyani tejaydigan texnologiyalarni joriy etish va qayta tiklanadigan energiya manbalarini rivojlantirishning tezkor chora tadbirlari to'g'risida"gi qarori

so‘nggi yillarda respublikada bu sohada qabul qilingan boshqa me‘yoriy-huquqiy hujjatlar belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalar rivojlanishi ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Dissertatsiya O‘zbekiston Respublikasi fan va texnikasini rivojlantirishning II. “Fizika, astronomiya, energetika va mashinasozlik” va III. “Zamonaviy elektronika, mikroelektronika, fotonika, elektron asboblarni rivojlantirish” ustuvor yo‘nalishlariga muvofiq bajarilgan.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. So‘nggi yigirma yil ichida turli xil materiallarda termoelektrik hodisalarga qiziqish keskin ortib bormoqda: a) qazib olinadigan yoqilg‘i (neft, gaz, ko‘mir) zaxiralarining zaxiralarining tugash xavfi tufayli, qayta tiklanadigan energiya manbalaridan foydalanishning eng samarali va arzon usullarini yaratishni talab etiladi; b) insoniyatning texnik va texnologik imkoniyatlarini kengaytirish, atrof-muhitni ifloslantiruvchi va inson hayotiga xavf tug‘diruvchi chiqindi miqdorini ko‘paytirish bizni ushbu energiyadan (ikkilamchi energiya resurslaridan) foydalanish yo‘llarini izlashga majbur qiladi; c) termoelektrik materiallarning yangi sinfini aniqlash va "fonon shisha, elektron Kristal" nazariyasini yaratish.

Yana bir muhim ilmiy jihat shundaki, termoelektriklar a) turli moddalardagi elektron quyi tizim holati to‘g‘risida ma‘lumot beradi; b) muvozanatsiz termodinamika tushunchalarini sinab ko‘rish uchun eksperimental asos bo‘lib xizmat qiladi.

Shu sababli so‘ngi yillarda dunyoning etakchi olimlarining e‘tibori IERNi elektr energiyasiga aylantirish uchun termoelektrik generatorlarda (TEG) ishlatiladigan past issiqlik o‘tkazuvchanligi bo‘lgan arzon va samarali termoelektrik materiallarni (TEM) yaratish uchun yangi imkoniyatlarni aniqlashga qaratilgan. A.G.Samoylovich va L.L.Korenblitlar birinchi bo‘lib tokka proporsional bo‘lgan issiqlik ajralishi tizimning geterogenligi bilan bog‘liqligini ko‘rsatgan. Ko‘pgina termoelektrik materiallardagi chiziqli bo‘lmagan xususiyatlar nanostrukturalarda yuzaga keladigan yuqori harorat gradientlarining paydo bo‘lishi bilan bog‘liqligini aniqladi. O. Yamashita turli xil yarim o‘tkazgichlarning termoelektrik xususiyatlariga turli omillarning ta‘sirini (tashuvchilarning qizishi, p-n o‘tishda to‘g‘rilash, tashuvchilar ishorasining o‘zgarishi) nazariy jihatdan ko‘rib chiqdi. Legirlangan silikat shishalarda elektr o‘tkazuvchanlik mexanizmlari G.Abduraxmonov va boshalar tomonidan o‘rganilgan. Shishada nanokristallarning mavjudligi ulardagi va atrofdagi tartibsiz fazadagi qotishma atomlarining diffuziya koeffitsientlarining farqlanishiga olib kelishini va LSS da qotishma atomlarining taqsimlanishida zaryad (tok) larni oqib o‘tish satxining mos taqsimotiga ega bo‘lgan geterogenlikni (bir jinsli bo‘lmagan) yuzaga kelishi ko‘rsatilgan.

Termoelektrik hodisalarga chiziqli bo‘lmagan muvozanatsiz termodinamika yoki VCH - kvazi-potensial nuqtai nazaridan yondashish, chiziqli muvozanatsiz termodinamikadan farqli o‘laroq, ushbu hodisalarning vaqtinchalik xususiyatlarini hisobga oladi. Biroq, ushbu yondashuvlar termo EYUKning kelib chiqishi va

uning turli parametrlarga, shu jumladan o'rganilayotgan materialning xususiyatlariga (tarkibi, tuzilishi, energetik zonalari) bog'liqligi to'g'risida har qanday xulosalar chiqarish uchun etarli darajada ishlab chiqilmagan.

Dissertatsiya mavzusining bajarilgan oliy ta'lim muassasasi ilmiy-tadqiqot ishlari bilan bog'liligi.

Dissertatsiya ishi Toshkent davlat texnika universitetida O'zR ilmiy-tadqiqot ishlarining Davlat dasturi va MRB-OT-2019-28 "Yaxshilangan issiqlikka chidamli nanostrukturali silikat shishalarni shakllantirishning fizik asoslarini ishlab chiqish" (2019-2021) loyihasi doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi: Silikat shishalar va YHO'O' materiallar yuzasida ion implantatsiya usuli yordamida nanotizimlarning shakllanish qonuniyatlarini aniqlash, hamda bu ta'sirlar natijasida ularning tarkibi, tuzilishi va fizik xususiyatlarining o'zgarish mexanizmlarini yoritishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

C71-K, B34E va PC5 shishalar yuzasining morfologiyasi va elementar tarkibini o'rganish;

silikat shishalarning termo EYUK koeffisenti va qarshiligini o'lchash;

silikat shishalarning issiqlik o'tkazuvchanligini aniqlash va tadqiqot usullarini ishlab chiqish. Silikat shishalarning elektr o'tkazuvchanligini o'lchash va nanokristallarni shakllanish jarayonlarini o'rganish;

ion implantatsiyasining silikat shishalar va $\text{CuOY}_2\text{O}_3\text{BaO}$ YHO'O' plyonkasining tarkibi va elektron tuzilishiga ta'sirini o'rganish. YHO'O' materiallarda nanoo'lchamli birikmalar hosil bo'lishini va uning uning YHO'O' xususiyatlariga ta'sirini o'rganish.

Tadqiqotning obekti $\text{CuOY}_2\text{O}_3\text{BaO}$ keramika, hamda C71-K, B34E va PC5 silikat shishalari.

Tadqiqotning predmeti YHO'O' materiallar va legirlagan silikat shishalarning tarkibi, strukturasi va fizik xususiyatlarining o'zgarish qonuniyatlari.

Tadqiqot usullari. Dissertatsiya ishini bajarishda quyidagi tadqiqot usullari qo'llanilgan: rastri elektron mikroskop (REM), ultrabinafsha fotoelektron spektroskopiyasi (UBFES), Oge - elektron spektroskopiyasi (OES), xarakterli energiyasini yo'qotgan elektronlar spektroskopiyasi (XEYES), tez elektronlar difraksiyasi (TED), sekin elektronlar difraksiyasi (SED).

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

ilk bor komponentlarning shisha yuzasida taqsimlanishi sezilarli darajada bir xil emasligi mikroskopiya usullari bilan ko'rsatilgan, ya'ni legirlashdan so'ng rutein atomlari sirtida aniqlanmasligi va ular asosan shishaning sirt osti qatlamiga singib ketishi aniqlangan;

$T = 300 - 700 \text{ K}$ harorat oralig'ida legirlangan silikat shishaning qarshiligi R va termo EYUK S lar sezilarli darajada o'zgarimasligi ko'rsatilgan, $T = 700 - 1200 \text{ K}$ oralig'ida esa $R(t)$ va $S(t)$ bog'liqliklari sakrashga o'xshash xususiyatga ega bo'lib, bu strukturaviy o'tishlarning paydo bo'lishi bilan izohlanishi bilan $300 - 1200 \text{ K}$ oralig'ida namunalarning qarshiligi va termo EYUK koeffitsentini haroratga bog'liqligini yuqori aniqlikda avtomatik tarzda o'lchash imkon beradigan Arduino Due mikrokontroller platasi va MAX31856MUD+

kuchaytirgich asosida o'lash qurilmasi yaratilish natijasida mazkur oraliq 77 K gacha kengaytirilgan;

$T = 800 \text{ K}$ bo'lgan legirlangan silikat shishasi soviganda 1-2 nm o'lchamdagi nanokristallar hosil bo'lishi ko'rsatilgan va birinchi marta Ba^+ ionlari bilan implantatsiya qilingan $\text{CuOY}_2\text{O}_3\text{BaO}$ ning taqiqlangan zona kenglini 9 marta oshishi, $\text{SiO}_2 + \text{PbO}$ silikat shishasida esa 2,5 marta kamayishiga olib kelishi ko'rsatilgan;

$\text{CuOY}_2\text{O}_3\text{BaO}$ ga $E_0 = 0,5 \text{ keV}$ energiyali Ba^+ ionlari implantatsiya qilgandan so'ng sirtida qalinligi $30 - 40 \text{ \AA}$ bo'lgan $\text{CuO}_{0,5}\text{Y}_{0,5}\text{OBa}_3\text{O}_2$ turidagi nanoplyonkalar shakllanishi aniqlanishi natijasida o'ta o'tkazgichni $T=80 \text{ K}$ gacha sovutilganda fotoelektron chiqish ishining ortishi ($\sim 0,5 \text{ eV}$ ga) va emissiya samaradorligining kamayishi kuzatilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari: Samarali va arzon qurilmalar yordamida ikkilamchi energiya resurslarini (IER) elektr energiyasiga aylantirish imkonini beruvchi yangi termoelektrik materiallarni yaratish mexanizmlari ishlab chiqilgan. Ya'ni, dastlabki namunaga ($\rho \geq 10^{14} \text{ Om}\cdot\text{m}$) nisbatan legirlangan shishalar ($\rho_d = 4 \cdot 10^{-7} \text{ OM}\cdot\text{M}$) yuqori elektr o'tkazuvchanlika ega bo'lishi aniqlangan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi dissertatsiyada o'zaro bir birini to'ldiradigan elektron, optik zondli spektroskopiya va mikroskopiya usullar majmuasini qo'llash, ekspertizadan o'tgan ilmiy jurnallarda chop etilgan nashrlar, xalqaro konferensiyalarda taqdim etilgan ma'ruzalar hamda olingan natijalarning boshqa mualliflar natijalariga mos kelishi bilan asoslangan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.

Termoelektrik hodisalar nazariyasini rivojlantirish va zaryadlangan zarrachalarning nanoo'lchamdagi plyonkalar bilan o'zaro ta'siri uchun muhim ahamiyatga ega bo'lgan legirlangan silikat shishalar va yaxshilangan xususiyatlarga ega $\text{YHO}'\text{O}'$ materiallarini olish qonuniyatlari aniqlangan.

Yuqori quvvatli energetikada, plyonkali silikat shishalarda keng qo'llash uchun mo'ljallangan fizik xususiyatlari yaxshilangan legirlangan silikat shishalari va $\text{YHO}'\text{O}'$ materiallari olingan.

Tadqiqot natijalarini joriy qilinishi. Legirlangan silikat shishalar va yuqori haroratli o'ta o'tkazgichlarni yaratish, shuningdek, ion implantatsiyasi jarayonida ularning issiqlik o'tkazuvchanligi, tarkibi, valent elektronlarning holatlar zichligi, energetik zonalar parametrlari, bitta qisman g'alayonlashish energiyasi va plazmon tebranishlaridagi o'zgarishlarni o'rganish bo'yicha olingan ilmiy natijalarga asosida:

“Metal oksidlari bilan legirlangan silikatlarda termoelektrik xossalar va o'z-o'zini hosil qilish jarayonlari” Uzb-Ind-2021-78 loyihasining ilmiy-texnikaviy vazifalarini amalga oshirishda (Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy univeisitetidan 2024 yil 26 yanvardagi 01/11-815-sonli ma'lumotnoma), xususan yuqori quvvatli energetikada, plyonkali silikat shishalarida keng foydalanish uchun mo'ljallangan legirlangan silikat shishalar va $\text{YHO}'\text{O}'$ materiallardan samarali va arzon termoelektrik materiallar yaratish yo'llarini aniqlashda samarali qo'llanildi. Termoelektrik hodisalarga asoslangan zamonaviy tenzometrik datchiklar yaratish bo'yicha tavsiyalar berilgan;

yangi termoelektrik materiallarni yaratish bo'yicha olingan natijalar "Kvarts" OAJ da qo'llanilganda (2024 yil 7 maydagi "Kvarts" OAJ ma'lumotnoma) list ko'rinishidagi rangli, qoraytirilgan va toblangan oynalar, hamda boshqa turdagi shisha mahsulotlarini ishlab chiqarishda mahsulotlarni sifatini, mustahkamligini va ishlab chiqarish samaradorligini oshirish imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining aprotatsiyasi. Dissertatsiya ishi natijalari 14 ta xalqaro va respublika anjumanlarida ma'ruza va muhokama qilingan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya ishining mavzusi bo'yicha olingan natijalar asosida 14 ta ilmiy ishlar nashr qilingan, jumladan, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan doktorlik dissertatsiyalarining asosiy ilmiy natijalarini chop etish uchun tavsiya etilgan jurnallarida 1 ta va xalqaro (Scopus bazasiga kirgan) jurnallarda 2 ta ilmiy maqola chop etilgan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish, to'rtta bob, xulosa va foydalanilgan adabiyotlar ro'yxatidan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 58 ta rasmni o'z ichiga olgan holda 135 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya mavzuning dolzarbligi, muammoning o'rganilganlik darajasi, tadqiqotni respublikada fan va texnologiya rivojlanishining ustuvor yo'nalishi bilan bog'liqligi, dissertatsiya ishining maqsadi va vazifasi, olingan natijalarning ilmiy yangligi, ilmiy va amaliy ahamiyati, ish natijasining joriy qilinganligi va aprobsiya hamda dissertatsiya hajmi va tuzilishi haqida qisqacha ma'lumotlar keltirilgan.

Birinchi bob "**Adabiyotlar sharhi**" ishning qisqacha adabiyotlar tahliliga bag'ishlangan bo'lib; silikatlar sintezi va legirlash, termoelektr hodisalar fizikasining zamonaviy holati, yuqori haroratli o'ta o'tkazgichning parametrlariga turli omillarning ta'siri, ion bombardimonining o'ta o'tkazgichlarning tarkibi va xususiyatlariga ta'siri, adabiyotlar tahlili yuzasidan olingan xulosalar va tadqiqot vazifalari bo'limlaridan tashkil topgan.

Bobning oxirida adabiyotlar tahlili yuzasidan olingan xulosalar, dissertatsiya ishining maqsadi va vazifalari keltirilgan.

Dissertatsiyaning «Eksperimentlar metodologiyasi» nomli II bobida tadqiqot ob'ektlari va ularni tayyorlash, materiallarning fizik xususiyatlarini o'rganish uchun eksperimental qurilmalarni o'rnatishga bag'ishlangan bo'lib, xususan elektron va ion to'plari qurilmalari, shuningdek, Oge va elastik qaytgan elektronlar, EXEYS va fotoelektronlar spektroskopiyasi, fotoelektronlarning kvant chiqishi va ikkilamchi elektronlar emissiya koeffitsiyentlarini energiyaga bog'liqligini qayd etish usullari haqida ma'lumotlar berilgan.

Uchinchi bob "Legirlangan silikat shishalarning morfologiyasi, tarkibi, strukturasi va fizik xossalari" deb nomlanib, silikat shishalarni olish, ularning morfologiyasi, issiqlik o'tkazuvchanligini aniqlash orqali elektrofizik xossasini o'rganishga, psevdotirqish va nanokristallarni shakllanishini legirlangan silikat shishaning elektr o'tkazuvchanligiga ta'sirini tadqiq etishga bag'ishlangan.

Quyidagi tarkibdagi shishalar o'rganilgan:

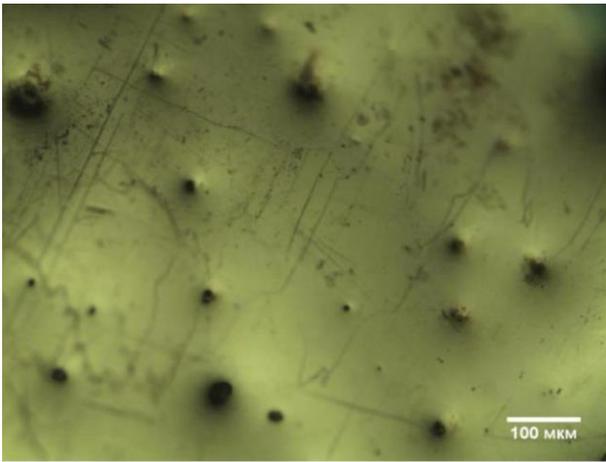
33 mass.% SiO_2 + 67 mass.% PbO (C71-K),

29 mass.% SiO_2 + 67 mass.% PbO + 4 mass.% BaO (B34E),

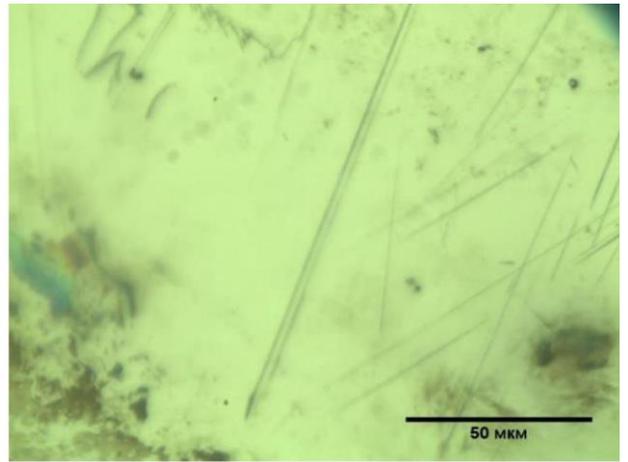
11 mass.% SiO_2 + 58 mass.% PbO + 15 mass.% B_2O_3 + 14 mass.% MnO_2 + 2 mass.% CuO (PC5).

Namuna sirtining mikrostrukturasi MII-1 metallogrofik mikroskopda va MIRA3 TESCAN skanerlovchi elektron mikroskopda o'rganilgan. 1 - rasmdan ko'rinib turganidek o'rganilgan namunalar sirt qatlamining mikrostrukturasi bir jinsli emas.

Namuna yuzasida o'lchamlari 50 mkm dan kichik bo'lgan ko'plab sharsimon zarralar to'plami aniqlangan bo'lib, ularni amorf matritsada joylashgan deb taxmin qilish mumkin.



a)



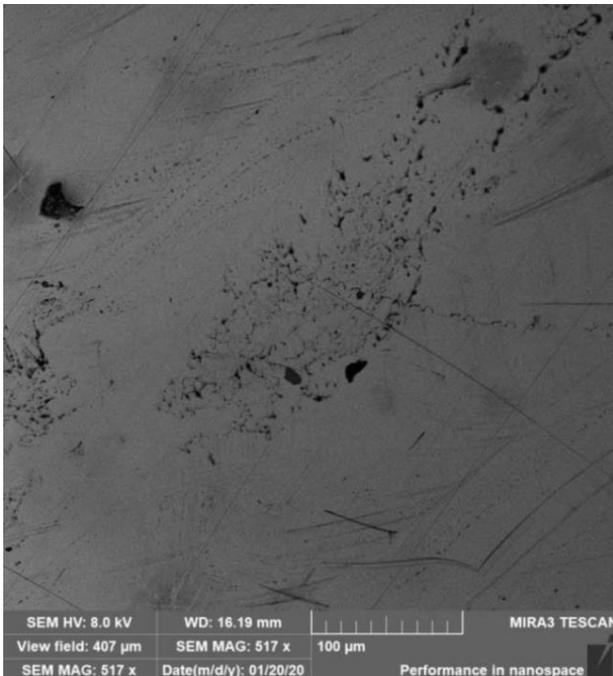
b)

1-rasm. PC5 namunasi sirtining mikrostrukturasi

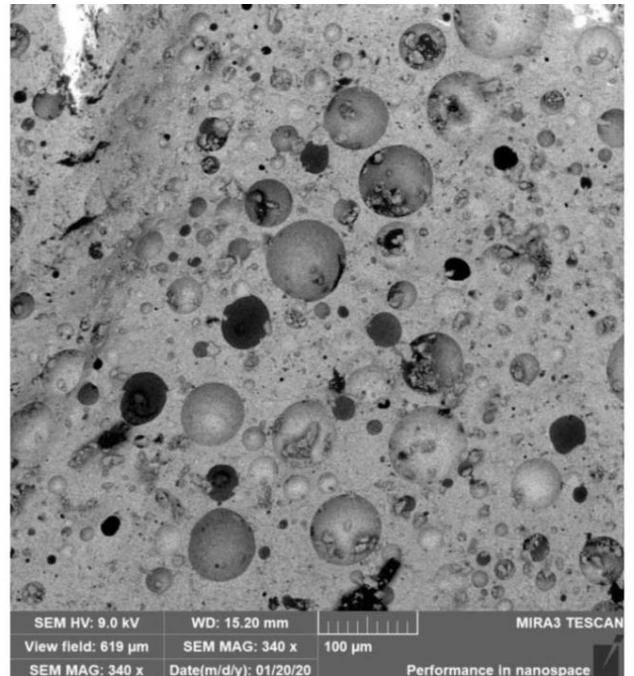
B34E namunalar g'ovakli struktura bilan tasvirlangan va amorf strukturaga ega bo'lgan alohida zarralardan tashkil topgan.

PC5 namuna sirtida o'lchami 40 mkm gacha bo'lgan g'ovaklar kuzatiladi. (1-rasm), ular namunani tayyorlash jarayonida shakllangan deb taxmin qilish mumkin. Sirt tekis bo'lib, kristallanish alomatlari kuzatilmaydi.

O'rganilayotgan shishalarni 10 mass.% RuO₂ bilan legirlagandan so'ng mikroskopda olingan tasvirlarida RuO₂ ning alohida fazalari paydo bo'ladi (2-rasm).



a)



b)

2-rasm. Skanerlovchi elektron mikroskopda olingan PC5 shisha kukunlari pishirilgan hajmiy namunaning legirlashgacha (a) va legirlashdan (10 mass % RuO₂) keyingi sirti. Qora shakllar RuO₂ zarraning qoldig'i.

Rentgen strukturali tahlil ma'lumotiga muvofiq C71-K va B34E namunalar amorf - kristall (3, a,b-rasm) bo'lsa, PC5 namuna esa amorf faza bilan ifodalanadi

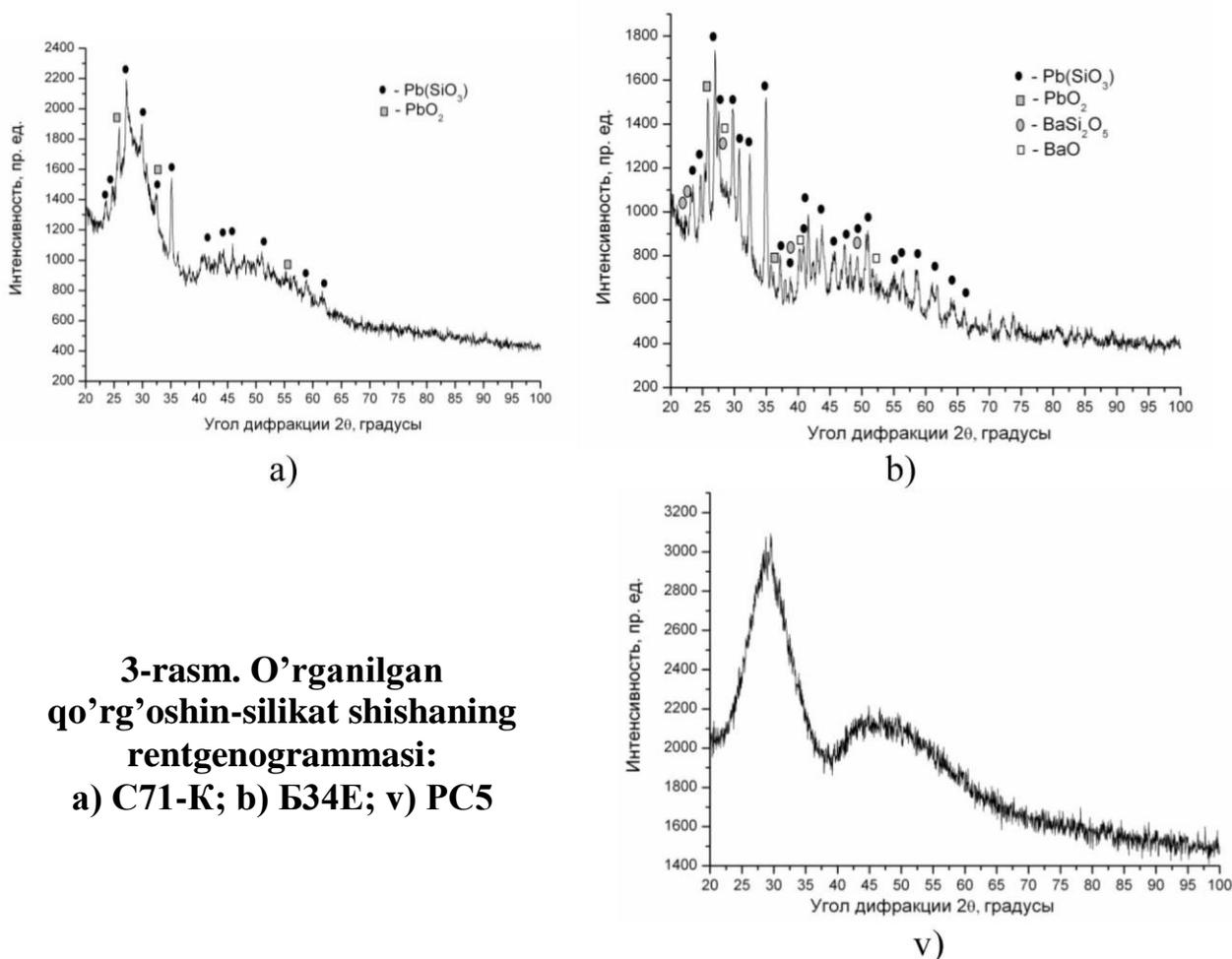
(3, v-rasm). Amorf fazani shakllanishi o'rganilgan burchak intervalida intensiv birinchi diffuzion gala va yelkaga ega bo'lgan kuchsiz ikkinchi diffuzion gala paydo bo'lishidan dalolat beradi. Qisman kristallangan C71-K va B34E namunalarning rentgenogrammasida amorf fazasidan diffuziyali galoga qo'shimcha ravishda (Pb(SiO₃)) tarkibidagi qo'rg'oshin silikati va qo'rg'oshin oksidiga (PbO₂) mos keladigan kristall fazalarning difraksiya reflekslari hosil bo'lgan. B34E namunaning rentgenogrammasida ko'rsatilgan fazalardan tashqari BaSi₂O₅ va BaO dan difraksiya maksimumlari aniqlandi.

Amorf faza, yuqori kremniyli qo'rg'oshin silikati (PbO·2SiO₂) va kremniy oksidi (SiO₂) asosidagi birikmalarga mos keladi deb faraz qilish mumkin.

C71-K namuna amorf fazasining birinchi diffuzion maksimumining holati $2\theta_1=27,98^\circ$ ($d_1=0,3189$ nm) ga, ikkinchisi esa $2\theta_2=45,77^\circ$ ($d_2=0,1982$ nm) ga mos keladi. B34E va PC5 namunalari uchun galo maksimumlari $2\theta_1=27,27^\circ$ ($d_1=0,3069$ nm), $2\theta_2=45,07^\circ$ ($d_2=0,2011$ nm) va $2\theta_1=29,09^\circ$ ($d_1=0,3283$ nm), $2\theta_2=47,06^\circ$ ($d_2=0,1931$ nm) da joylashgan.

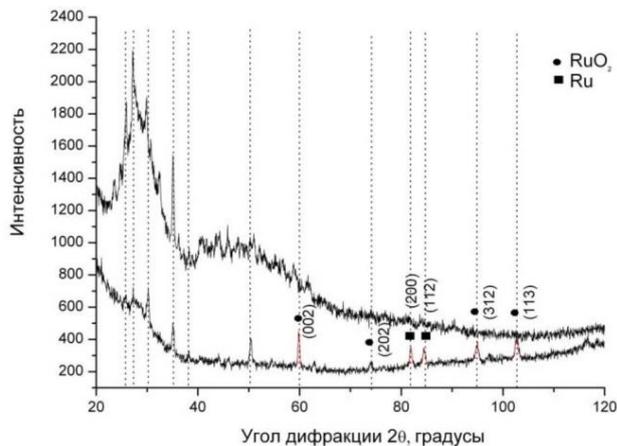
Diffuziya maksimumining holati Erenfest munosabati bo'yicha birinchi koordinatsion sferaning R_1 radiusi bilan bog'liq:

$$2R_1 \sin \theta = 1,23\lambda, \quad (1)$$

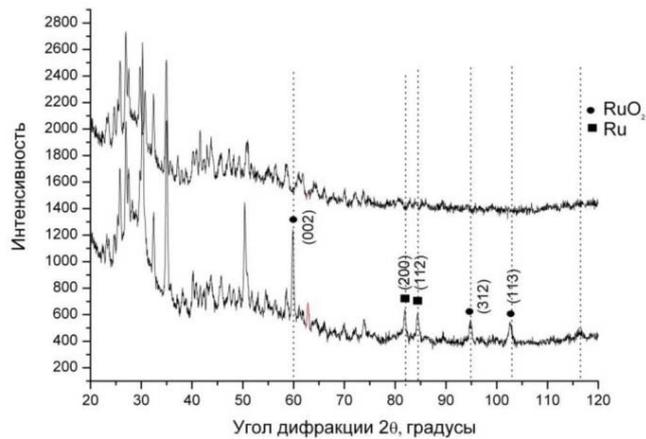


3-rasm. O'rganilgan qo'rg'oshin-silikat shishaning rentgenogrammasi:
a) C71-K; b) B34E; v) PC5

4-rasmda C71-K, B34E va PC5 legirlangan shishalarning rentgenogrammalari legirlanmagan namunalarning rentgenogrammalari (yuqoridagi egri chiziqlar) bilan solishtirilgan. Reflekslar ligatura zarralaridan ham, shisha kristallanish mahsulotlaridan ham aniq ko‘rinadi.

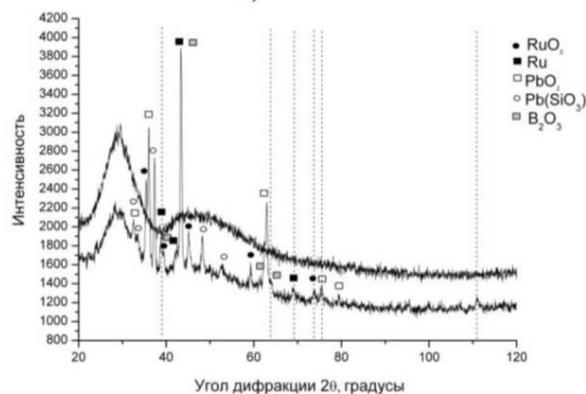


a)



b)

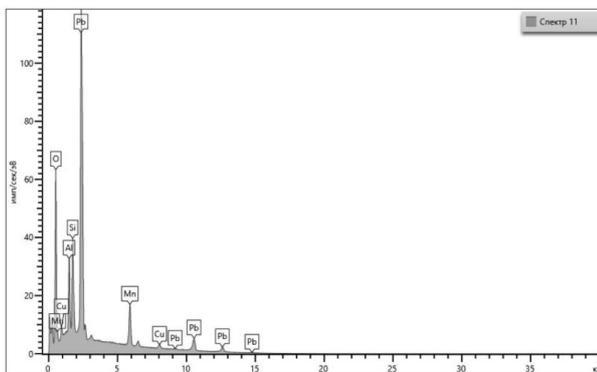
4-rasm. Legirlangan shishalarning rentgenogrammasi:
a) C71-K; b) B34E; v) PC5



5 va 6 - rasmlarda B34E shisha namunasining turli nuqtalarida legirlashdan oldingi va keyingi energiya dispersiyasi spektrlari ko‘rsatilgan. Elementlarning tegishli tarkibi 1 va 2-jadvallarda keltirilgan.

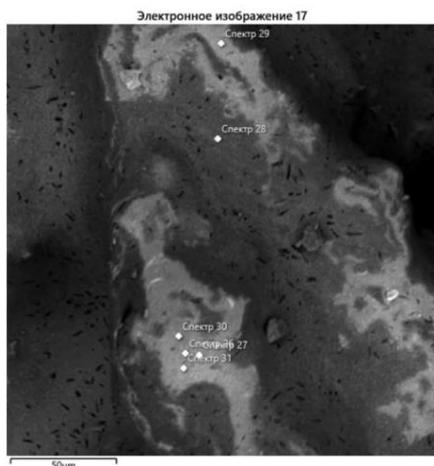


a)

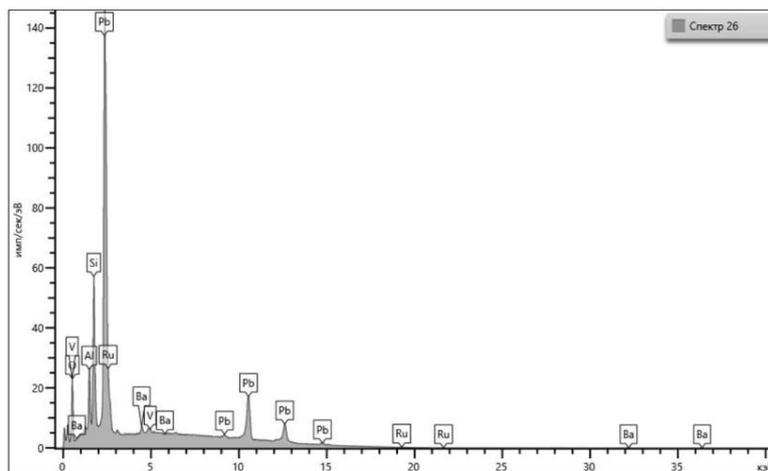


b)

5-rasm B34E shisha namunasining legirlashdan oldingi energiodispersion spektrlari (5, a-rasm)



a)



б)

6-rasm. Legirlangan B34E shisha namunasining turli nuqtalarida energodispersion spektrlari (6, a-rasm)

1-jadval.

Legirlashdan oldin PC5 shishada elementlarning tarkibi (5, a, b-rasm bo'yicha)

| Natija turi | Massasi % | Statistika | O | Al | Si | Mn | Cu | Pb |
|----------------|-----------|-----------------|-------|------|------|------|------|-------|
| Spektr belgisi | Spektr 11 | Maksimum | 47.45 | 7.73 | 8.48 | 9.23 | 1.44 | 25.66 |
| O | 47.45 | Minimum | 47.45 | 7.73 | 8.48 | 9.23 | 1.44 | 25.66 |
| Al | 7.73 | O'rtacha | 47.45 | 7.73 | 8.48 | 9.23 | 1.44 | 25.66 |
| Si | 8.48 | Standart og'ish | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Mn | 9.23 | | | | | | | |
| Cu | 1.44 | | | | | | | |
| Pb | 25.66 | | | | | | | |
| Hammasi | 100.00 | | | | | | | |

2-jadval.

Legirlangan B34E shishada elementlarning tarkibi (6-rasm bo'yicha)

| Natija turi | Massasi % | | | | | |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Spektr belgisi | Spektr 26 | Spektr 27 | Spektr 28 | Spektr 29 | Spektr 30 | Spektr 31 |
| C | | | 25.46 | | 17.09 | |
| O | 26.02 | 26.39 | 24.99 | 40.22 | 16.29 | 28.55 |
| Mg | | 1.59 | | | | 1.21 |
| Al | 5.84 | 7.45 | 5.15 | 9.86 | 6.10 | 7.36 |
| Si | 11.93 | 15.42 | 12.21 | 20.23 | 12.35 | 14.15 |
| V | 0.48 | 0.45 | 0.29 | | 0.44 | 0.43 |
| Ru | 9.21 | 7.63 | | | | 7.34 |
| Ba | 2.34 | 3.58 | 1.60 | 3.23 | 3.91 | 3.68 |
| Pb | 44.19 | 37.48 | 30.30 | 26.46 | 43.81 | 37.28 |
| Hammasi | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

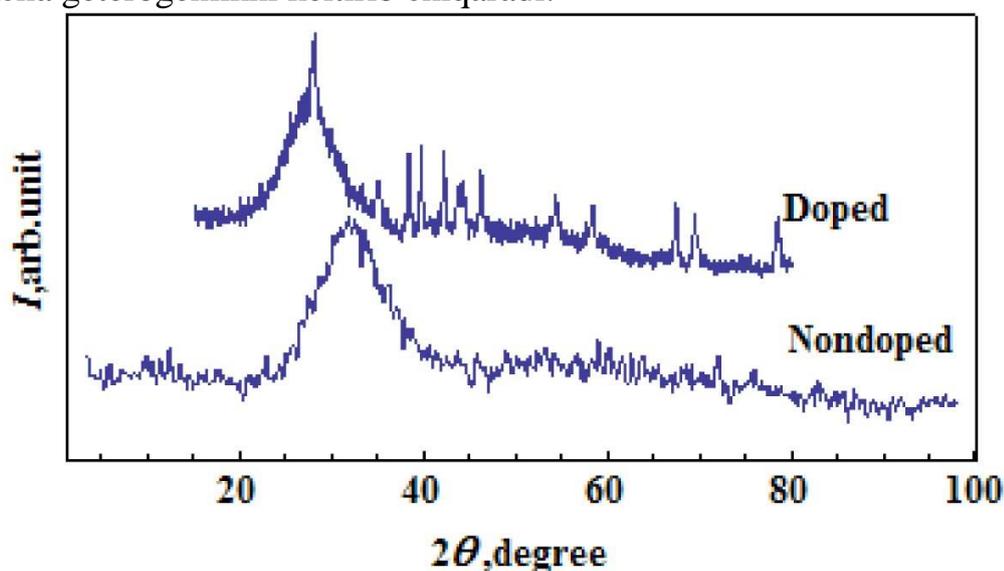
| Statistika | C | O | Mg | Al | Si | V | Ru | Ba | Pb |
|-----------------|-------|-------|------|------|-------|------|------|------|-------|
| Maksimum | 25.46 | 40.22 | 1.59 | 9.86 | 20.23 | 0.48 | 9.21 | 3.91 | 44.19 |
| Minimum | 17.09 | 16.29 | 1.21 | 5.15 | 11.93 | 0.29 | 7.34 | 1.60 | 26.46 |
| O'rtacha | | 27.08 | | 6.96 | 14.38 | | | 3.05 | 36.59 |
| Standart og'ish | | 7.71 | | 1.68 | 3.17 | | | 0.90 | 7.12 |

Natijalar tahlili komponentlarning shisha yuzasi bo‘ylab taqsimlanishi sezilarli darajada bir jinsli emasligini ko‘rsatdi. Namuna yuzasidagi ruteniy atomlari to‘g‘ridan-to‘g‘ri bog‘lanmagani va zanjir hosil qilmaganligi uchun, bu spektrlarni legirlangan shishada elektr o‘tkazuvchanligini yaratishining isboti deb hisoblash mumkin.

Rentgen difraksiyasi (7-rasm) LSS, ligatur zarralarning kristall qoldiqlari mavjud bo‘lgan shisha matritsadan tashkil topgan kuchli bir jinsli bo‘lmagan muhit bo‘lishini ko‘rsatadi. LSS da ishlatiladigan oksidlar yoki oksid birikmalar boshlang‘ich shisha ($\rho_g \geq 10^{14} \Omega \cdot m$) bilan solishtirganda yuqori elektr o‘tkazuvchanlikka ($\rho_d = 4 \cdot 10^{-7} - 10^{-6} \Omega \cdot m$) ega. Shuning uchun ular zaryad tashuvchilarning lokalizatsiya markazlari sifatida qabul qilinadi va tashuvchilar bir zarrachadan boshqasiga o‘zgaruvchan uzunlikdagi sakrashlar (mott mexanizmi) yoki yupqa shisha qatlami orqali kvant mexanik tunellari orqali o‘tadi deb hisoblash mumkin.

O‘lchami 1-2 nm bo‘lgan nanokristallar (7-rasm, Sherer formulasi) sovuyotgan shishada o‘z-o‘zidan yuzaga keladi va mos ravishda tizim uchun energiya jixatdan qulaydir. Boshqacha aytganda, nanokristallar potensial o‘ralardir.

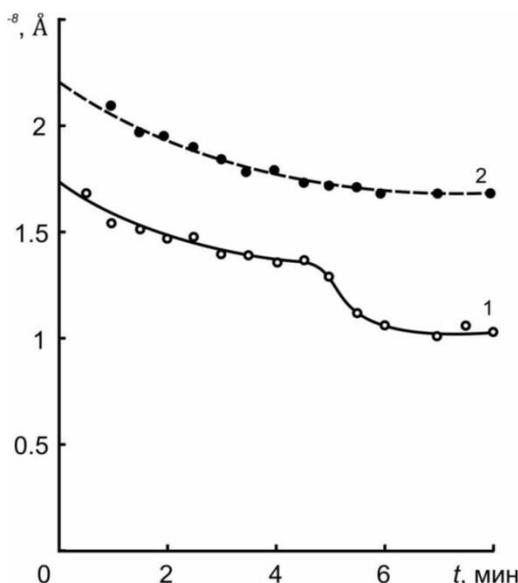
Shunday qilib shishada nanokristallarning mavjudligi nafaqat LSS strukturasi murakkablashtiradi, balki uning elektr o‘tkazuvchanlik taqsimotida qo‘shimcha geterogenlikni keltirib chiqaradi.



7-rasm. Legirlashgacha va legirlashdan keyin $33SiO_2+63PbO+4Al_2O_3$ (shixta, massa bo‘yicha) shisha rentgenogrammasi (10 mass.% RuO_2). Legirlangan shisha uchun rasmdagi kristal reflekslar RuO_2 ga tegishli.

Dissertatsiyaning “Ion implantatsiya usuli bilan YHO‘O‘ materiallar sirtida nanostrukturalar olish va ularning elektron tuzilishi va emission xususiyatlarini o‘rganish” deb nomlangan to‘rtinchi bobida ion implantatsiyaning YHO‘O‘ $CuOY_2O_3BaO$ plyonkalari sirtining elektron strukturaga ta’siri va YHO‘O‘ nano o‘lchamdagi birikmalar hosil bo‘lishini, hamda Ba^+ ionlarining implantatsiyasini silikat shishalarning tarkibi va elektron tuzilishiga ta’siri o‘rganilgan.

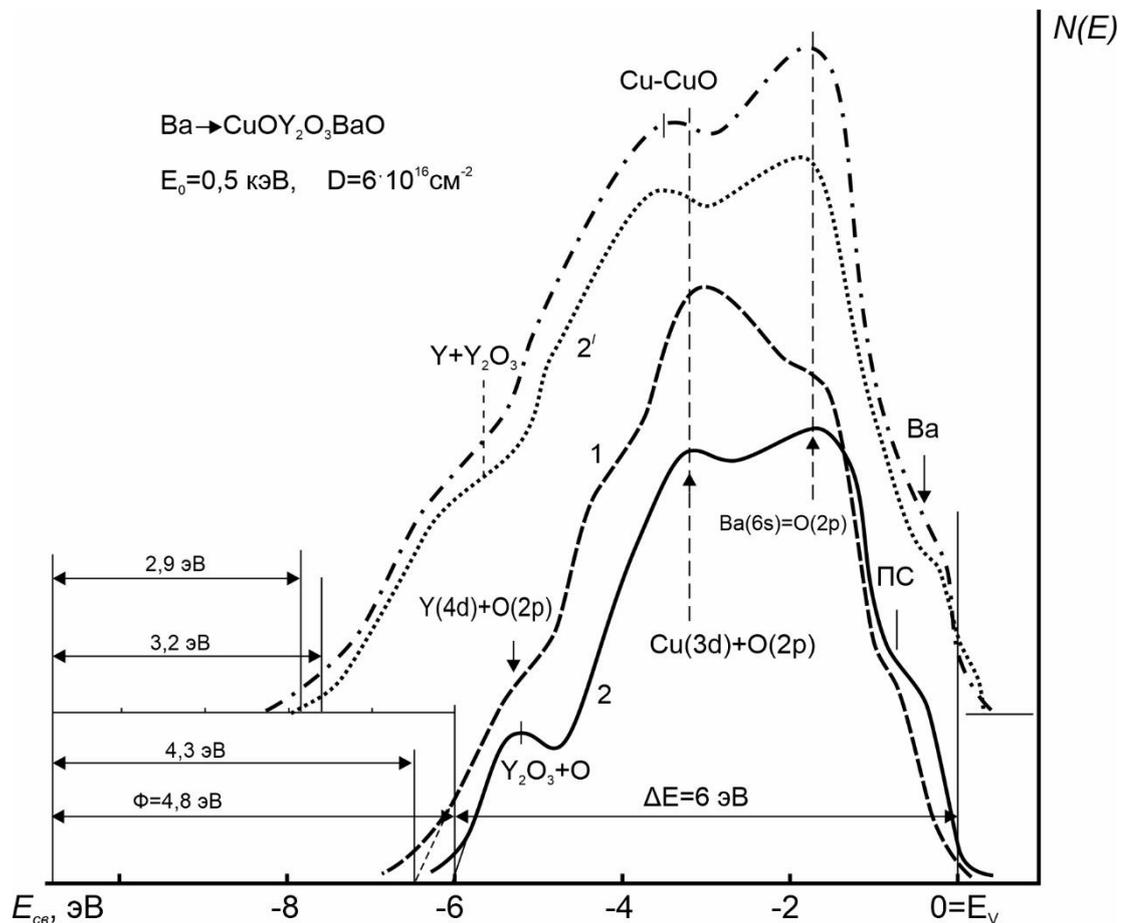
Biz YHO‘O‘ sirt holatini ikkita harorat rejimida o‘rgandik: xona haroratida ($T \approx 300$ K) va $\text{CuOY}_2\text{O}_3\text{BaO}$ ning kritik haroratiga ($T_c=85\text{K}$, $\Delta T=1,5\text{K}$) yaqin bo‘lgan suyuq azotning qaynash harorati ($T \approx 80 \div 85$ K). "Sof" va energiyasi $E_0=0,5$ keV Ba^+ ionlari bilan legirlangan keramika uchun suyuq azot haroratida I_Φ fotoemissiya tokining ta'sir qilish vaqtiga bog‘liqligi 8 - rasmda keltirilgan. Ko‘rinib turibdiki, ion implantatsiyasidan keyin fototokning qiymati deyarli ikki barobar ortadi. Legirlanmagan namuna holatida I_f ning qiymati $t=0-5$ daqiqa oralig‘ida t oshishi bilan monoton pasayadi, $t=5-6$ daqiqada keskin kamaysa, $t \geq 6$ bo‘lganda deyarli o‘zgarmaydi.



8-rasm. Fotoemission tok kattaligining J_f “yaxlatish” rejimida ushlab turish vaqtiga bog‘liqligi. $t \approx 5$ min o‘tgandan keyin namuna harorati suyuq azot haroratigacha pasayadi. 1-legirlanmagan YHO‘O‘, 2- $\text{Ba}^+ \rightarrow \text{CuOY}_2\text{O}_3\text{BaO}$, $E_0 = 0,5$ keV.

Bundan kelib chiqan holda materiallarning o‘ta o‘tkazuvchanlik xususiyatlari ularning emission xossasi xususiyatlariga qaraganda hajmiy xarakterga ega bo‘ladi deb taxmin qilish mumkin.

9 - rasmda xona haroratida ($T = 300$ K) va suyuq azot haroratida ($T = 85$ K) $10,8$ eV energiyali fotonlar bilan nurlantirilgan “sof” va ionli legirlangan ($E_0=0,5$ keV, $D=6 \cdot 10^{16} \text{sm}^{-2}$) o‘ta o‘tkazgich fotoelektronlarining energiya bo‘yicha taqsimoti keltirilgan. Namunani turli Namunaning turli haroratlarida qayd etilgan legirlanmagan $\text{CuOY}_2\text{O}_3\text{BaO}$ spektrlarining uchta muhim farqlarini ko‘rishimiz mumkin. Birinchidan nishon sovganidan so‘ng fotoelektronlarning energiya bo‘yicha taqsimot kengligi taxminan $0,5$ eV gacha kamayadi va shunga mos ravishda chiqish ishi ($\Phi = h\nu - \Delta E$) bir xil miqdorda ortadi. Ikkinchidan, past haroratli egri chiziqning yuqori energiyali tarmog‘i tikroq bo‘lib, bu Fermi darajasiga yaqin "issiq" elektronlarning "muzlashi" bilan bog‘liq. Uchinchidan, suyuq azot haroratida fotoelektronlar spektrida kuzatilgan barcha xususiyatlar xona haroratiga qaraganda aniqroq (yaqqol) ko‘rinadi.

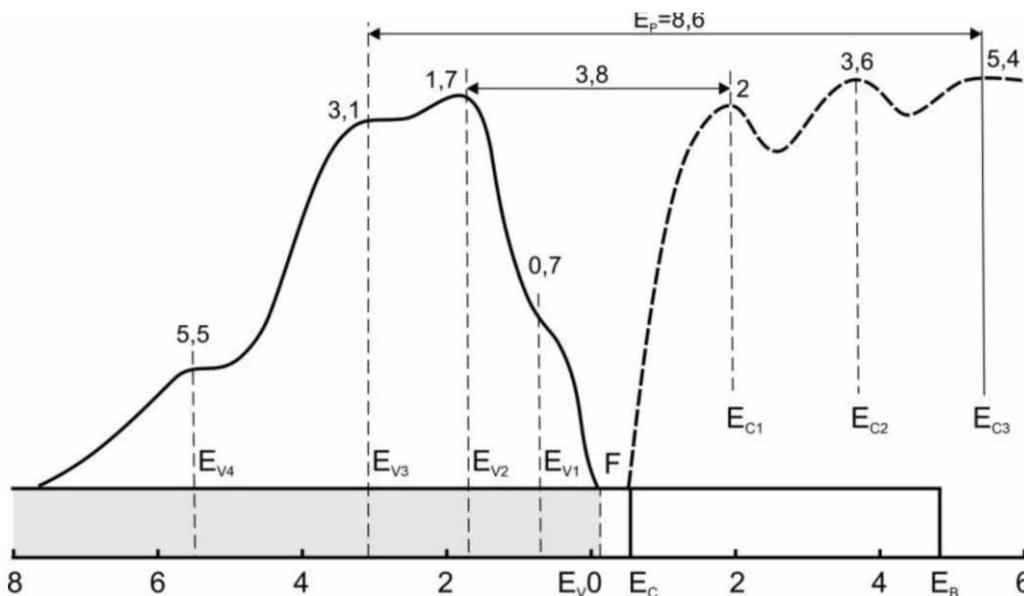


9-rasm. O‘ta o‘tkazgichning implantatsiyagacha (1 va 2 egri chiziq) va $E_0 = 0,5 \text{ keV}$ ga ega bo‘lgan Ba^+ ionlari bilan implantatsiyadan (1' va 2') so‘ng UBFES olingan o‘ta spektri. 1. 1' – $T \approx 300 \text{ K}$; 2. 2' – $T \approx 85 \text{ K}$;

UBFES va CYPƏ spektrlarining tahlili asosida o‘ta o‘tkazuvchan holatga ($T \approx 85 \text{ K}$) mos keladigan legirlanmagan $\text{CuOY}_2\text{O}_3\text{BaO}$ sirtining taxminiy energiya diagrammasi qurilgan (10-rasm). Keltirilgan diagrammadan ko‘ringanidek, $\text{CuOY}_2\text{O}_3\text{BaO}$ valent zonasi va o‘tkazuvchanlik zonasining strukturasi murakkab xarakterga ega. O‘ta o‘tkazuvchan holatda mazkur YHO‘O‘ ning Fermi sathi to‘ldirilgan holatlarning yuqori chegarasiga (tomoniga) yaqin joylashadi. To‘ldirilgan va bo‘sh holatlar o‘rtasida energiya kengligi 0,4-0,5 eV bo‘lgan tor bo‘shliq (tirqish) mavjuddir.

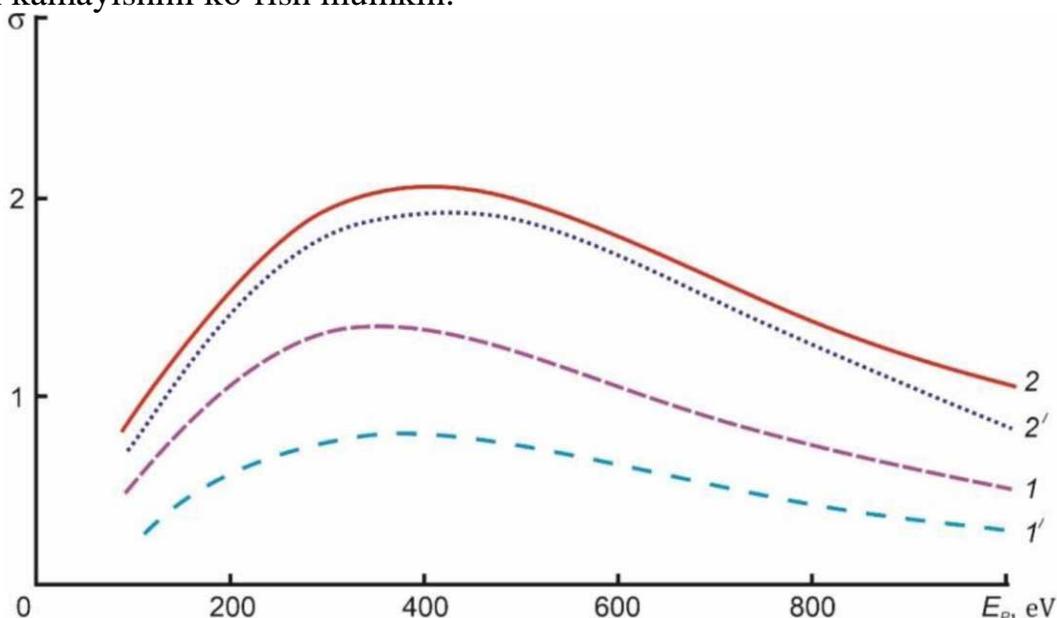
O‘ta o‘tkazgichlarning xususiyatlari turli omillar ta'siriga juda sezgir, xususan havoda uzoq vaqt saqlanadi.

Bu, asosan, havodan o‘ta o‘tkazgichga begona bo‘lgan turli xil atomlarning (C, O va boshqalar) namunalari hajmiga diffuziyasi bilan bog‘liq. O‘ta o‘tkazgich sirtida yoki uning yaqinida o‘xshash keraksiz effektlarni bartaraf yoki hech bo‘lmaganda sezilarli darajada kuchsizlantirish (susaytirish) uchun kirishma atomlarini kristall hajmiga kirishiga to‘sqinlik qiladigan “diffuzion” to‘siq kerak bo‘ladi. Ehtimol bu maqsadlar uchun nisbatan past energiyaga ega bo‘lgan ionlarning yuqori dozali implantatsiyasi natijasida hosil bo‘ladigan tartibsizlangan va “zichlangan” sirt osti qatlamini ishlatish mumkin.



10-rasm. O'ta o'tkazuvchan holatga mos keladigan $O + BaO$ sirtining taxminiy energiya diagrammasi.

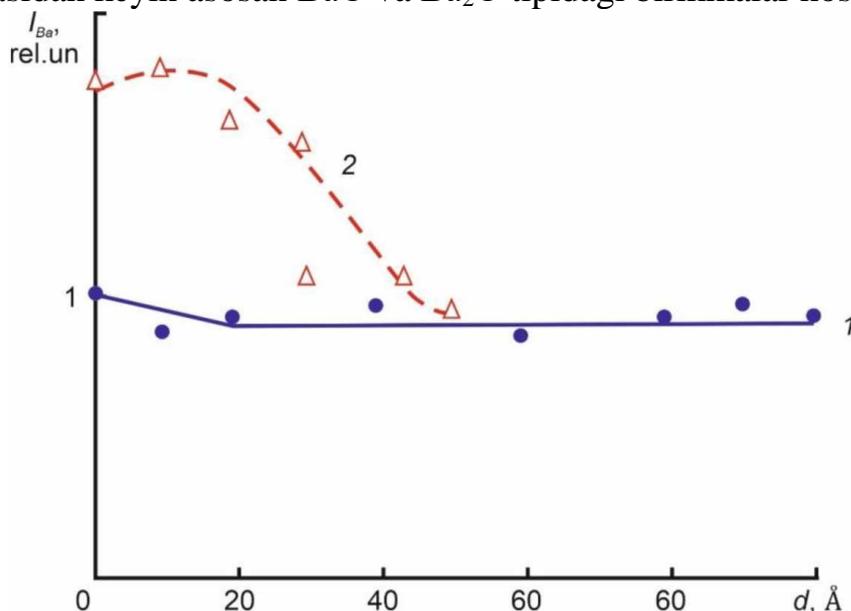
11-rasmda $D=6 \cdot 10^{16} \text{ sm}^{-2}$ to'yinish dozasida $E_0 = 0,5 \text{ keV}$ energiyali Ba^+ ionlari bilan implantatsiya qilingan $CuOY_2O_3BaO$ uchun σ ning (E_p) ga bog'liqligi keltirilgan. 11 - rasmdan ko'rinib turibdiki, ion implantatsiyadan so'ng birlamchi elektronlar energiyasining butun o'rganilayotgan hududi bo'ylab σ ning qiymati ortadi. Ta'kidlash kerakki, xona harorati ($T = 300 \text{ K}$) va kritik haroratda ($T_c = 85 \text{ K}$) o'lchangan legirlanmagan YHO'O' larda σ ning qiymati keskin farq qiladi. O'ta o'tkazuvchan holatda YHO'O' materiallarining emission samaradorligini keskin kamayishini ko'rish mumkin.



11-rasm. Legirlanmagan (1, 1') va Ba^+ ionlar bilan legirlangan YHO'O' (2, 2') uchun $\sigma(E_p)$ bog'liligi. 1, 2 – $T = 300 \text{ K}$. 1', 2' – $T = 85 \text{ K}$.

12 - rasmdan ko'rinib turibdiki, ion implantatsiyadan so'ng 30 - 40 Å gacha qalinlikdagi sirt osti qatlamlarida Ba konsentratsiyasi sezilarli darajada oshsa,

chuqurroq qatlamlarda esa YHO‘O‘ tarkibi deyarli o‘zgarmaydi. Bundan, kelib chiqqan holda $\text{CuOY}_2\text{O}_3\text{BaO}$ ning o‘ta o‘tkazuvchanlik xususiyatlari kattaroq ekanligini, ya’ni o‘ta o‘tkazuvchi holatdagi qatlam qalinligi 40 - 50 Å dan sezilarli darajada katta bo‘lishini taxmin qilish mumkin. Shuni ta’kidlash kerakki, ion implantatsiyasidan keyin asosan BaO va Ba_2O tipidagi birikmalar hosil bo‘ladi.



12-rasm. Ba oje-piki intensivligining chuqurlik bo‘yicha o‘zgarishi:
1 – Legirlanmagan namuna, 2 – $E_0=0,5$ keV, $D=6 \cdot 10^{16}$ sm^{-2} bo‘lgan Ba^+ ionlari bilan imlantatsiya qilingan YHO‘O‘.

Ion implantatsiya qilingan YHO‘O‘ sirtining tarkibi: $\text{CuO}_{0,5}\text{Y}_{0,5}\text{OBa}_3\text{O}_2$. Birinchi marta YHO‘O‘ materiallarning taqiqlangan zona kengligi va valent elektronlarning o‘rtacha soni hisoblandi (3-jadval). Oxirgisi XEYE spektrdan aniqlangan.

3-jadval.

Taqiqlangan soha kengligi va valent elektronlarning o‘rtacha soni

| Material | E_g , eV | n_{cp} |
|---|------------|----------|
| $\text{CuOY}_2\text{O}_3\text{BaO}$ | 0,5 | 4 |
| $\text{Ba}^+ \rightarrow \text{CuOY}_2\text{O}_3\text{BaO}$ | 4,5 | 3,5 |

Shunday qilib, ion implantatsiyadan so‘ng YHO‘O‘ sirt osti sohasida bariy bilan to‘yingan yupqa plyonka hosil bo‘ladi. 4-jadvalda $D = 6 \cdot 10^{16}$ cm^{-2} dagi $E_0 = 0,5$ keV energiyali Ba^+ ionlari bilan implantatsiyasidan oldingi va keyingi $\text{CuOY}_2\text{O}_3\text{BaO}$ yuzasidagi turli atomlarning taxminiy atom konsentratsiyasi keltirilgan.

4-jadval.

Atomlar konsentratsiyasi

| Material | C, at. % $\Delta C = \pm 5\%$ | | | |
|---|-------------------------------|----|----|----|
| | Cu | O | Y | Ba |
| $\text{CuOY}_2\text{O}_3\text{BaO}$ | 12 | 50 | 25 | 13 |
| $\text{Ba}^+ \rightarrow \text{CuOY}_2\text{O}_3\text{BaO}$ | 8 | 35 | 17 | 40 |

$D=6 \cdot 10^{16}$ da $E_0=1$ keV energiyali Ba⁺ ionlari implantatsiya qilingan silikat shisha sirtida Si, Pb va Ba oksidlari va atomlarining qizdirishdan oldin va keyingi tarkibi (mol.% da)

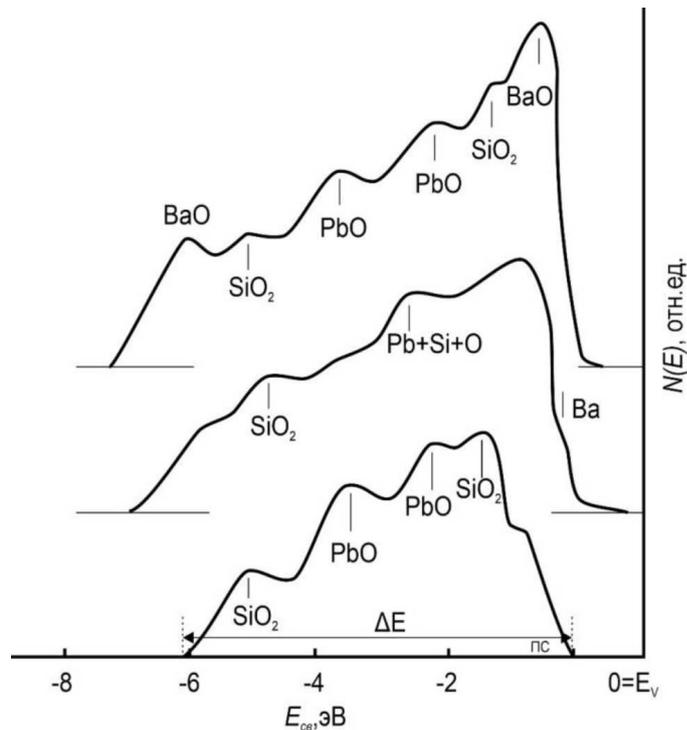
| Obekt | Si + O | Pb + O | Ba + O | Ba | Si | Pb |
|--------------------------------------|--------------------|--------|--------|----|----|----|
| Ba→C.C. $E_0=1$ keV | 16 | 30 | 38 | 10 | 2 | 4 |
| $T=900$ K qizdirilgandan so'ng | 28SiO ₂ | 43PbO | 29BaO | 0 | 0 | 0 |

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, ion-implantatsiyalangan SSh ni $T = 1000$ K da qizdirilganidan so'ng Si, Pb va Ba erkin atomlarining sirt konsentratsiyasi nolgacha kamayadi. SiO₂ va PbO oksidlarning konsentratsiyasi sezilarli ortadi Ba + O – 8 - 10 mol.% ga kamayadi.

14 - rasmda energiyasi 10,8 eV bo'lgan fotonlar bilan nurlantirilganda toza va ionli legirlangan ($E_0 = 0.5$ keV, $D = 6 \cdot 10^{16}$ sm⁻²) silikat shishasining qizdirishdan oldin va $T = 950$ K da qizdirilgandan keyingi fotoelektronlarning energiya bo'yicha taqsimot grafigi keltirilgan. Spekrda kuzatiladigan maksimumlarni o'rganish uchun SiO₂, PbO va BaO larning, nisbatan qalin plyonkasi uchun fotoelektronlar spektrlari olingan. Legirlanmagan shisha holatida $E_{CB} = -1$ eV da kuzatiladigan sirt holatlariga (SH) tegishli. $E_{CB} = -1,8$ eV va $-5,2$ eV dagi SiO₂ ga tegishli bo'lsa, $E_{CB} = -2,2$ eV va $-3,3$ eV dagi piki PbO tegishli. Ko'rinib turibdiki, ion implantatsiyadan so'ng asosiy piklarning joylashuvi o'zgaradi va ularning intensivliklari sezilarli darajada kamayadi. $E_{CB} = -0.3$ eV va -0.8 eV da yangi piklar hosil bo'ladi. Ular Ba atomlari va stexiometrik bo'lmagan bariy oksidlaridan elektronlarni qo'zg'alishi hisobiga yuzaga keladi. Mazkur o'zgarishlar Pb va Si oksidlarni parchalanishi, stexiometrik bo'lmagan Ba, Pb va Si larning oksidlarning shakllanishi, shuningdek sirt qatlamlarida bog'lanmagan Ba, Pb va Si atomlarning mavjudligi bilan bog'liq. Ion-implantatsiyalangan namuna qizdirilganidan so'ng spektrda BaO, SiO₂ va PbO ga xos bo'lgan aniq xususiyatlar o'rnatiladi. Fotoelektronlarning spektridan vakuum sathiga nisbatan E_V valent zona shiftini aniqlash mumkin, bu fotoelektron chiqish ishi Φ ga tengdir:

$$E_V = \Phi = h\nu - \Delta E \quad (2)$$

Bu yerda ΔE - energiya spektri egri chizig'ining kengligi. Ta'kidlash kerakki, namuna orqali o'tadigan yorug'lik intensivligiga bog'liqligini tadqiq etish o'rganilayotgan materiallar zonalarining asosiy parametrlarini aniqlashga imkon beradi.



14-rasm. Fotoelektronlarning energiya bo'yicha taqsimoti: 1 – legirlanmagan shisha, 2 – $E_0=1\text{keV}$ bo'lganda $D = 6 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ Ba^+ ionlari bilan implantatsiyadan keyin, 3 – ion bilan implantatsiya qilingan namunani $T = 1000 \text{ K}$ qizdirgandan keyingi holat.

XULOSA

1. Nanostrukturalash issiqlik o'tkazuvchanlikni keskin (100 martagacha) kamayishiga olib kelishi va uning harorat bog'liqligini o'zgartirishi ko'rsatilgan. Nanostrukturali materiallarning issiqlik o'tkazuvchanligi nanozarralarning o'lchami, ularning tashkil qiluvchilariga, shuningdek ularning hajmiy ulushiga bog'liq bo'ladi. $T = 300 - 700 \text{ K}$ oralig'ida R va S qiymatlari deyarli o'zgarmasligi, $T = 700 - 1000 \text{ K}$ oraliqda esa chiziqli bo'lmaganligi aniqlandi. Haroratning 300-1000 K oralig'ida legirlangan silikatning qarshiligi va TermoEYUK koeffitsientini dastlabki o'lchashlar ushbu xususiyatlar termoelektr materiallarning parametrlariga sifat jihatidan mos kelishini ko'rsatdi.
2. Ushbu koeffitsientlarning (issiqlik uzatish jarayonining noxiziqiligi) haroratga bog'liqligini hisobga olgan holda materiallarning issiqlik o'tkazuvchanligi va harorat o'tkazuvchanligi koeffitsientlarini aniqlash usuli yaratildi va amalga oshirildi.
3. Nanokristallar shishada eritish jarayonida hosil bo'lishi, yuqori haroratlarda strukturaviy o'zgarishlarga uchrashi va zaryad tashuvchining lokalizatsiya markazlari vazifasini bajarishi ko'rsatilgan. Strukturaviy o'tishlar ($T \geq 1000 \text{ K}$) tugagandan so'ng, kirishmalar zonasi yangi holatda (valentlik zonasining yuqori qismidan 0,5-1,5 eV masofada) o'rnatiladi va va LSS belgilangan

- faol o'tkazuvchanlik energiyasiga ega yarimo'tkazgichga aylanadi. Barcha legirlangan shishalar boshlang'ich shisha ($\rho \geq 10^{14} \text{ Om}\cdot\text{m}$) ga nisbatan yuqori elektr o'tkazuvchanlikka ($\rho_d = 4 \cdot 10^{-7} \text{ Om}\cdot\text{m}$) ega ekanligi aniqlandi.
4. LSS hatto qalin plyonkali ko'rinishda (plyonka qalinligi 25 mkm atrofida) tayyorlanganda ham hajmiy material bo'lishi ko'rsatilgan, chunki harakatchanlikning yuqori chegarasi ($5 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{B}\cdot\text{c}$) bo'yicha baholangan xarakterli uzunliklar (elektronlarning tarqalishi yoki erkin yurishi) 0,1 mikrondan kam.
 5. Birinchi bor YHO'O' va silikat shishaning tarkibiga, valent elektronlarning holatlar zichligiga, energetik zonalar parametrlariga, bitta qisman g'alayonlashish energiyasi va plazmon tebranishlariga Ba^+ ionlari implantatsiyasining ta'siri o'rganildi. Xususan, ion implantatsiyadan so'ng YHO'O' ning taqiqlangan zona kengligi sezilarli darajada oshishi, silikat shishaniki esa kamayib ketishi ko'rsatilgan. Ushbu o'zgarishlarning asosiy mexanizmlari aniqlandi.
 6. Ba^+ ionlari implantatsiyasidan so'ng YHO'O' sirtida $\text{CuO}_{0.5}\text{Y}_{0.5}\text{OBa}_3\text{O}_2$ tarkibdagi nanoplyonka hosil bo'lishi aniqlandi. Ushbu qatlamlarda suyuq azot haroratida ham boshlang'ich YHO'O' ning o'ta o'tkazuvchi xususiyatlari yo'qolishi ko'rsatilgan ko'rsatilgan.
 7. YHO'O' ni $T = 80 \text{ K}$ gacha sovutilganda fotoelektronlar chiqish ishining ortishi va emissiya samaradorligini kamayishi, ion-implantatsiyadan so'ng esa ion-implantatsiyalangan qatlamlarning emissiya samaradorligi keskin oshishi kuzatiladi.
 8. Materiallarning o'ta o'tkazuvchan xususiyatlari ularning emissiya xususiyatlariga qaraganda "hajmiy" xarakterga ega ekanligi aniqlandi. Shuning uchun kichik energiyali ion implantatsiyadan so'ng $\text{CuOY}_2\text{O}_3\text{BaO}$ sirtining fizik-kimyoviy xususiyatlarining o'zgarishi kritik harorat qiymatining sezilarli o'zgarishiga olib kelmaydi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ PhD.03/30.09.2020.FM.55.04 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ УРГЕНЧСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

УРОКОВ АЗИМЖОН НАРЗУЛЛАЕВИЧ

**ПОЛУЧЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ СИЛИКАТНЫХ СТЕКОЛ**

01.04.04- Физическая электроника

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

Ургенч – 2024

Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером № B2020.2.PhD/FM469.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещён на веб-странице Научного совета по адресу www.iplt.uz и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу www.ziyo.net.

Научный руководитель: **Ташмухамедова Дилноза Артикбаевна**
доктор физико-математических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Исаханов Зинабидин Абилпейзович**
доктор физико-математических наук, профессор

Курбанов Музаффар Кадамбаевич
кандидат физико-математических наук, доцент

Ведущая организация: **Ферганский политехнический институт**

Защита диссертации состоится «__» _____ 2024 года в __ часов на заседании Научного совета PhD.03/30.09.2020.FM.55.04 при Ургенчском государственном университете. (Адрес: 220100, г. Ургенч, ул. Х. Алимджана, дом 14. Тел.: (99862)224-66-11, факс: (99862) 224-67-00, e-mail: fizelektronika.urdu@umail.uz)

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ургенчского государственного университета (зарегистрирована за № _____). (Адрес: 220100, г. Ургенч, ул. Х.Алимджана, дом 14. Тел.: (99862) 224-66-11, факс: (99862) 224-67-00).

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2024 года.
(протокол рассылки № _____ от «__» _____ 2024 года).

О.О. Кутлиев
Председатель Научного совета по
присуждению ученых степеней,
д.ф.-м.н., профессор

К.Р. Якубов
Ученый секретарь Научного совета по
присуждению ученых степеней,
д.ф.-м.н., доцент

К.А. Исмаилов
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. В мире интерес к исследованию легированных силикатных стекол (ЛСС) прежде всего обусловлен применением их в создании пленочных резисторов и чипов в датчиках различных физических и химических воздействий. Однако многие аспекты легированных силикатных стекол до сих пор не изучены. Подавляющее большинство силикатов является хорошими электрическими изоляторами. Основой толстопленочных резисторов являются силикатные стекла разных составов. На сегодняшний день все исследования легированных силикатных стекол проводились на образцах, легированных совместным спеканием субмикронных порошков силикатных стекол и легирующего оксида металла при температурах около 1123 К. Однако в до сих пор состояние атомов лигатуры в легированных стеклах не изучено. Поэтому на данный момент особое внимание уделяется созданию материалов с улучшенными свойствами.

В мире в настоящее время также интенсивно ведутся исследования по созданию новых видов ВТСП материалов и влияния на их свойства различных внешних воздействий. Также предложен способ получения новых сверхпроводящих композиционных материалов на основе ВТСП соединений с повышенным уровнем токонесущей способности как в нулевом магнитном поле, так и во внешних магнитных полях повышенной напряженности. Особый интерес представляет получение ВТСП – ленты второго поколения. Эти электротехнические материалы создаются на основе эпитаксиальных гетероструктур и очень перспективны при разработке новых приборов электроэнергетики.

В нашей республике проводятся исследования по получению ЛСС и ВТСП материалов, разработке методов сохранения их свойств при различных воздействиях и их применению. Стратегия развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы ставит задачу создания широких возможностей для реализации инновационных проектов, поддержки исследований и внедрения современных механизмов поддержки инновационных инициатив³. Для выполнения этих задач важно изучить закономерности изменения состава, структуры и физических свойств материалов ВТСП и легированных силикатных стекол.

Постановлениях Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28 января 2022 года «О стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы», № ПП-4422 «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии» от 22 августа 2019 года, а также в других нормативно-правовых документах, принятых в Республике за последние годы в данной сфере

³ Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» // Собрание законодательства Республики Узбекистан, 29.01.2022 г., № 06/22/60/0082

связанные с этой деятельностью, в определенной степени служат для реализации поставленных задач настоящего диссертационного исследования.

Соответствие исследования с основными приоритетными направлениями развития науки и технологий в республике.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики Узбекистан – III. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение, транспорт, машино- и приборостроение; развитие современной электроники, микроэлектроники, фотоники, электронного приборостроения».

Степень изученности проблемы. В последние два десятилетия резко возрос интерес к термоэлектрическим явлениям в различных материалах вследствие а) угрозы истощения запасов ископаемых топлив (нефть, газ, уголь), и требуется создание достаточно эффективных и дешевых способов использования энергии возобновляемых источников; б) расширения технических и технологических возможностей человечества, увеличивающего количество бросового тепла, которое загрязняет окружающую среду и создает угрозу существованию человека, что вынуждает искать способы использования этого тепла (вторичных энергоресурсов); в) обнаружения нового класса термоэлектрических материалов и создания теории «фононное стекло, электронный кристалл».

Важен также научный аспект, заключающийся в том, что термоэлектричество а) дает информацию о состоянии электронной подсистемы в различных веществах; б) служило и служит экспериментальной основой для проверки представлений неравновесной термодинамики.

В связи с этим в последнее время внимание ведущих ученых мира направлено на выявление новых возможностей создания дешевых и эффективных термоэлектрических материалов (ТЭМ) с низкой теплопроводностью, используемых в термоэлектрических генераторах (ТЭГ) для преобразования ВЭР в электрическую энергию. А.Г. Самойлович и Л.Л. Коренблит впервые показали, что выделение тепла, пропорционального току, связано исключительно с неоднородностью системы. Обнаружили, что нелинейные свойства во многих термоэлектрических материалах связаны с появлением высоких градиентов температуры, возникающих в наноструктурах. О.Yamashita теоретически рассмотрел влияние различных факторов (разогрев носителей, выпрямление на p-n переходе, инверсия знака носителей) на термоэлектрические свойства различных полупроводников. Механизмы электропроводности легированных силикатных стекол изучены Г.Абдурахмановым и др. Было показано, что наличие нанокристаллов в стекле приводит к различию коэффициентов диффузии атомов лигатуры в них и в окружающей неупорядоченной фазе, и возникает дополнительная неоднородность в распределении атомов лигатуры в ЛСС с соответствующим распределением уровней (путей) протекания заряда (тока).

Подход к термоэлектрическим явлениям с позиций нелинейной неравновесной термодинамики или ВЧ-квазипотенциала, в отличие от

линейной неравновесной термодинамики, вводит в рассмотрение временные характеристики этих явлений. Однако эти подходы пока не разработаны в должной мере для того, чтобы можно было сделать какие-либо заключения о происхождении термоЭДС и ее зависимости от различных параметров, в том числе и от свойств (состава, структуры, энергетических зон) исследуемого материала.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация.

Работа выполнена в Ташкентском государственном техническом университете в рамках Государственной программы научно – исследовательских работ РУз и проекта MRB-OT-2019-28 «Разработка физических основ формирования наноструктурированных силикатных стекол с улучшенными теплофизическими свойствами» (2019-2021 г.)

Цель исследования: Изучение закономерностей формирования наноструктур на поверхности силикатных стекол и ВТСП материалов при ионной имплантации, а также выяснение механизмов изменения их состава, структуры и физических свойств.

Задачи исследования:

изучение морфологии и элементного состава поверхности стекол С71-К, Б34Е и РС5;

измерение сопротивления и коэффициента термоЭДС силикатных стекол;

разработать способ определения и исследования теплопроводности силикатных стекол. Изучение процессов формирования нанокристаллов и измерение электропроводности силикатных стекол;

изучение влияния ионной имплантации на состав и электронную структуру ВТСП пленок $\text{CuOY}_2\text{O}_3\text{BaO}$ и силикатных стекол. Изучение формирования наноразмерных соединений в ВТСП материалах и ее влияние на свойства ВТСП.

Объектами исследования являются силикатные стекла С71-К, Б34Е и РС5 и керамика $\text{CuOY}_2\text{O}_3\text{BaO}$.

Предметом исследования являются закономерности изменения состава, структуры и физических свойств при легировании силикатных стекол и ВТСП материалов.

Методы исследования: При выполнении диссертационной работы применены следующие методы исследования: растровая электронная микроскопия (РЭМ), ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия (УФЭС), Оже-электронная спектроскопия (ОЭС), спектроскопия упруго отраженных электронов (СУОЭ), спектроскопия характеристических потерь энергии электронами (СХПЭЭ), дифракция быстрых электронов (ДБЭ), дифракция медленных электронов (ДМЭ).

Научная новизна исследования состоит в следующих результатах:

Впервые показано, что распределение компонентов по поверхности стекла существенно неоднородное (показано методами микроскопии).

Установлено, что после легирования атомы рутеинов не обнаруживаются на поверхности и они в основном внедряются в приповерхностный слой стекла.

Показано, что в интервале температур $T = 300 - 700$ К значение сопротивления R и термоЭДС S легированного силикатного стекла существенно не меняются, а в интервале $T = 700 - 1200$ К зависимости $R(T)$ и $S(T)$ имеют скачкообразный характер, что объясняется возникновением структурных переходов. Создана измерительная установка на основе микроконтроллерной платы Arduino Due и усилителя MAX31856MUD+, позволяющая автоматически измерять температурную зависимость сопротивления и коэффициента термоЭДС образцов с высокой точностью в интервале 300-1200 К. В дальнейшем этот диапазон будет расширен до 77 К.

Показано, что нанокристаллы с размерами 1 – 2 нм возникают при остывании легированного силикатного стекла с $T = 800$ К. Впервые показано, что имплантация ионов Ba^+ в $CuOY_2O_3BaO$ приводит к увеличению ширины запрещенной зоны ~ 9 раз, а в силикатное стекло $SiO_2 + PbO$ – к уменьшению в 2,5 раза.

Установлено, что после имплантации Ba^+ в $CuOY_2O_3BaO$ с $E_0 = 0,5$ кэВ на поверхности формируется нанопленка типа $CuO_{0.5}Y_{0.5}OBa_3O_2$ с толщиной 30 – 40 Å. Показано, что при охлаждении сверхпроводника до $T = 80$ К происходит увеличение фотоэлектронной работы выхода и уменьшение эмиссионной эффективности.

Практические результаты исследования:

Разработаны механизмы создания новых термоэлектрических материалов, позволяющих преобразовать вторичные энергоресурсы (ВЭР) в электрическую энергию эффективными и дешевыми устройствами. Установлено, что все легированные стекла имеют высокую электропроводность ($\rho_d = 4 \cdot 10^{-7}$ Ом·м) по сравнению с исходным стеклом ($\rho \geq 10^{14}$ Ом·м).

Достоверность результатов исследований в диссертации обосновывается применением взаимодополняющих комплекса методов электронной, оптической, зондовой спектроскопии и микроскопии, публикациями в рецензируемых научных журналах, выступлениями на международных конференциях, соответствием полученных результатов с результатами других авторов.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость: выявлены закономерности по получению легированных силикатных стекол и ВТСП-материалов с улучшенными свойствами, которые имеют важное значение для развития теории термоэлектрических явлений и взаимодействия заряженных частиц с наноразмерными пленками.

Практическая значимость: получены легированные силикатные стекла и ВТСП-материалы с улучшенными физическими свойствами, которые предназначены для широкого применения в мощной энергетике, в пленочных силикатных стеклах.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научных результатов по созданию легированных силикатных стекол и высокотемпературных сверхпроводников, а также изучению изменения их теплопроводности, состава, плотности состояния валентных электронов, параметров энергетических зон, энергии одночастичных возбуждений и плазменных колебаний ВТСП и силикатных стекол в процессе ионной имплантации:

эффективно использовались при реализации научно-технических задач проекта Uzb-Ind-2021-78 «Термоэлектрические свойства и процессы самоорганизации в силикатах, легированных оксидами металлов» в частности для выяснения путей создания эффективных и дешевых термоэлектрических материалов из легированных силикатных стекол и ВТСП-материалов, которые предназначены для широкого применения в мощной энергетике, в пленочных силикатных стеклах (Справка Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека от 26 января 2024 года № 01/11-815). Даны рекомендации по созданию современных тензометрических датчиков, основанных на термоэлектрических явлениях.

Полученные результаты по созданию новых термоэлектрических материалов, позволила повысить качество, долговечность и эффективность производства изделий при изготовлении цветных и тонированных стекол в виде листов, а также других видов изделий из стекла в АО «Кварц» (Справка АО «Кварц» от 7 мая 2024 года № 01-17/447).

Апробация результатов исследования. Основные результаты работы доложены и обсуждены на 10 конференциях, в том числе на 7 международных и 3 республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. Основные результаты исследований по теме диссертации опубликованы в 14 научных трудах, из которых 4 статей в научных журналах, в том числе 4 в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций.

Объем и структура диссертации. Структура диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации содержит 135 страниц текста, включая 58 рисунков и 14 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, описана степень изученности проблемы, приводится связь исследований с приоритетными направлениями развития науки и технологий в республике, сформулирована цель и задачи диссертационной работы, приводится научная новизна, научная и практическая значимость полученных результатов, приведены краткие сведения о внедрении результатов и апробации работы, а также об объеме и структуре диссертации.

Первая глава «Обзор литературы» посвящен краткому литературному обзору работ, посвященных: 1.1. Синтез и легирование силикатов, 1.2. Современное состояние физики термоэлектрических явлений, 1.3. Влияние различных воздействий на параметры высокотемпературных сверхпроводников, 1.4. Влияние ионной бомбардировки на состав и свойства сверхпроводников, 1.5. Постановка задач исследования.

Во II главе «Методика экспериментов» описаны объекты исследования и их подготовка, базовые установки, устройства электронной и ионной пушек, источника фотонов ультрафиолетового излучения, а также методы регистрации энергетических зависимостей КВЭЭ и квантового выхода фотоэлектронов, спектров оже – и упруго-отраженных электронов, ХПЭ и фотоэлектронов.

Третья глава «Морфология, состав, структура и физические свойства легированных силикатных стекол» посвящена получению силикатных стекол, изучению их морфологии, электрофизических свойств способом определения теплопроводности, исследованию влияния формирования псевдощелей и нанокристаллов на электропроводности легированных силикатных стекол.

Были исследованы стекла следующих составов:

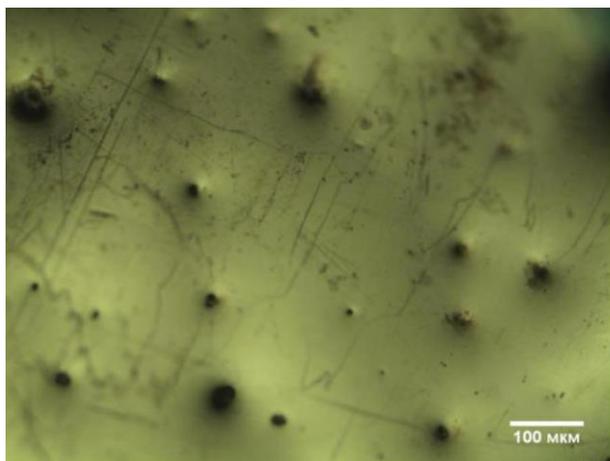
33 масс.% SiO₂ + 67 масс.% PbO (С71-К),

29 масс.% SiO₂ + 67 масс.% PbO + 4 масс.% BaO (Б34Е),

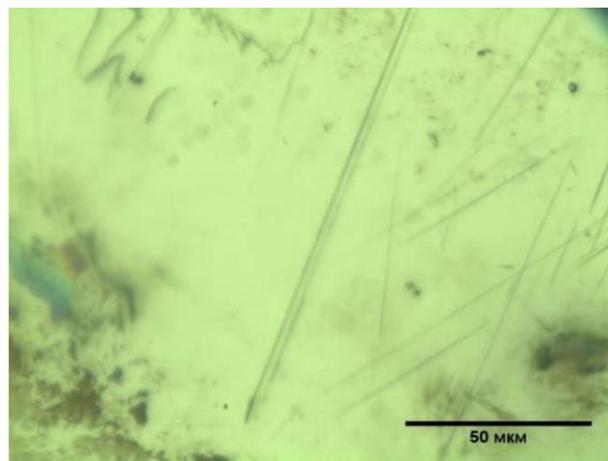
11 масс.% SiO₂ + 58 масс.% PbO + 15 масс.% В₂О₃ + 14 масс.% MnO₂ + 2 масс.% CuO (РС5).

Микроструктура поверхности образцов изучалась на металлографическом микроскопе МИ-1 и в сканирующем электронном микроскопе MIRA3 TESCAN. Как видно из рисунка 1, микроструктура поверхностного слоя исследуемых образцов не является однородной.

На поверхности образца были обнаружены множество частиц сферической формы размером менее 50 мкм, которые, как можно предположить, расположены в аморфной матрице.



а)



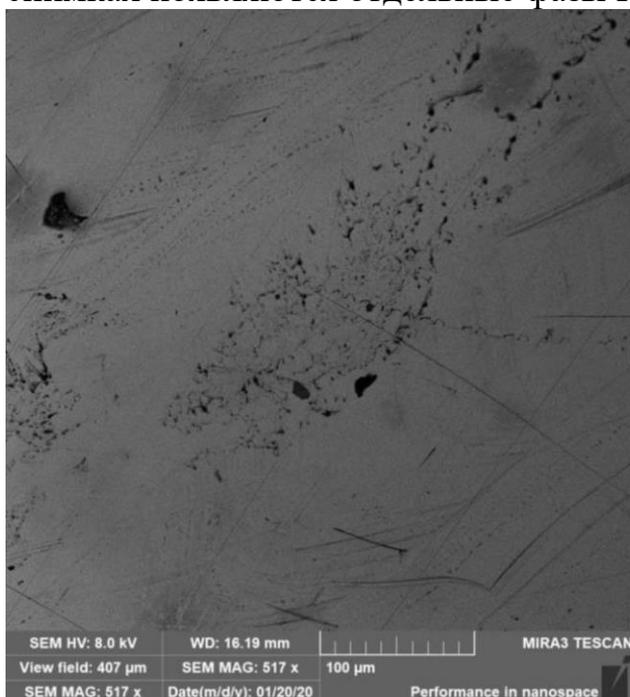
б)

Рис. 1. Микроструктура поверхности образца РС5

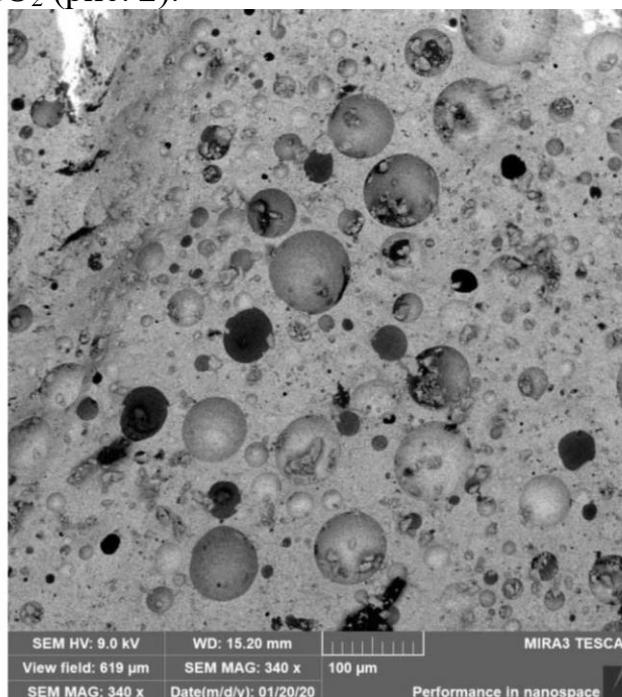
Образец Б34Е характеризуется пористой структурой и состоит из отдельных частиц предположительно с аморфной структурой.

На поверхности образца РС5 наблюдаются поры размером до 40 мкм (рис. 1, а), которые, как можно предположить, сформировались в процессе изготовления образца. Поверхность гладкая, без каких-либо признаков кристаллизации.

После легирования этих стекол 10 масс.% RuO_2 в микроскопических снимках появляются отдельные фазы RuO_2 (рис. 2).



а)



б)

Рис. 2. Поверхность объемных образцов спеченных порошков стекла РС5 до (а) и после (б) легирования (10 масс.% RuO_2) в сканирующем электронном микроскопе. Черные фигуры – остатки частиц RuO_2

Согласно данным рентгеноструктурного анализа образцы С71-К и Б34Е являются аморфно-кристаллическими (рисунок 3, а-б), в то время как образец РС5 представлен только аморфной фазой (рисунок 3, в). О формировании аморфной фазы свидетельствует появление в исследованном угловом интервале интенсивного первого диффузного гало и слабого второго диффузного гало с плечом. Причем рентгенограммы частично закристаллизованных образцов С71-К и Б34Е помимо диффузных гало от аморфной фазы содержат дифракционные рефлексы от кристаллических фаз, соответствующих силикату свинца состава $Pb(SiO_3)$ и оксиду свинца PbO_2 . На рентгенограмме образца Б34Е помимо указанных фаз также обнаружены дифракционные максимумы от $BaSi_2O_5$ и BaO .

Аморфная фаза, как можно предположить, соответствует соединениям на основе высококремнеземистого силиката свинца $PbO \cdot 2SiO_2$ или оксиду кремния SiO_2 .

Положение первого диффузного максимума аморфной фазы образца С71-К соответствует $2\theta_1=27,98^\circ$ ($d_1=0,3189$ нм), а второго - $2\theta_2=45,77^\circ$ ($d_2=0,1982$ нм). Для образцов Б34Е и РС5 максимумы гало расположены на $2\theta_1=27,27^\circ$ ($d_1=0,3069$ нм), $2\theta_2=45,07^\circ$ ($d_2=0,2011$ нм) и $2\theta_1=29,09^\circ$ ($d_1=0,3283$ нм), $2\theta_2=47,06^\circ$ ($d_2=0,1931$ нм).

Положение диффузного максимума связано с радиусом первой координационной сферы R_1 соотношением Эренфеста:

$$2R_1 \sin \theta = 1,23\lambda, \quad (1)$$

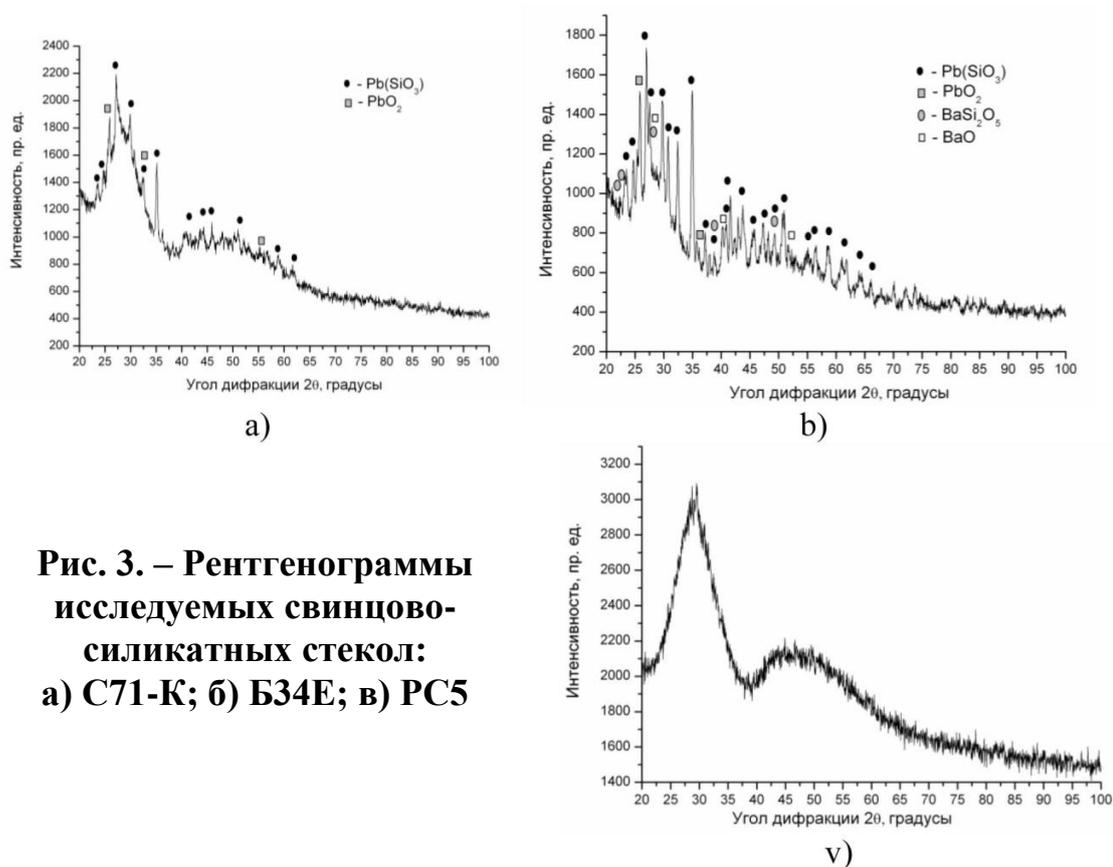


Рис. 3. – Рентгенограммы исследуемых свинцово-силикатных стекол:
а) С71-К; б) Б34Е; в) РС5

На рисунке 4 показаны рентгенограммы легированных стекол С71-К, Б34Е и РС5 в сравнении с рентгенограммами нелегированных образцов (верхние кривые). Хорошо видны рефлексы, как от частиц лигатуры, так и продуктов кристаллизации стекла.

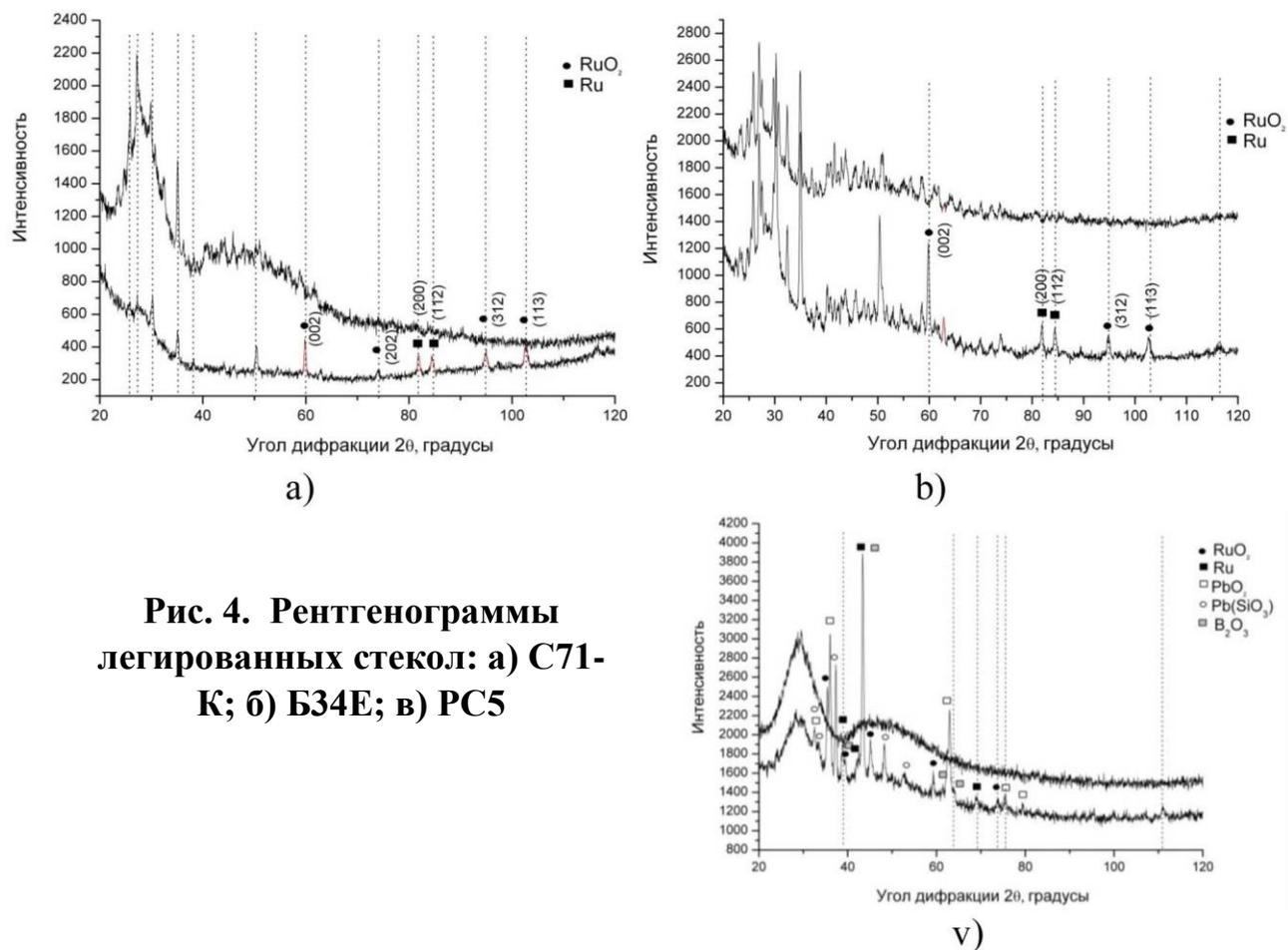
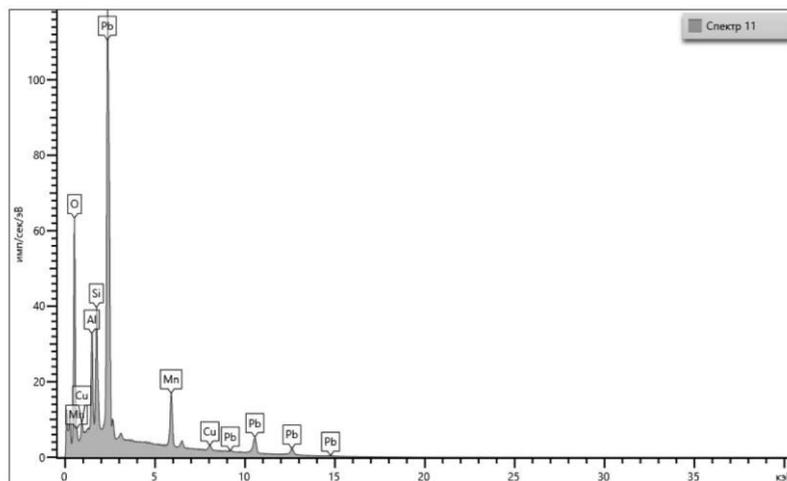


Рис. 4. Рентгенограммы легированных стекол: а) С71-К; б) Б34Е; в) РС5

На рис. 5 и 6 приведены энергодисперсионные спектры в разных точках образца стекла Б34Е до и после легирования. Соответствующие содержания элементов приведена в таблицах 1 и 2.

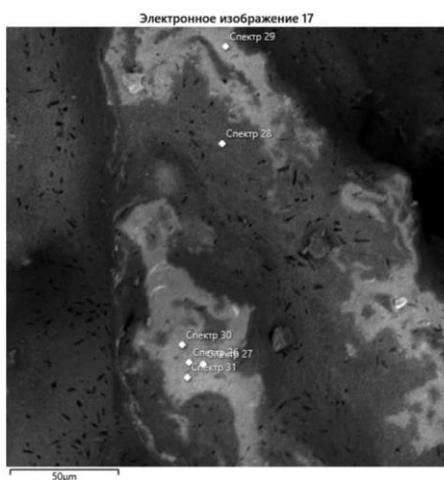


а)

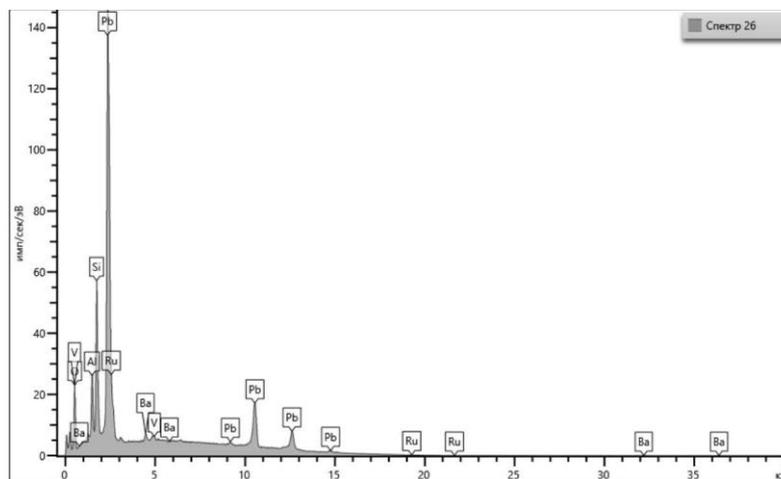


б)

Рис. 5. – Энергодисперсионные (рентгенофлуоресцентные) спектры образца стекла Б34Е до легирования (рисунок 5, а)



а)



б)

Рис. 6 – Энергодисперсионные (рентгенофлуоресцентные) спектры в разных точках образца стекла Б34Е легированного (рисунок 6, а)

Таблица 1.

Содержание элементов в стекле РС5 до легирования (по рисунку 5, а, б)

| Тип результата | Вес % |
|----------------|-----------|
| Метка спектра | Спектр 11 |
| O | 47.45 |
| Al | 7.73 |
| Si | 8.48 |
| Mn | 9.23 |
| Cu | 1.44 |
| Pb | 25.66 |
| Всего | 100.00 |

| Статистика | O | Al | Si | Mn | Cu | Pb |
|------------------------|-------|------|------|------|------|-------|
| Макс | 47.45 | 7.73 | 8.48 | 9.23 | 1.44 | 25.66 |
| Мин | 47.45 | 7.73 | 8.48 | 9.23 | 1.44 | 25.66 |
| Средний | 47.45 | 7.73 | 8.48 | 9.23 | 1.44 | 25.66 |
| Стандартное отклонение | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Таблица 2.

Содержание элементов в легированном стекле БЗ4Е (по рисунку б)

| Тип результата | Вес % | | | | | |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Метка спектра | Спектр 26 | Спектр 27 | Спектр 28 | Спектр 29 | Спектр 30 | Спектр 31 |
| C | | | 25.46 | | 17.09 | |
| O | 26.02 | 26.39 | 24.99 | 40.22 | 16.29 | 28.55 |
| Mg | | 1.59 | | | | 1.21 |
| Al | 5.84 | 7.45 | 5.15 | 9.86 | 6.10 | 7.36 |
| Si | 11.93 | 15.42 | 12.21 | 20.23 | 12.35 | 14.15 |
| V | 0.48 | 0.45 | 0.29 | | 0.44 | 0.43 |
| Ru | 9.21 | 7.63 | | | | 7.34 |
| Ba | 2.34 | 3.58 | 1.60 | 3.23 | 3.91 | 3.68 |
| Pb | 44.19 | 37.48 | 30.30 | 26.46 | 43.81 | 37.28 |
| Всего | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

| Статистика | C | O | Mg | Al | Si | V | Ru | Ba | Pb |
|------------------------|-------|-------|------|------|-------|------|------|------|-------|
| Макс | 25.46 | 40.22 | 1.59 | 9.86 | 20.23 | 0.48 | 9.21 | 3.91 | 44.19 |
| Мин | 17.09 | 16.29 | 1.21 | 5.15 | 11.93 | 0.29 | 7.34 | 1.60 | 26.46 |
| Средний | | 27.08 | | 6.96 | 14.38 | | | 3.05 | 36.59 |
| Стандартное отклонение | | 7.71 | | 1.68 | 3.17 | | | 0.90 | 7.12 |

Анализ результатов показывает, что распределение компонентов по поверхности стекла (можно полагать, что по объему тоже) существенно неоднородное. Поскольку атомы рутения на поверхности образца не соприкасаются непосредственно и не образуют цепочек то эти спектры можно считать доказательством того, что легирование создает электропроводность в самом стекле.

Рентгеновская дифракция (рис. 7) показывает, что ЛСС является сильнонеоднородной средой, состоящей из стеклянной матрицы с закрепленными в ней кристаллическими остатками частиц лигатуры. Используемые в ЛСС оксиды или оксидные соединения имеют высокую электропроводность ($\rho_d = 4 \cdot 10^{-7} - 10^{-6} \Omega \cdot m$) по сравнению с исходным стеклом ($\rho_g \geq 10^{14} \Omega \cdot m$). Поэтому они принимались за центры локализации носителей заряда, и считалось, что носители переходят от одной частицы к другой прыжками с переменной длиной (моттовский механизм) или квантовомеханическим туннелированием через тонкий слой стекла.

Нанокристаллы с размерами 1–2 nm (рис. 7, формула Шерера) возникают в остывающем стекле самопроизвольно и, следовательно, являются для системы энергетически выгодными. Другими словами, нанокристаллы являются потенциальными ямами.

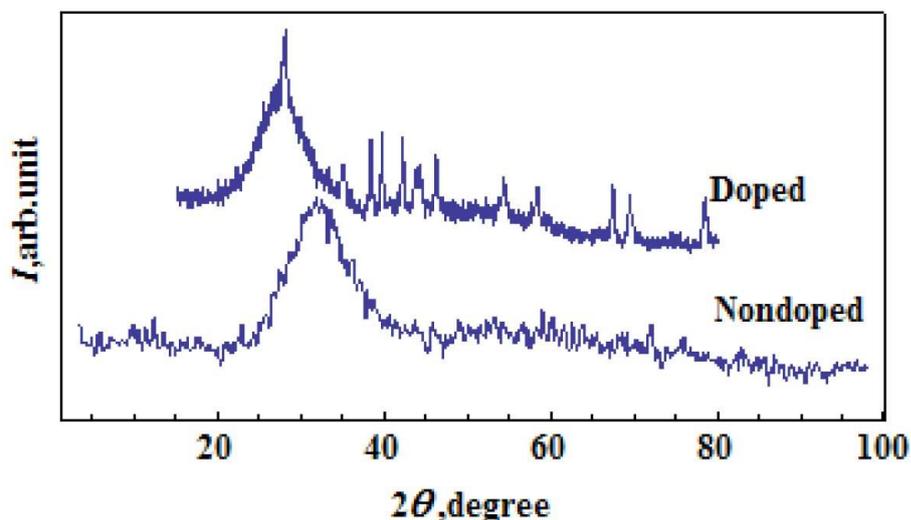


Рис. 7. Рентгенограммы стекла $33\text{SiO}_2+63\text{PbO}+4\text{Al}_2\text{O}_3$ (шихта, по массе) до легирования и после легирования (10 wt.% RuO_2).

Таким образом, наличие нанокристаллов в стекле усложняет не только структуру ЛСС, но создает дополнительную неоднородность в распределении его электропроводности.

В четвертой главе диссертации «Получение наноструктур на поверхности ВТСП и ЛСС материалов методом ионной имплантации и изучение их электронной структуры и эмиссионных свойств» приводятся результаты по изучению влияния ионной имплантации на электронную структуру и эмиссионные свойства поверхности ВТСП пленок $\text{CuOY}_2\text{O}_3\text{BaO}$, изучению формирования наноразмерных соединений в ВТСП материалах, исследованию влияния имплантации ионов Ba^+ на состав и электронную структуру силикатных стекол.

Состояние поверхности ВТСП нами исследовалось в двух температурных режимах: при комнатной температуре ($T \approx 300 \text{ K}$) и при температуре кипения жидкого азота ($T \approx 80 \div 85 \text{ K}$) близкой к критической температуре $\text{CuOY}_2\text{O}_3\text{BaO}$ ($T_c=85\text{K}$, $\Delta T=1,5\text{K}$). Зависимость фотоэмиссионного тока I_ϕ от времени выдержки при температуре жидкого азота для "чистого" и легированного ионами Ba^+ с $E_0=0,5 \text{ кэВ}$ керамики приведены на рис. 8. Видно, что после ионной имплантации значение фототока увеличивается почти в два раза. В случае нелегированного образца значение I_ϕ в области $t \approx 0-5 \text{ мин.}$ с ростом t почти монотонно убывает, в области $t \approx 5-6 \text{ мин.}$ резко уменьшается, а при $t \geq 6 \text{ мин.}$ практически не меняется.

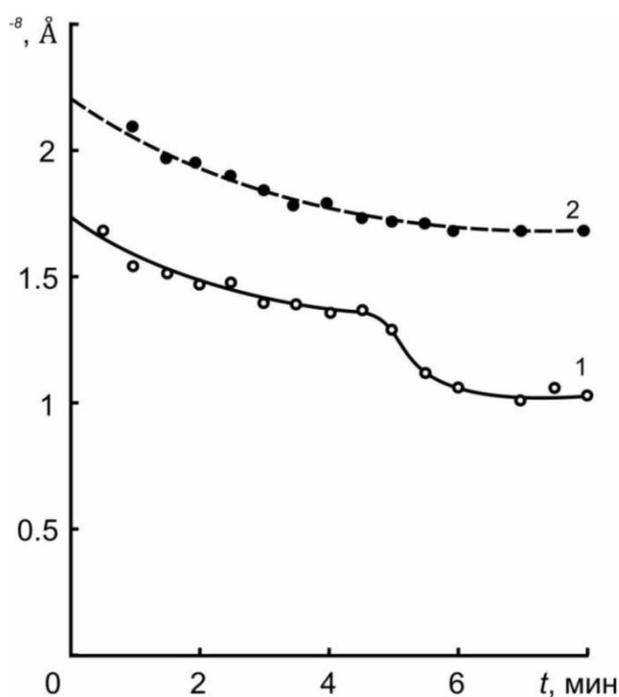


Рис. 8. Зависимости J_c от времени выдержки мишени в режиме «замораживания». При $t = 5$ мин. температура мишени уменьшается до температуры жидкого азота. 1-нелегированный ВТСП, 2- $Ba^{+} \rightarrow CuOY_2O_3BaO$, $E_0 = 0,5$ кэВ.

Исходя из этого можно предположить, что сверхпроводящие свойства материалов имеют более «объемный» характер, чем их эмиссионный свойства.

На рис. 9, приведены КЭР фотоэлектронов «чистого» и ионно-легированного ($E_0=0,5$ кэВ, $D=6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$) сверхпроводника, снятые при комнатной температуре ($T=300$ К) и температуре жидкого азота ($T=85$ К) при облучении с фотонами с энергией 10,8 эВ. Отметим три важных отличия спектров нелегированного $CuOY_2O_3BaO$, зарегистрированных при разных температурах мишени. Во-первых, после «остывания» мишени ширина КЭР фотоэлектронов уменьшается примерно на 0,5 эВ и, соответственно, на столько же увеличивается работа выхода ($\Phi=h\nu-\Delta E$). Во-вторых, высокоэнергетическая ветвь низкотемпературной кривой более крутая, что, очевидно, обусловлено «вымораживанием» «горячих» электронов вблизи уровня Ферми. В-третьих, все наблюдаемые особенности на спектре фотоэлектронов при температуре жидкого азота выделяются более четко, чем при комнатной.

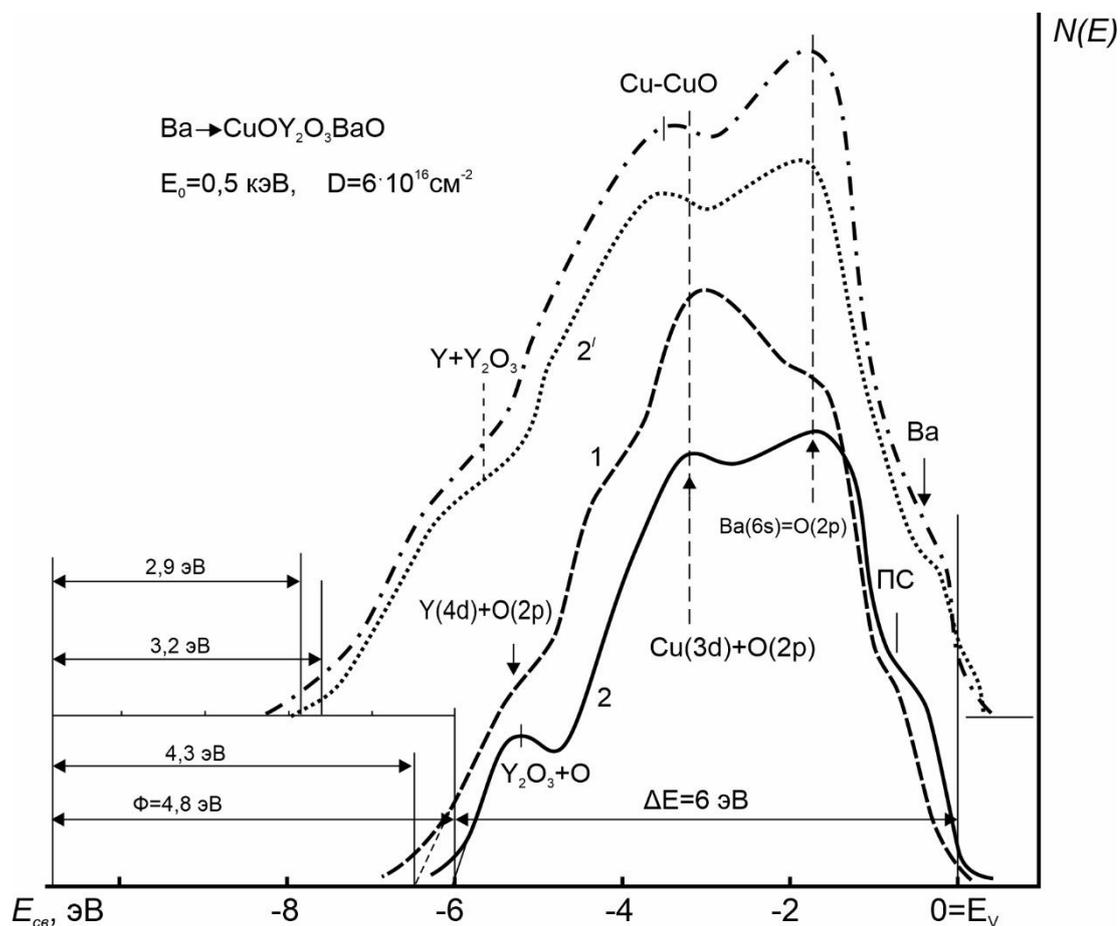


Рис. 9. УФЭС сверхпроводника снятые до (кривые 1 и 2) и после имплантации ионов Ba^+ с $E_0 = 0,5$ кэВ (1' и 2'). 1. 1' – $T \approx 300$ К; 2. 2' – $T \approx 85$ К;

На основе анализа особенностей спектров УФЭС и СУРЭ построена примерная энергетическая диаграмма поверхности нелегированного $CuOY_2O_3BaO$ соответствующего сверхпроводящему состоянию ($T \approx 85$ К) (рис. 10.). Как видно из приведенной диаграммы структура валентной зоны и зоны проводимости $CuOY_2O_3BaO$ имеет сложный характер. В сверхпроводящем состоянии уровень Ферми этого ВТСП располагается вблизи верхнего края заполненных состояний. Между заполненными и свободными состояниями имеется узкая щель с энергетической шириной 0,4-0,5 эВ.

Свойства сверхпроводников очень чувствительны к воздействию различных факторов в частности длительной выдержан в воздухе. Это обусловлено главным образом диффузией из воздуха в объем образцов различных атомов (С, О и т.д.), которые являются чужеродными для сверхпроводника. Для устранения или хотя бы существенного ослабления подобных нежелательных эффектов на поверхности сверхпроводника или вблизи нее необходим «диффузионный» барьер, препятствующий проникновению примесных атомов в объем кристалла. Вероятно, для этих целей может быть использован раз упорядоченный и «уплотненный»

приповерхностный слой образующийся при высокодозной имплантации ионов со сравнительно низкой энергией.

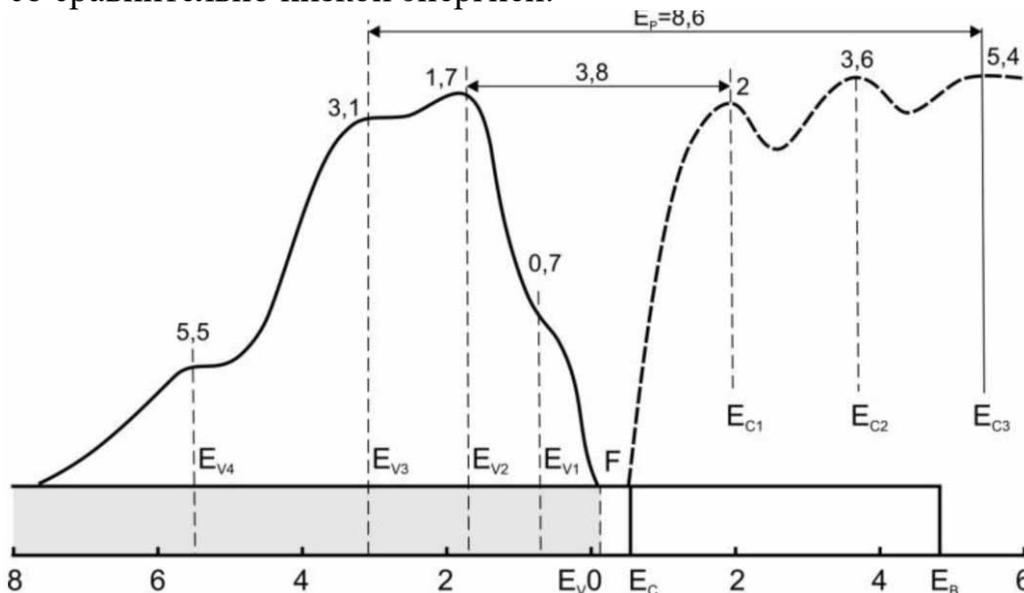


Рис. 10. Примерная энергетическая диаграмма поверхности $O + BaO$ соответствующая сверхпроводящему состоянию.

На рис. 11 приведена зависимость $\sigma(E_p)$ для $CuOY_2O_3BaO$ имплантированного ионами Ba^+ с $E_0 = 0,5$ кэВ при дозе насыщения $D = 6 \cdot 10^{16}$ $см^{-2}$. Из рис. 11 видно, что после ионной имплантации значение σ увеличивается по всей исследуемой области энергии первичных электронов. Отметим, что величина σ нелегированного ВТСП измеренная при комнатной температуре ($T = 300$ К) и критической температуре ($T_c = 85$ К) резко отличается. По-видимому в сверхпроводящем состоянии эмиссионная эффективность ВТСП материалов резко уменьшается.

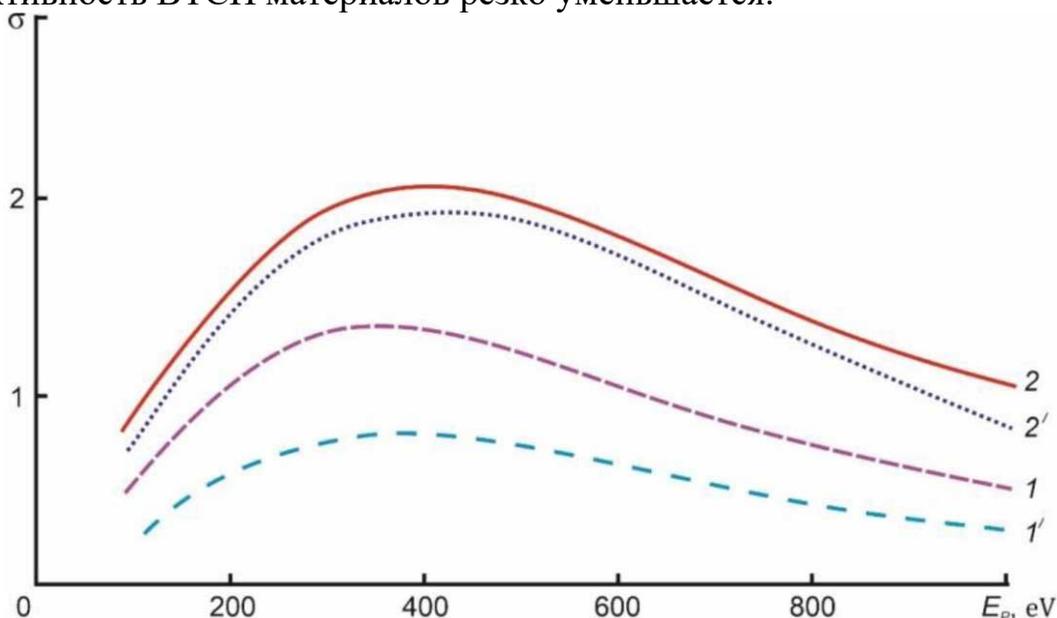


Рис. 11. Зависимости $\sigma(E_p)$ для нелегированной (1, 1') и легированной ионами Ba^+ ВТСП. 1, 2 – $T = 300$ К. 1', 2' – $T = 85$ К.

Из рис. 12 видно, что после ионной имплантации концентрация Ba^+ существенно увеличивается в приповерхностной области толщиной до 30 – 40 Å, а в более глубоких слоях состав ВТСП практически не меняется. Исходя из этого можно предполагать, что сверхпроводящие свойства $CuOY_2O_3BaO$ имеют более объемный характер, т.е. толщина слоя, которая ответственна за сверхпроводящие состояние значительно больше чем 40 – 50 Å. Следует отметить, что после ионной имплантации преимущественно образуются соединения типа BaO и Ba_2O . Условный состав поверхности ионно-имплантированного ВТСП: $CuO_{0,5}Y_{0,5}OBa_3O_2$. Впервые оценены ширина запрещенной зоны и среднее число валентных электронов ВТСП материалов (Таблица 3). Последнее определено по спектрам ХПЭЭ.

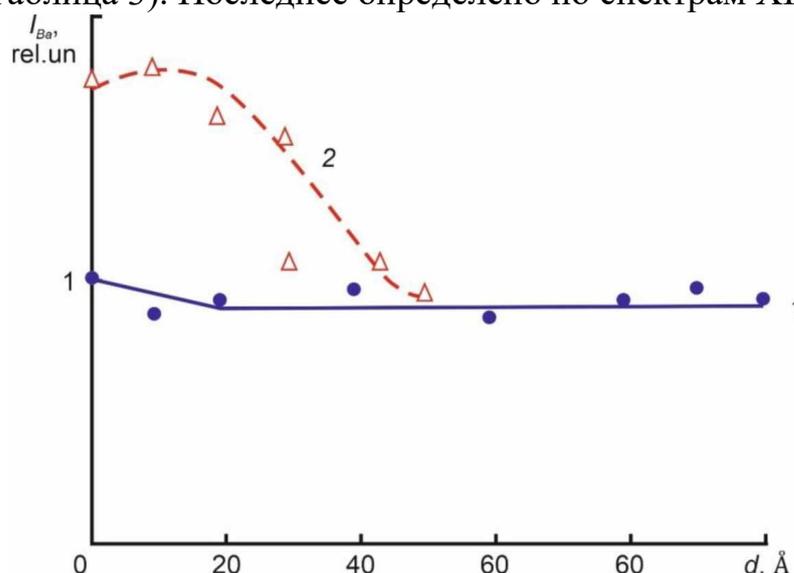


Рис. 12. Изменение интенсивности оже – пика Ba по глубине для: 1 – нелегированного образца, 2 – ВТСП, имплантированный ионами Ba^+ с $E_0 = 0,5$ кэВ, $D = 6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$.

Таблица 3.

Ширина запрещенной зоны и среднее число валентных электронов

| Материал | E_g , эВ | n_{cp} |
|---------------------------------|------------|----------|
| $CuOY_2O_3BaO$ | 0,5 | 4 |
| $Ba^+ \rightarrow CuOY_2O_3BaO$ | 4,5 | 3,5 |

Таким образом, после ионной имплантации в приповерхностной области ВТСП образуются тонкие пленки, обогащенные барием. В таблице 4. приведена примерная атомная концентрация различных атомов на поверхности $CuOY_2O_3BaO$ до и после имплантации ионов Ba^+ с $E_0=0,5$ кэВ и $D = 6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$.

Таблица 4.

Концентрация атомов

| Материал | C, ат.% $\Delta C = \pm 5\%$ | | | |
|---------------------------------|------------------------------|----|----|----|
| | Cu | O | Y | Ba |
| $CuOY_2O_3BaO$ | 12 | 50 | 25 | 13 |
| $Ba^+ \rightarrow CuOY_2O_3BaO$ | 8 | 35 | 17 | 40 |

Из таблицы видно, что ионная имплантация приводит к перераспределению атомов ВТСП материалов в приповерхностной области. После ионной имплантации концентрация Ва увеличивается в 3 раза, а концентрация других компонент ВТСП уменьшается 1,5 – 1,6 раза.

В работе исследованы влияния ионной имплантации на состав и электронную структуру ЛСС.

На рис. 13. приведены оже – спектр поверхности хорошо обезгаженного СС и СС, имплантированного ионами Ва⁺ с E₀ = 1 кэВ при дозе D = 6·10¹⁶ см⁻² до и после прогрева при T = 1000 К в течении 40 мин. Видно, что в спектре СС в основном обнаруживаются интенсивные пики SiO₂, PbO. Кроме этих элементов обнаруживаются малоинтенсивные пики Mn, Cu и Mg, общая концентрация которых не превышает 2 – 3 ат.%. В расчетах мы их не учитывали. После бомбардировке ионами Ва⁺ с E₀ = 1 кэВ резко изменяется состав и структура поверхности (рис. 13, кривая 2). При этом концентрация Ва на поверхности составляет ~ 40 – 45 ат.%, основная часть из них (~ 80 – 85 %) образуют соединения с кислородом, т.е. происходит резкое изменение состава поверхности.

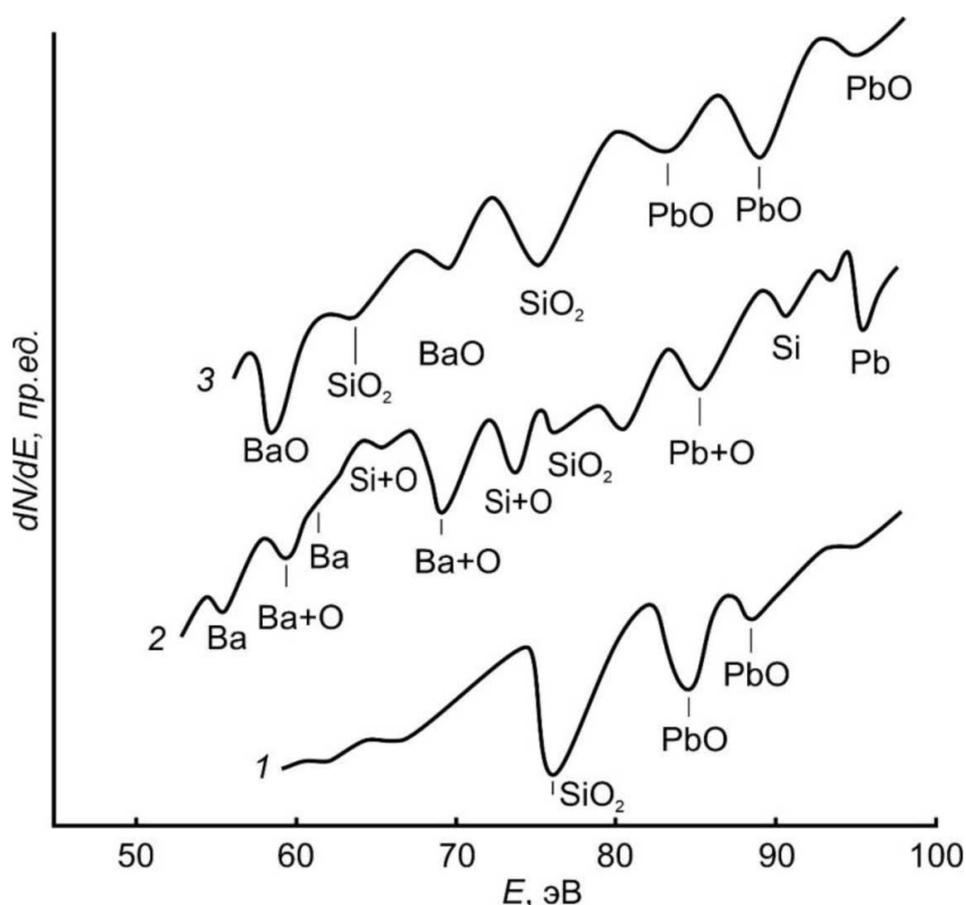


Рис. 13. Оже–спектры: 1 – хорошо обезгаженного силикатного стекла; 2 – после имплантации ионами Ва⁺ с E₀ = 1 кэВ при D = 6·10¹⁶ см⁻²; 3 – после прогрева ионно-имплантированного СС при T = 1000 К.

В таблице 5. приведены оценочные концентрации оксидов и свободных атомов до и после прогрева при оптимальной температуре ($T = 1000$ К) ионно-имплантированных СС.

Таблица 5.

Содержание оксидов и атомов Si, Pb и Ba (в мол.%) на поверхности силикатного стекла, имплантированного ионами Ba^+ с $E_0 = 1$ кэВ при $D = 6 \cdot 10^{16}$ см⁻², до и после прогрева

| Объект | Si + O | Pb + O | Ba + O | Ba | Si | Pb |
|-----------------------------------|--------------------|--------|--------|----|----|----|
| Ba→С.С. $E_0=1$ кэВ | 16 | 30 | 38 | 10 | 2 | 4 |
| После прогрева при $T = 900$ К | 28SiO ₂ | 43PbO | 29BaO | 0 | 0 | 0 |

Из таблицы видно, что после прогрева ионно-имплантированного СС при $T = 1000$ К поверхностная концентрация свободных атомов Si, Pb и Ba уменьшаются до нуля. Концентрации оксидов SiO₂ и PbO заметно увеличиваются, а Ba + O- уменьшается на 8 – 10 мол.%.

На рис. 14 приведены кривые энергетического распределения (КЭР) фотоэлектронов "чистого" и ионно-легированного ($E_0 = 0.5$ кэВ, $D=6 \cdot 10^{16}$ см⁻²) силикатного стекла до и после прогрева при $T = 950$ К, снятые при облучении фотонами с энергией 10.8 эВ. Для интерпретации особенностей (максимумы) наблюдаемых на спектрах мы предварительно снимали спектры фотоэлектронов для сравнительно толстых пленок SiO₂, PbO и BaO. В случае нелегированного стекла особенность, наблюдаемая при $E_{св} = -1$ эВ, мы приписываем к поверхностным состояниям (ПС). Особенности при $E_{св} = -1.8$ эВ и -5.2 эВ относятся к SiO₂, особенности при $E_{св} = -2.2$ эВ и -3.3 эВ к PbO. Видно, что после ионной имплантации положения основных особенностей изменяются и их интенсивности существенно уменьшаются, появляются новые особенности при $E_{св} = -0.3$ эВ и -0.8 эВ, по-видимому, обусловленные возбуждением электронов из атомов Ba и нестехиометрического оксида бария. Эти изменения связаны с разложением оксидов Pb и Si, формированием нестехиометрических оксидов Pb, Ba и Si, а также наличием на поверхностных слоях несвязанных атомов Ba, Pb и Si. После прогрева ионно-имплантированного образца на спектре устанавливаются явно выраженные особенности, характерные для BaO, SiO₂ и PbO. По спектру фотоэлектронов можно определить потолок валентной зоны E_V , относительно уровня вакуума, которая равна фотоэлектронной работе выхода Φ :

$$E_V = \Phi = h\nu - \Delta E \quad (2)$$

где ΔE – ширина кривой энергетического спектра. Отметим, что исследования зависимости интенсивности проходящего света через образец позволяют определить основные параметры зон исследуемых материалов.

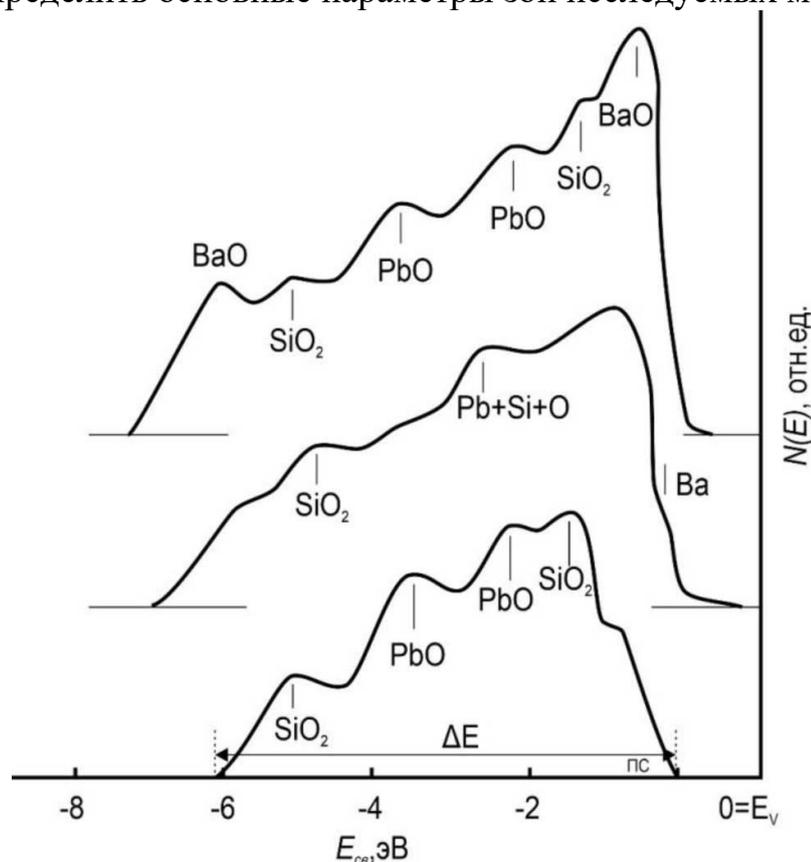


Рис. 14. КЭР фотоэлектронов для: 1 – нелегированного стекла, 2 – после имплантации ионов Ba^+ с $E_0 = 1$ кэВ при $D = 6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$, 3 – после прогрева ионно-имплантированного образца при $T = 1000$ К.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В ЛСС во всем диапазоне исследованных температур действуют одновременно два механизма электропроводности – прыжковая по нанокристаллам и активационная по примесной зоне, образованной диффузией атомов лигатуры в стекло. Показано, что наноструктурирование приводит к резкому (до 100 раз) снижению теплопроводности и меняет ее температурную зависимость. Теплопроводность наноструктурированных материалов зависит также от размеров наночастиц, его составляющих, а также от их объемной доли. Установлено, что в интервале $T = 300 - 700$ К значения R и S практически не меняются, а в интервале $T = 700 - 1000$ К увеличиваются нелинейно. Предварительное измерение сопротивления и коэффициента термоЭДС легированного силиката в интервале температур 300-1000 К показали, что эти характеристики качественно соответствуют параметрам термоэлектрических материалов.

2. Создан и осуществлен способ определения коэффициентов теплопроводности и температуропроводности материалов, учитывающий

температурную зависимость этих коэффициентов (нелинейность процесса теплопередачи).

3. Показано, что нанокристаллы образуются в стекле в процессе его варки, претерпевают структурные превращения при высоких температурах и действуют как центры локализации носителей заряда. После завершения структурных переходов ($T \geq 1000$ К) примесная зона фиксируется в новом положении (на расстоянии 0.5–1.5 eV от потолка валентной зоны), и ЛСС превращается в полупроводник с указанной энергией активации проводимости. Установлено, что все легированные стекла имеют высокую электропроводность ($\rho_d = 4 \cdot 10^{-7}$ Ом·м) по сравнению с исходным стеклом ($\rho \geq 10^{14}$ Ом·м).

4. Показано, что ЛСС даже в толсто пленочном исполнении (толщина пленки около 25 мкм) является объемным материалом, поскольку характерные длины (диффузии или свободного пробега электронов), оцененные по верхней границе подвижности ($5 \cdot 10^{-3}$ см²/В·с) составляют менее 0,1 мкм.

5. Впервые исследовано влияние имплантации ионов Ва⁺ на состав, плотности состояния валентных электронов, параметров энергетических зон, энергии одно частичных возбуждений и плазменных колебаний ВТСП и силикатных стекол. В частности показано, что ширина запрещенной зоны ВТСП после ионной имплантации существенно увеличивается, а силикатного стекла – уменьшается. Выявлены основные механизмы этих изменений.

6. Установлено, что после имплантации ионов Ва⁺ на поверхности ВТСП образуется нанопленка с условным составом $\text{CuO}_{0.5}\text{Y}_{0.5}\text{O}\text{Ba}_3\text{O}_2$. Показано, что в этих слоях теряются сверхпроводящие свойства исходного ВТСП, даже при температуре жидкого азота.

7. Показано, что при охлаждении ВТСП до $T = 80$ К происходит увеличение фотоэлектронной работы выхода и уменьшение эмиссионной эффективности, после ионной имплантации эмиссионная эффективность ионно-имплантированных слоев резко увеличивается.

8. Установлено, что сверхпроводящие свойства материалов имеют более “объемный” характер, чем их эмиссионные свойства. Поэтому изменение физико-химических свойств поверхности $\text{CuOY}_2\text{O}_3\text{BaO}$ после низкоэнергетической ионной имплантации не приводит к заметному изменению величины критической температуры.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING OF SCIENTIFIC
DEGREES PhD.03/30.09.2020.FM.55.04
URGENCH STATE UNIVERSITY**

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY NAMED
AFTER ISLAM KARIMOV**

UROKOV AZIMJON NARZULLAYEVICH

**OBTAINING AND STUDYING THE PHYSICAL PROPERTIES OF
NANOSTRUCTURED SILICATE GLASSES**

01.04.04- Physical electronics

ABSTRACT

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

Urgench – 2024

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 B2020.2.PhD/FM469.

Dissertation has been prepared Tashkent State Technical University.

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

Research supervisors: **Tashmukhamedova Dilnoza Artilbayevna**
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

Official opponents: **Isakhanov Zinaobidin Abilpeyzovich**
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

Kurbanov Muzaffar Kadambaevich
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, docent

Leading organization: **Fergana Polytechnic Institute**

The defense will take place on «. . .» 2024 at at the meeting of scientific council number PhD.03/30.09.2020.FM.55.04 at the Urgench State University. (Address: 220100, Uzbekistan, Urgench, st. Kh. Alimjana, house 14.. Phone: (99862)224-66-11. Fax: (99862) 224-67-00, e-mail: fizelektronika.urdu@umail.uz).

The doctoral dissertation is possible to review in Information-resource centre at the Urgench State University (is registered №). (Address: 220100, Uzbekistan, Urgench, st. Kh. Alimjana, house 14.. Phone: (99862)224-66-11. Fax: (99862) 224-67-00.

The Abstract of the dissertation sent out on «. . . .» 2024.
(Mailing report № on «. . . .» 2024).

O.O. Kutliyev
Chairman of Scientific Council on award of scientific degrees, doctor of physical and mathematical sciences, professor

K.R. Yakubov
Scientific secretary of scientific council on award of scientific degrees,
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, docent

K.A. Ismaylov
Chairman of scientific seminar under scientific Council on award of scientific degrees,
doctor of physical and mathematical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the dissertation experimental study of the patterns of changes in composition, structure and physical properties during alloying of silicate glasses and HTSC materials.

The objects of study silicate glasses C71-K, B34E and PC5 and ceramics $\text{CuOY}_2\text{O}_3\text{BaO}$.

The scientific novelty of the research is as follows:

It was shown for the first time that the distribution of components over the glass surface is significantly non-uniform. It has been established that after doping, rutenium atoms are not detected on the surface and they are mainly embedded in the near-surface layer of glass.

It is shown that in the temperature range $T = 300 - 700$ K the resistance R and thermoEMF S of doped silicate glass do not change significantly, and in the range $T = 700 - 1200$ K the dependences $R(T)$ and $S(T)$ have an abrupt character, which is explained the emergence of structural transitions.

A measuring setup has been created based on the Arduino Due microcontroller board and the MAX31856MUD+ amplifier, which makes it possible to automatically measure the temperature dependence of the resistance and thermoEMF coefficient of samples with high accuracy in the range of 300-1200 K. In the future, this range will be expanded to 77 K.

It has been shown that nanocrystals with sizes of 1 – 2 nm appear upon cooling of doped silicate glass at $T = 800$ K.

It was shown for the first time that the implantation of Ba^+ ions into $\text{CuOY}_2\text{O}_3\text{BaO}$ leads to an increase in the band gap ~ 9 times, and into silicate glass $\text{SiO}_2 + \text{PbO}$ - to a decrease by 2.5 times.

It has been established that after implantation of Ba^+ into $\text{CuOY}_2\text{O}_3\text{BaO}$ with $E_0 = 0.5$ keV, a nanofilm of the $\text{CuO}_{0.5}\text{Y}_{0.5}\text{OBa}_3\text{O}_2$ type with a thickness of 30 – 40 Å is formed on the surface.

It is shown that when a superconductor is cooled to $T = 80$ K, the photoelectron work function increases and the emission efficiency decreases.

Implementation of the research results. Based on the scientific results obtained on the creation of doped silicate glasses and high-temperature superconductors, as well as the study of changes in their thermal conductivity, composition, state density of valence electrons, energy band parameters, energy of single-particle excitations and plasma oscillations of HTSC and silicate glasses during ion implantation:

were effectively used in the implementation of scientific and technical tasks of the project Uzb-Ind-2021-78 “Thermoelectric properties and self-organization processes in silicates doped with metal oxides”, in particular to elucidate ways to create effective and cheap thermoelectric materials from doped silicate glasses and HTSC materials, which Designed for wide use in high-power energy, in film silicate glasses. Recommendations are given for the creation of modern strain gauge sensors based on thermoelectric phenomena.

The results obtained on the creation of new thermoelectric materials made it

possible to improve the quality, durability and efficiency of production of products in the manufacture of colored and tinted glass in the form of sheets, as well as other types of glass products at JSC Quartz (Act of JSC «Кварц» dated May 7, 2024.).

The structure and scope of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion and a list of references. The text of the dissertation is presented on 135 pages of text, including 58 figures and 14 tables.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo'lim (I часть, part I)

1. Г. Абдурахманов, В.И. Шиманский, Б.Л. Оксенгендлер, Б.Е. Умирзаков, А.Н. Уроков. Псевдощель, нанокристаллы и электропроводность легированного силикатного стекла // Журнал технической физики, 2021, том 91, вып. 2. DOI: [10.1134/S106378422102002X](https://doi.org/10.1134/S106378422102002X) (01.00.00; №20). Scopus.
2. D.A. Tashmukhamedova, A.N. Urokov, G.Abdurakhmanov, B.E. Umirzakov. Effect of Ba⁺ -Ion Implantation on the Composition and Electronic Structure of Silicate Glasses. // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 2023, Vol. 17, No. 2, pp. 352–356. DOI: [10.1134/S1027451023020180](https://doi.org/10.1134/S1027451023020180) (01.00.00; №39). Scopus
3. Д.А. Ташмухамедова, А.Н. Уроков. Изучение процессов формирования наноразмерных соединений в ВТСП-материалах при имплантации ионов Ba⁺ // Письма в ЖТФ, 2023, том 49, вып. 20. с.23-26. DOI: [10.21883/PJTF.2023.20.56342.19370](https://doi.org/10.21883/PJTF.2023.20.56342.19370) (01.00.00; №20).
4. Г. Абдурахманов, Д.А. Ташмухамедова, Б.Е. Умирзаков, Г.С.Вохидова, А.Н.Уроков, В.В.Углов, В.И.Шиманский, Е.А.Крутилина. Термоэлектрический материал. // Патент №24234. Республики Беларусь. 01.03.2024г.

II bo'lim (часть II; part II)

5. Г. Абдурахманов, Б.Л. Оксенгендлер, В.И. Шиманский, А.Н. Уроков. Псевдощель и свойства электронной подсистемы в легированном силикатном стекле. // “Тенденции развития современной физики полупроводников: проблемы, достижения и перспективы” Сборник материалов международной онлайн конференции. 28 май. Ташкент 2020. С.119-127
6. Д.А. Ташмухамедова, А.Н. Уроков, А.А. Камолов, Ш. Муносибов, Б.Е. Умирзаков. Влияние ионной имплантации на эмиссионную эффективность ВТСП материалов.//Физические и физико-химические основы ионной имплантации: Тезисы докладов VIII Всероссийской конференции и школы молодых ученых и специалистов, Казань, 2022 г. – Н. Новгород, 2022. С. 87.
7. Д.А. Ташмухамедова, Б.Е. Умирзаков, М.Б. Юсупжанова, А.Н. Уроков, Ж. Шерматов, М. Эркабоев. Изменение состава силикатных стекол в процессе имплантации ионов Ba⁺. //VIII Международная конференция «Лазерные, плазменные исследования и технологии» ЛаПлаз-2022: Сборник научных трудов. М.: НИЯУ МИФИ, 2022. С. 274.

8. Д.А. Ташмухамедова, А.Н. Ураков, С.Т. Гулямова, С.Т.Абраева, З.М. Собиров, Б.Е. Умирзаков. Исследование состава и электронной структуры ионно-имплантированных силикатных стекол. //Тезисы докладов 51-й международной Тулиновской конференции по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами, Москва – 2022, С. 130.
9. Д.А. Ташмухамедова, А.Н. Ураков, С. Жандарбеков, С.Т. Гулямова, М.Б. Юсупжанова. Влияние имплантации ионов Ba^+ на электронную структуру силикатных стекол. //“Fotonika muammolari va rivojlanish istiqbollari” Respublika ilmiy-amaliy anjumani materiallari. Urganch 2022 yil. С. 378.
10. Д.А. Ташмухамедова, А.Н. Ураков, С.Т.Гулямова, Х.Х. Болтаев, Б.Е.Умирзаков. Изучение изменений электронной структуры в процессе формирования наноразмерных соединений в ВТСП материалах.// Fotoenergetikada nanostrukturali yarimo‘tkazgich materiallar III xalqaro ilmiy anjumani. Toshkent - 2022 yil. С. 393.
11. Умирзаков Б.Е., Ураков А.Н., Камолов А.А., Гулямова С.Т., Ташмухамедова Д.А. Изучение влияния имплантации ионов Ba^+ на эмиссионные свойства керамики $CuOY_2O_3BaO$. // IV Международный научный форум «ЯДЕРНАЯ НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ», посвященный 65-летию Института ядерной физики. Алматы, Республика Казахстан. 26-30 сентября 2022 г. С.120-121.
12. Д.А.Ташмухамедова, А.Н.Ураков, М.Б. Юсупжонова, А.У. Хужаниязова, Б.Е. Умирзаков. Влияние ионной имплантации на состав ВТСП материалов. // МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ «ФИЗИКА – 2022». Наманган, Узбекистан. 4 – 5 октября 2022 г. С. 55-56.
13. А.Н. Ураков, А.У. Хужаниязова, Ж.Б. Хужаниязов, М.Б.Юсупжанова, Д.А.Ташмухамедова. Изучение изменения состава ВТСП материалов в процессе имплантации ионов Ba^+ . // Тезисы докладов 52-й международной Тулиновской конференции по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами. Москва – 2023. С. 48.
14. А.Н. Ураков, Х.Э. Абдиев, М.Б. Юсупжанова, Ё.С. Эргашов, Д.А. Ташмухамедова, Б.Е. Умирзаков. Влияние имплантации ионов Ba^+ на электронную структуру ВТСП материалов. // X Международная конференция «Лазерные, плазменные исследования и технологии ЛАПЛАЗ-2024» Москва-2024. С. 302

Avtoreferat «Til va adabiyot ta'limi» jurnali tahririyatida
tahrirdan o'tkazildi

Bosmaga ruxsat etildi: 08.11.2024 yil.
Bichimi 60×84 1/8 , «Times New Roman»
Garniture raqami bosma usulida bosildi
Shartli bosma tabog'i 2,6. Adadi: 100. Buyurtma: № 17

«IJOD-PRINT» MCHJ nashriyoti
100011, Toshkent shahri, Shayxontoxur tumani, Navoiy 30-uy

MCHJ «IPAK YO'LI POLIGRAF» bosmaxonasida chop etildi.
Toshkent sh., 100170, Avayhon ko'chasi, 98 A