

**O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI HUZURIDAGI
YARIMO‘TKAZGICHLAR FIZIKASI VA MIKROELEKTRONIKA
ILMIY-TADQIQOT INSTITUTI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR
BERUVCHI DSc.03/30.12.2019.FM/T.01.12 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI HUZURIDAGI
YARIMO‘TKAZGICHLAR FIZIKASI VA MIKROELEKTRONIKA
ILMIY-TADQIQOT INSTITUTI**

BEKCHANOVA MIRA RUZIMOVNA

**XALKOGENIDLI YARIMO‘TKAZGICHLI PLYONKALARNING OPTIK
VA GOLOGRAFIK XOSSALARI**

01.04.10 – Yarimo‘tkazgichlar fizikasi

**FIZIKA-MATEMATIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent - 2023

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

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

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

Bekchanova Mira Ruzimovna

Халькогенидли yarimo'tkazgichli plyonkalarning optik va golografik
xossalari..... 3

Бекчанова Мира Рuzимовна

Оптические и голографические свойства халькогенидных
полупроводниковых пленок..... 21

Bekchanova Mira Ruzimovna

Optical and holographic properties of chalcogenide semiconductor films..... 39

E'lon qilingan ishlar ro'uxati

Список опубликованных работ
List of published works..... 43

**O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI HUZURIDAGI
YARIMO‘TKAZGICHLAR FIZIKASI VA MIKROELEKTRONIKA
ILMIY-TADQIQOT INSTITUTI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR
BERUVCHI DSc.03/30.12.2019.FM/T.01.12 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI HUZURIDAGI
YARIMO‘TKAZGICHLAR FIZIKASI VA MIKROELEKTRONIKA
ILMIY-TADQIQOT INSTITUTI**

BEKCHANOVA MIRA RUZIMOVNA

**XALKOGENIDLI YARIMO‘TKAZGICHLI PLYONKALARNING OPTIK
VA GOLOGRAFIK XOSSALARI**

01.04.10 – Yarimo‘tkazgichlar fizikasi

**FIZIKA-MATEMATIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent - 2023

Fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2020.2.PhD/FM476 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya O'zbekiston Milliy Universiteti huzuridagi Yarimo'tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy-tadqiqot institutida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.ispm.uz) va «ZiyoNeb» Axborot-ta'lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy raxbar:

Azamatov Zakirjan Taxirovich
fizika-matematika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Mamadlimov Abdugafur Tishaboyevich
fizika-matematika fanlari doktori, akademik

Yuldashev Nosirjon Haydarovich
fizika-matematika fanlari doktori, professor

Yetakchi tashkilot:

Toshkent davlat texnika universiteti

Dissertatsiya himoyasi O'zbekiston Milliy universiteti huzuridagi Yarimo'tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy-tadqiqot instituti huzuridagi ilmiy darajalar beruvchi DSc.03/30.12.2019.FM/T.01.12 raqamli Ilmiy kengashning 2023 yil «06» 09 soat 10⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100057, O'zbekiston, Toshkent sh., Yangi Olmazor ko'chasi, 20-uy, Tel.: (+99871)248-79-94, faks: (+99871)248-79-92, e-mail: info@ispm.uz.)

Dissertatsiya bilan Raqamli ta'lim texnologiyalarini joriy etish bo'limida tanishish mumkin. (59 raqam bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100057, O'zbekiston, Toshkent shahri, Yangi Olmazor ko'chasi, 20-uy. Tel.: (+99871) 248-79-59; e-mail: info@ispm.uz).

Dissertatsiya avtoreferati 2023 yil «24» 08 kuni tarqatildi.
(2023 yil «24» 08 dagi 59 raqamli reestr bayonnomasi).



Sh.B. Utamuradova
Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash raisi, f.-m.f.d., professor

J.J. Hamdamov
Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash ilmiy kotibi, PhD, k.i.x.

N.A. Turgunov
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash qoshidagi
ilmiy seminar raisi, f.-m.f. d., dotsent

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertasiyasi annotasiyasi)

Dissertasiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Hozirgi davrda jahonda axborotni qayd etish hajmini sezilarli darajada oshirish, saqlash va qayta ishlashni talab etuvchi zamonaviy fan va texnika taraqqiyoti, turli axborot tashuvchilardan foydalanishga asoslangan qayd etish usullarini ishlab chiqish va takomillashtirishni taqozo etmoqda. Bu borada axborotni maksimal samaradorlik bilan saqlash muammosi ayniqsa dolzarbdir. Axborot tashuvchilarning axborot zichligi yuqori bo'lgan axborotni ishonchli, uzoq muddatda saqlash muammosini hal qilishning samarali usullaridan biri axborotni saqlashning golografik usulidan foydalanish hisoblanadi. Oxirgi yillarda xorijda turli yozib olish vositalarida axborotni yozib oladigan o'ta yuqori axborot sig'imiga ega gologramma saqlash qurilmalarini yaratish bo'yicha kompleks nazariy va eksperimental tadqiqotlar olib borilmoqda. Shuni ta'kidlash kerakki, golografik usullar rasmlar, to'lqin maydonlar, fazoviy tasvirlar va boshqa shakllarda taqdim etilgan ma'lumotlarni yozib olish, saqlash va tiklash imkonini beradi.

Axborotni qayta ishlashning optik tizimlarini yaratish va uning ko'plab ilovalari bilan golografiyani rivojlantirish lazer nurlanishi ta'sirida optik xususiyatlarini o'zgartiradigan materiallarni izlash va ishlab chiqish vazifasini qo'ydi. Axborotni optik qayta ishlash tizimlarining parametrlari asosan yozib olish vositalarining xususiyatlari bilan belgilanadi. Masalan, axborotni tezkor optik qayta ishlash tizimlari reversiv muhitni talab qiladi va fotografik emulsiyalar, garchi ular yuqori sezuvchanlik (10^{-5} J/sm²) va qayd etish qobiliyatiga ega bo'lsalar ham, ulardan foydalanish mumkin emas, chunki ular bir necha marta foydalanish imkoniyatini bermaydi. Axborotni qayta ishlashning optik tizimlari uchun qayd etish materiallari axborotni yuqori zichlikda qayd etish, buzmasdan o'qish, axborotni qayta tiklash uchun yetarli difraksiya samaradorligi bilan ma'lumotni oson qayta yozish (10^7 - 10^8 sikl) imkonini berishi kerak.

Shunday qilib, yorug'likka sezgir ro'yxatga olish vositalariga qaysi optik axborotni qayta ishlash tizimlarida foydalanish mumkinligiga qarab talablar qo'yiladi. Ushbu maqsadlar uchun rossiyalik olimlar professor B.T. Kolomiys va professor N.A. Goryunovalar tomonidan kashf etilgan xalkogenidli shishasimon yarimo'tkazgichlar (XShYa) bir qator zarur va o'ziga xos xususiyatlarga ega bo'lgan istiqbolli materiallar bo'lib chiqdi. Yuqori fotoelektrik sezgirligi va past elektr o'tkazuvchanligi tufayli shishasimon mishyak xalkogenidlarining plyonkalari elektron fotografiyada televizion quvurlarni uzatishning faol elementlari - vidikonlar sifatida keng qo'llanilmoqda. Yuqori aniqlik (10^4 satr / mm dan yuqori) bilan birgalikda ushbu materiallar integratsiyalashgan optikaning turli funksional elementlarini yaratish va gologramma ma'lumotlarini yozish uchun ishlatilishi mumkin. Aynan shu xossalari tufayli xalkogenid moddalari noyobdir. Arsenid xalkogenidlar planar to'lqin o'tkazgichlarda, mikrolinzalarda va kuchaytirgichlarda keng qo'llaniladi. Bundan tashqari, As-S nanozarralari tibbiyotda yangi avlod onkomerlari sifatida foydalanish uchun katta imkoniyatlarga ega. Garchi As-S tuzimlari 1950-yillardan beri o'rganilgan bo'lsa ham, ular hali ham katta ilmiy qiziqish uyg'otmoqda. Axborotni optik qayd etuvchi asboblarda xalkogenidli

shishasimon yarimo'tkazgichlarning keng qo'llanilishiga to'sqinlik qiluvchi omillar ushbu materiallarning xususiyatlarini va ularning kondensatlarini nazorat qilishning cheklangan usullari, shuningdek, ularning xususiyatlarining yetarli darajada yuqori takrorlanmasligi hisoblanadi. Shu munosabat bilan shishasimon mishyak xalkogenidlarining tuzilishiga tashqi omillarning ta'sirini aniqlash va ularning xususiyatlarini nazorat qilish usullarini ishlab chiqish dolzarb vazifadir.

Ushbu dissertatsiya O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 29-oktyabrdagi "Ilm-fanni 2030 yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida"gi PF-6097-son farmoni, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021-yil 2-martdagi "Elektrotexnika va elektronika sanoatini yanada rivojlantirish va mahalliy mahsulotlarning raqobatbardoshligini oshirishga doir qo'shimcha choratadbirlar to'g'risida"gi PQ-5011-son qarori, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi "2022-2026-yillarga mo'ljallangan yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi PF-60-son farmoni hamda boshqa me'yoriy-xuquqiy xujjatlarda ko'rsatilgan vazifalarni ma'lum darajada bajarishga xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot ryespublika fan va texnologiyalar rivojlanishining III. «Energiya, energiya resurslarini tejash, transport, mashinasozlik va asbobsozlik; zamonaviy elektronika, mikroelektronika, fotonika, elektron asbobsozlikni rivojlantirish» ustuvor yo'nalishlariga muvofiq bajarilgan.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Yaponiyada xalkogenidli shishasimon yarimo'tkazgichlarning axborotlarni optik qayd etishdagi muammolari bilan N. Yamada, K. Tanaka, Germaniyada –R. Collier, K. Bexart, L. Lin, AQSHda– G Caulfield, R. Lamberts, J. Velis, J. Reynolds, Latviyada – K. Shvarts, D. Bandere, A. Ozols, Yu. Ekmanis, Rossiyada – B. Kolomiets, V. Lyubin, V. Shilo, S. Gurievich, V.A. Barachevskiy, A.L. Mikalyan, E.X. Gulanyan, V. Bobrinov, Yu. Usanov, P.A.Arseniev, A.I. Popovlar shug'ullanishgan. Qirg'iziston Respublikasida A. Akayev, N. Djamankyzov, K. Jumaliyev va ularning shogirdlari shishasimon mishyak xalkogenidlarining xossalarini nazorat qilishning samarali usulini har tomonlama ishlab chiqishni va tadqiq etishni amalga oshirdilar. Ular golografik usullardan foydalanib, raqamli axborotni qayd etish, saqlash nazariyasi va amaliyoti muammolari bilan shug'ullandilar.

O'zbekistonlik olimlardan S.V. Starodubtsev va uning shogirdlari ishlarida γ -nurlanishning xalkogenid oynalarining optik va mexanik xususiyatlariga ta'sirini o'rgandilar. Akademiklardan M.S. Saidov, R.A. Mo'minov, S.Z. Zaynabiddinov, M.Q. Bahadirxanov, A.T. Mamadalimov, professorlar K.P. Abdurahmonov, Z.T. Azamatov, T.M. Raziqovlar xalkogenidli shishasimon yarimo'tkazgichli materiallarning elektr va optik xossalarini o'rganishga katta hissa qo'shdilar.

Hozirgi kunga qadar xalkogenid plyonkalar va to'lqin uzatgichlar ishlab chiqarish texnologiyalari quyidagi eng mashhur ilmiy markazlarda o'rganilgan: Renn Kimyo fanlari instituti (Institute of Sciences Chimiques de Rennes), Renn shahri, (Fransiya); Jorj Green Elektromagnit tadqiqotlar instituti O'rta infraqizil shishalar guruhi, (Mid-Infrared Glasses Group, George Green Institute for Electromagnetic Research), Nottingem shahri, (Buyukbritaniya); Dengiz tadqiqot

laboratoriyasi, optik fanlar tadqiqot guruhi, (Naval Research Laboratory, Optical Sciences Research Group), Vashington shahri, (AQSH); Lavalya universiteti Fotonik innovatsiyalar bo'yicha Kanada ilg'or tadqiqotlar kafedrasini (Canada Excellence Research Chair in Photonic Innovations), Kvebek shahri, (Kanada); Sidney shahridagi Fotonika va optika instituti (Institute of Photonics and Optical Science), (Avstraliya), A.F. Ioffe nomidagi Fizika-texnika instituti (Rossiya), Moskva Energetika instituti (Rossiya), Rossiya Fanlar akademiyasining yuqori toza moddalar kimyosi instituti qoshidagi yuqori toza kislorodsiz shishalar kimyosi laboratoriyasi, Nijniy Novgorod shahri, (Rossiya), Latviya fizika instituti, Salaspils shahri, Qirg'iziston Respublikasi Milliy Fanlar Akademiyasi akademik J. Jeyenbayev nomidagi Fizika instituti, O'zRFAning Fizika-texnika instituti va Yadro fizikasi instituti.

Dissertasiya tadqiqotining dissertasiya bajarilgan oliy ta'lim yoki ilmiy-tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertasiya tadqiqoti O'zbekiston Milliy universiteti huzuridagi Yarimo'tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy-tadqiqot instituti ilmiy tadqiqot dasturi doirasida "Yarimo'tkazgichli geterostrukturalarda, fotorefraktiv, fotoxrom va fotopolimer materiallarda axborotni saqlashning golografik jarayonlari va mexanizmlarini o'rganish" mavzularida va OT-A_{tex}-66-2018 "Sherograf sxemasini va turli materiallardagi nuqsonlarni kesish interferometriyasi usuli yordamida kontaktsiz diagnostika qilish texnologiyasini ishlab chiqish va ishlab chiqarish" (2018-2020 yillar) loyihasi doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi As_xSe_{1-x} , As_xS_{1-x} xalkogenidli yarimo'tkazgich plyonkalarining optik va golografik xususiyatlarini kompleks tadqiq qilish, shuningdek, turli dozalardagi gamma nurlanishining XShYa xususiyatlariga ta'sirini o'rganishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

turli qalinlikdagi xalkogenidli shishasimon yarimo'tkazgich plyonkalarining golografik xossalari va parametrlarini o'rganish uchun tajriba qurilmalarini va stendlarini yaratish;

As_xSe_{1-x} , As_xS_{1-x} plyonkalarining optik va golografik parametrlarini boshlang'ich materialni termik ishlov berishga bog'liqligini aniqlash;

As_xSe_{1-x} , As_xS_{1-x} kabi shishasimon yarimo'tkazgichlarning yupqa plyonkalarining optik xususiyatlarini turli stexiometrik nisbatlarda o'rganish;

As_xSe_{1-x} , As_xS_{1-x} plyonkalarining He-Ne lazer bilan nurlanishidan oldin va keyin optik o'tkazuvchanligining spektral bog'liqliklarini o'rganish;

xalkogenidli shishasimon yarimo'tkazgich plyonkalarining optik va golografik xossalari γ -nurlanishning ta'sirini o'rganish;

xalkogenidli shishasimon yarimo'tkazgich As_xSe_{1-x} , As_xS_{1-x} plyonkalarida ma'lumotlarning saqlanish muddatini o'rganish.

Tadqiqotning ob'yekti sifatida turli qalinlikdagi va konsentratsiyalardagi, turli issiqlik harorati bilan ishlov berilgan xalkogenid shishasimon yarimo'tkazgichli As_xSe_{1-x} , As_xS_{1-x} plyonkalari olingan.

Tadqiqotning predmeti gologramma yozishning fizik mexanizmlari va jarayonlari, As_xSe_{1-x} , As_xS_{1-x} xalkogenid shishasimon yarimo'tkazgich

plyonkalarida optik ma'lumotlarni saqlash, γ -nurlanishning turli dozalarini ularning golografik va optik xossalari ta'siridan iborat.

Tadqiqotning usullari. Radiatsiya ta'sirini o'rganish uchun gamma nurlanish usuli qo'llanildi, As_xSe_{1-x} , As_xS_{1-x} turdagi plyonkalarining optik otkazuvchanligining spektral bog'liqligi Furye yutilish (IQ) usullari bilan aniqlandi, XShYa plyonkalarining difraksiya samaradorligi interferometrik usul yordamida o'lchandi.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

isitilmagan tagliklarda vakuumda (10^{-5} torr) termal bug'lanish usuli bilan yotqizilgan, yupqa plyonkalar ko'rinishidagi As_xSe_{1-x} , As_xS_{1-x} turidagi XShYa materiallarining golografik xususiyatlarini o'rganish uchun optik qurilma ishlab chiqilgan;

barcha namunalarning strukturaga sezgir parametrlari boshlang'ich materialning issiqlik bilan ishlov berish haroratiga bog'liq bo'lib, As_xSe_{1-x} va As_xS_{1-x} plyonkalarining difraksiya samaradorligi $T \approx 490^\circ C$ da maksimal qiymatga ega ekanligi aniqlangan;

He-Ne lazeri bilan nurlanishdan oldin va keyin maksimal qorayishgacha fundamental yutilish chegarasi hududida plyonkalarining optik o'tkazuvchanligining spektral bog'liqligini o'rganish natijasida nurlanishdan keyin uzun to'lqin sohasi tomon siljishi aniqlangan;

As_xSe_{1-x} va As_xS_{1-x} turdagi XShYa materiallarida gologrammalarining difraksion samaradorligi mishyak miqdori 65 at.% bo'lgan plyonkalar uchun maksimal ($\eta=12\%$) qiymatga ega ekanligi aniqlangan;

ilk bor As_xSe_{1-x} va As_xS_{1-x} xalkogenid plyonkalarining optik va golografik xususiyatlariga γ -nurlanishning $10^3 \div 10^9$ (Rentgen) qiymatida ta'sir etganda XShYa plyonkalarining nurlanishga chidamli ekanligi aniqlangan;

As_xSe_{1-x} va As_xS_{1-x} xalkogenid shishasimon yarimo'tkazgich plyonkalarida eksperimental ravishda golografik ma'lumotlarning saqlash muddati 15 yil va undan ko'proq ekanligi aniqlangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

ishlab chiqilgan usullar va stendlar har qanday tarkibdagi xalkogenid plyonkalarining, shuningdek, yarimo'tkazgich, fotoxrom va boshqa materiallarning golografik xususiyatlarini o'rganish uchun tavsiya etilishi mumkin;

As_xSe_{1-x} , As_xS_{1-x} xalkogenid plyonkalarining golografik xarakteristikalarining γ -nurlanish ta'siriga ($10^3 \div 10^9$ Rentgen) barqarorligi bo'yicha olingan eksperimental natijalarni radiatsiya sharoitlari ishlovchi optik va golografik arxiv saqlash qurilmalarini yaratish uchun tavsiya etish mumkin;

xalkogenid shishasimon yarimo'tkazgich plyonkalarida ma'lumotni gologramma yozish bo'yicha tadqiqotlar natijalari optik ishlov berish tizimlarida raqamli va analog signallarni yozish va optik saqlash qurilmalarida ma'lumotlarni reversiv saqlash imkoniyati aniqlangan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi dissertatsiya muallifi tomonidan olingan natijalar, yondashuvning murakkabligi, shu jumladan yetarlicha rivojlangan eksperimental uskunalardan foydalanish va eksperimental ma'lumotlarni zamonaviy nazariy modellar asosida talqin qilish bilan ta'minlanadi. Spektroskopik ma'lumotlarning ishonchliligi xalkogenidli shishasimon yarimo'tkazgichlar

plyonkalarining yuqori optik sifati, “Shimadzu UV 3600” spektrofotometr asboblari, LG-215, LG-38, LG-36, LG-44 lazer qurilmalari, shuningdek, difraksiya samaradorligini o‘lchash uchun ishlab chiqilgan UIG - 2M va SIN sanoat gologramma qurilmalaridan keng foydalanish bilan belgilanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati axborotni qayta ishlash va saqlash sohasida yangi bilimlarni olish, optik ishlov berish va saqlash tizimlari uchun turli xil muhitlarda gologramma yozib olish usullari bilan ma’lumotlarni zichligini oshirish usullarini aniqlash va ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati axborot texnologiyalari va raqamlashtirish davrida talabga ega bo‘lgan ma’lumotlarni reversive qayd qilish uchun qo‘llanilishi mumkin bo‘lgan materiallar ko‘lamini kengaytirishdan iborat.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi.

Yarimo‘tkazgichli As_xSe_{1-x} va As_xS_{1-x} xalkogenid yupqa qatlamlarining strukturaviy, elektrofizik va optik xususiyatlarini o‘rganish asosida:

xalkogenidli shishasimon yarimo‘tkazgichlarga axborotlarni yozish, o‘chirish va saqlash bo‘yicha olingan ilmiy natijalar Qirg‘iziston Respublikasi Milliy Fanlar akademiyasining Jeyenbayev nomidagi Fizika institutining “Kosmos va axborot texnologiyalari va raqamli Yer” laboratoriyasida bajarilgan “Qirg‘iziston Respublikasi xalq xo‘jaligi uchun texnologik muammolarni masofadan zondlash, saqlash va hal qilishda optika va nanotexnologiyalarning yangi nazariy yondashuvlari, usullari va algoritmlarini ishlab chiqish” mavzusidagi loyihasi doirasida golografik saqlash qurilmalarida xotira elementlarini yaratishga qaratilgan ilmiy muammolarni hal qilishda va tadqiqot ishlarini olib borishda foydalanildi (Qirg‘iziston Respublikasi Milliy Fanlar Akademiyasi Akademik Jeyenbayev nomidagi Fizika institutining 2022 yil 12 dekabrda 10/06-01/83 ma’lumotnomasi). Ilmiy natijalardan foydalanish gologramma saqlash qurilmalarida xotira elementlarini yaratish imkonini bergan.

Dissertatsiya natijalaridan 2021-2022 yillarda O‘zR FA Fizika-texnika institutida bajarilgan “Yangi turdagi xalkogenid materiallari asosidagi yupqa qatlam quyosh elementlarini kompleks tadqiqot qilish va ishlab chiqish” nomli loyihaning ilmiy-texnikaviy vazifalarini bajarishda, jumladan, kimyoviy molekulalar dastalaridan olish usuli bilan turli tarkibdagi Sb_2Se_3 yupqa qatlamlari o‘stirish, ularning strukturaviy, optik va elektrofizik xossalari tadqiq etishda foydalanilgan (O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasining 2023-yil 7-fevraldagi 2/1255-275-son ma’lumotnomasi). Ilmiy natijalardan foydalanish kimyoviy molekulalar dastalaridan olish usuli bilan ohak-natriyli shisha (SLG) sirtiga yuqori sifatli turli tarkibli Sb_2Se_3 yupqa qatlamlarini o‘stirishning optimal texnologik sharoitlarni aniqlash imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Dissertatsiya ishi natijalari 9 ta xalqaro va 13 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida ma’ruza qilingan va muhokama qilingan.

Tadqiqot natijalarining e’lon qilinganligi. Dissertatsiya materiallari asosida 30 ta ilmiy maqola, shundan 7 ta maqola O‘zbekiston Respublikasi OAK tomonidan

doktorlik dissertatsiyalarining asosiy ilmiy natijalarini chop etish uchun tavsiya etilgan ilmiy jurnallarida chop etilgan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertasiya kirish, uchta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxatidan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 23 ta rasm, 11 ta jadvalni o'z ichiga olgan holda 111 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya mavzusi bo'yicha turli tadqiqotchilar tomonidan olingan natijalar tahlili keltirilgan, dissertatsiya ishining dolzarbligi va zarurligi asoslangan, respublika fan-texnika taraqqiyotining ustuvor yo'nalishlariga mosligi aniqlangan, muammoning o'rganilganlik darajasi ochib berilgan, tadqiqot maqsadi va vazifalari belgilangan, tadqiqot ob'yekti, predmeti va tadqiqot usullari keltirilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy ahamiyati bayon etilgan, tadqiqot natijalarining joriy qilinishi haqida qisqacha ma'lumot berilgan, ishni aprobatsiyadan o'tganligi va nashr qilinishi, shuningdek dissertatsiyaning hajmi va tuzilishi to'g'risida ma'lumotlar berilgan.

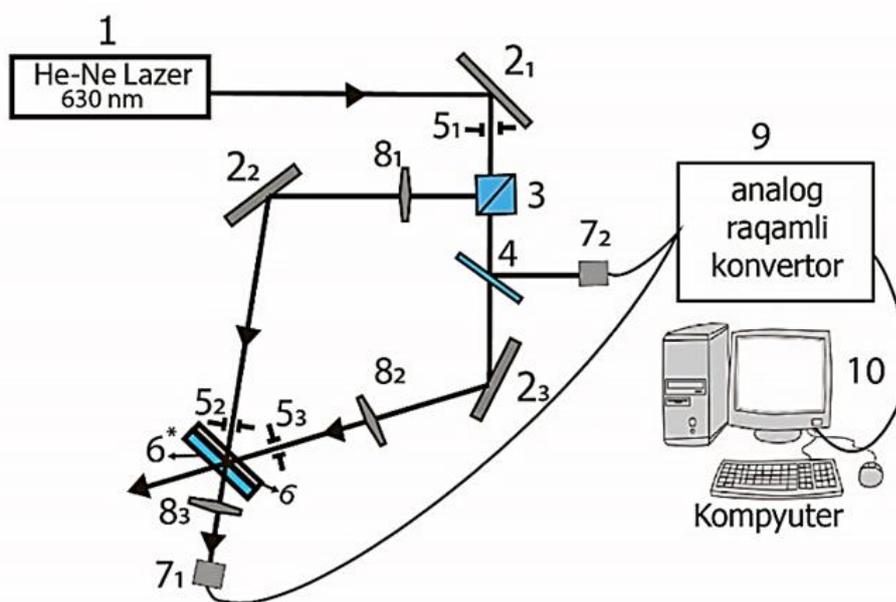
“Xalkogenidli shishasimon yarim o'tkazgichlarning xossalari haqida asosiy ma'lumotlar” deb nomlangan birinchi bobda samarali xalkogenidli shishasimon yarimo'tkazgichlarni (XShYa) yaratishning hozirgi holati va eng so'nggi ilmiy yutuqlari tahlil qilingan. Golografik muhitlarga qo'yiladigan zamonaviy talablardan kelib chiqqan holda XShYa xususiyatlarini yaxshilash bo'yicha tadqiqotlar olib borilayotgan asosiy yo'nalishlar qayd etilgan. XShYa larning fizik va kimyoviy xossalari, XShYa plyonkalarini olish usullari haqida ma'lumotlar keltirilgan. XShYa tizimlarining difraktsiya samaradorligi, ajratish qobiliyati, reversivligi to'g'risida tushunchalar, gologrammalarni yozish paytida tayanch va predmet to'lqinlari haqida ma'lumotlar keltirilgan. Shuningdek xom ashyoga dastlabki ishlov berish; γ -nurlanishning As-Se va As-S tizimlarining optik va golografik xarakteristikalariga ta'siri bo'yicha xorijiy va o'zbek olimlari tomonidan o'rganish natijalari haqida batafsil ma'lumotlar keltirilgan beradi. Ushbu tahlil va xulosalar asosida dissertatsiya tadqiqotining vazifalaribelgilab olingan.

“Xalkogenidli shishasimon yarimo'tkazgich namunalari va yupqa plyonkalarini olish usullari” deb nomlangan ikkinchi bobda XShYa larning sintez usullari tavsiflangan. Amorf qotishmalarni sintez qilish va sovutishning harorat va vaqt rejimlari bayon etilgan, o'rganilayotgan tizimlarning tarkibi aniqlangan. As-Se va As-S tizimlarining o'rganilayotgan namunalari uchun shisha o'tish mezonlari aniqlangan, ochiq tantal bug'latgichdan termal bug'lanish juda nozik ($300\div 600\text{\AA}$) plyonkalarini olish zarur bo'lgan hollarda qo'llanilgan. Qatlamning qalinligi mikron yoki undan ko'p bo'lishi kerak bo'lgan hollarda, kvazi-yopiq turdagi quvurli bug'latgich ishlatilgan. Shu bilan birga, As-Se tizimi uchun materiallarning bug'lanishi paytida uning harorati 400°C , As-S tizimi uchun esa 290°C edi. Buzilgan bog'lanishlarni, shishadagi kuchlanishlarni va boshqa o'zgarishlarni tiklash uchun shisha qo'shimcha ravishda ma'lum tarkibdagi shishalarning kristallanish haroratidan past haroratlarda toblantirilgan.

“Xalkogenidli yarimo‘tkazgichli plyonkalarining optik va golografik xususiyatlarining eksperimental tadqiqotlari” deb nomlangan uchinchi bobda radiasiya ta’sirining XShYa plyonkalarining golografik xususiyatlariga ta’sirini eksperimental o‘rganish natijalari keltirilgan.

Bir yoki bir nechta xalkogenlarni (S, Se, Te) o‘z ichiga olgan xalkogen shishasimon yarimo‘tkazgichlar golografik usullar bilan ma’lumotlarni uzatish va qayta ishlash uchun istiqbolli qayd qiluvchi materiallar hisoblanadi.

Radiatsion texnologiyalarning rivojlanishi va murakkab qattiq jisml materiallarning mikroelektronika mahsulotlarida, axborotni saqlash va qayta ishlash tizimlarida, turli kosmik va yadro texnologiyalari ob’yektlarida keng qo‘llanilishi, bu materiallarda radiasiya ionlashtiruvchi ta’sir ostida sodir bo‘ladigan jarayonlarning tabiatini o‘rganish vazifasini ilgari suradi. O‘z navbatida, ushbu materiallarning nurlanishga chidamliligini aniqlash, uni yaxshilash usullarini izlash va ularning xususiyatlarini o‘zgartirish uchun nurlanishdan foydalanish imkoniyatini aniqlash talab etiladi. Shu maqsadda radiasiya ta’sirining ma’lumotlarni yozib olish, saqlash va qayta ishlash tizimlari uchun XShYa plyonkalarining gologramma xususiyatlariga ta’sirini o‘rganilgan. As-Se namunalarida qayd etilgan gologrammalarning difraksiya samaradorligini aniqlash uchun 1-rasmda ko‘rsatilgan optik sxema ishlatilgan.



1-rasm. XShYa plyonkalarining gologramma xususiyatlarini eksperimental tadqiq qilish sxemasi

As-Se yupqa plyonkalar ko‘rinishida vakuumda (10^{-5} torr) issiqlik bug‘lanishi natijasida olingan materiallarning optik, golografik va radiatsiyaviy xususiyatlarini o‘rganish metodikasi biz tomonimizdan ishlab chiqildi. As_2Se_3 plyonkalari uchun hajmiy As_2Se_3 ning eng past ishlov berish haroratidan biroz pastroq edi. Tadqiq qilinayotgan As_2Se_3 va As_xSe_{1-x} plyonkalar 0,2-4,5 mkm qalinlikka ega edi. Radiatsiyaviy tadqiqotlar uchun mo‘ljallangan namunalardagi As va Se

konsentrasiyasi mos ravishda 28 dan 70 atom foizgacha va 30 dan 72 atom foizgacha o'zgardi.

Olingan plyonkaning spektral o'tkazuvchanligini aniqlash orqali u yoki bu turdagi lazer nurlari bilan ma'lumotni yozib olish uchun eng mos material tanlandi. Buning uchun bir qator shartlar bajarilishi talab etiladi: birinchidan, gologrammalarning butun hajmda samarali qayd etilishini ta'minlash yozuvchi nurning bir xil yutilish sharti, ikkinchidan eng yuqori difraksiya samaradorligini olish, past yutilish sharti. Bizning holatlarimizda bu shartlarning bajarilishi xususiy yutilish chegarasi sohasida ishlash nuqtasini tanlash orqali amalga oshiriladi. Namunalarni geliy-neon lazer nurlari bilan yoritish ko'p hollarda yutilish chegarasi hududida, yutilish koeffitsiyentining katta qiymatlarida amalga oshirildi.

1-rasmdagi sxemada ma'lumotlarni yozish yassi difraksion panjaralar yozuvida aks etadi, bu yerda 1 – nurlanish manbai LG-38 lazeri; 2₁, 2₂, 2₃ – yassi ko'zgular; 3-kub prizma; 4 - shaffof plastinka; 5₁, 5₂, 5₃ - diafragma niqoblari; 6 – namuna, 6* taglik; 7₁, 7₂ – qayd etish moslamalari; 8₁, 8₂, 8₃ - to'siqlar, 9-analog raqamli konvertor, 10-kompyuter. Butun sxema uzluksiz to'liqlikni lazer yordamida keng ko'lamli golografik tadqiqotlar uchun mo'ljallangan UIG-2M zavod eksperimental qurilmasining ishchi stoliga joylashtirilgan.

Golografik yozuv standart ikki nurli sxema bo'yicha amalga oshirildi. Nurning og'ish burchagi $\cong 30^\circ$. Optik jihozlarning tebranishiga olib keladigan tebranishlarini bartaraf qilish uchun uning barcha elementlari mayatnik prinsipiga muvofiq osilgan ishchi plastinka yuzasiga mahkam o'rnatiladi. Ma'lumotni yozib olish va o'qish uchun geliy-neon lazer He-Ne LG-38 ($\lambda = 632,8 \text{ nm}$) ishlatilgan.

Qurilma 3 rejimda ishlaydi:

1. Gologramma yozish rejimi; 8₁ va 8₂ to'siqlar ochiq, 8₃ to'siq yopiq. 7₂ yozuv nurlarining intensivligini qayd etadi.

2. Difraksiya samaradorligini o'lchash rejimi (η); to'siq 8₁ yopiq, 8₂ va 8₃ to'siqlar ochiq. 7₂ tayanch nurlarning intensivligini, 7₁ - difraksiyalangan nurning intensivligini qayd etadi.

3. Namuna shaffoflik koeffitsiyentini o'lchash rejimi (T); 8₁ va 8₃ to'siqlar ochiq, 8₂ to'siq yopiq. 7₁ tushgan nurning intensivligini, 7₂ – o'tgan nurning intensivligini qayd etadi. Difraksiyalangan nurning intensivligini aniqlashning aniqligi 1,6% ni tashkil etdi. Gologrammaning o'lchami filtr tomonidan aniqlandi va $\sim 1,5 \text{ mm}$ ga teng edi.

Qurilma ishning batafsil tavsifini beramiz (1-rasm): lazer nuri (1) kubik prizma (3) orqali ikkita nurga bo'linadi, keyin ular namuna yuzasida birikadi (6). Shu tarzda olingan gologramma chastota chiziqlari o'rnatish parametrlariga bog'liq bo'lgan va sozlanishi mumkin bo'lgan difraksiya panjarasidir. Bizning holatimiz uchun $v = 1000 \text{ satr/mm}$. Tasvirlarning maksimal kontrastini olish uchun nurlarni intensivlikda tenglashtiradigan umumiy o'tkazuvchanligi 83 % ga ega diafragma niqobi (5₁) kiritildi.

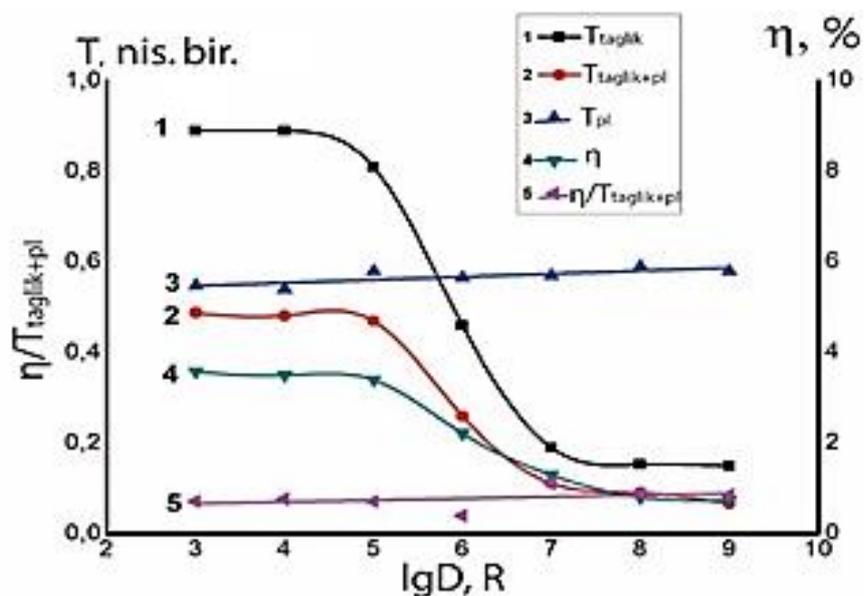
Diafragma niqoblari (5₂, 5₃) lazer nurlarining bir jinsli bo'lmasligi va sozlashning xatoligi bilan bog'liq kamchiliklarni bartaraf etishga xizmat qiladi. Fotodatchiklar va ular bilan bog'liq qayd etish qurilmalari (7₁, 7₂) difraksiya samaradorligini η , namuna T shaffoflik koeffitsiyentini o'lchash uchun ishlatiladi.

Qayd etish qurilmasimasi diafragma niqoblarining ($5_1, 5_2, 5_3$) effektini hisobga olgan holda kalibrlanadi. Difraksiya samaradorligi gologrammalarni qayta tiklashda 1-tartibda difraksiya qilingan tayanch nuri nurlanish quvvatining, difraksiya qilinmagan tayanch nurining nurlanish quvvatiga nisbati bilan baholanadi. Dastlabki namunalar va tagliklarning o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti gologrammalarni yozib olishdan oldin yigirma marta yorug'lik filtri tomonidan zaiflashtirilgan zond nurlari yordamida o'lchandi.

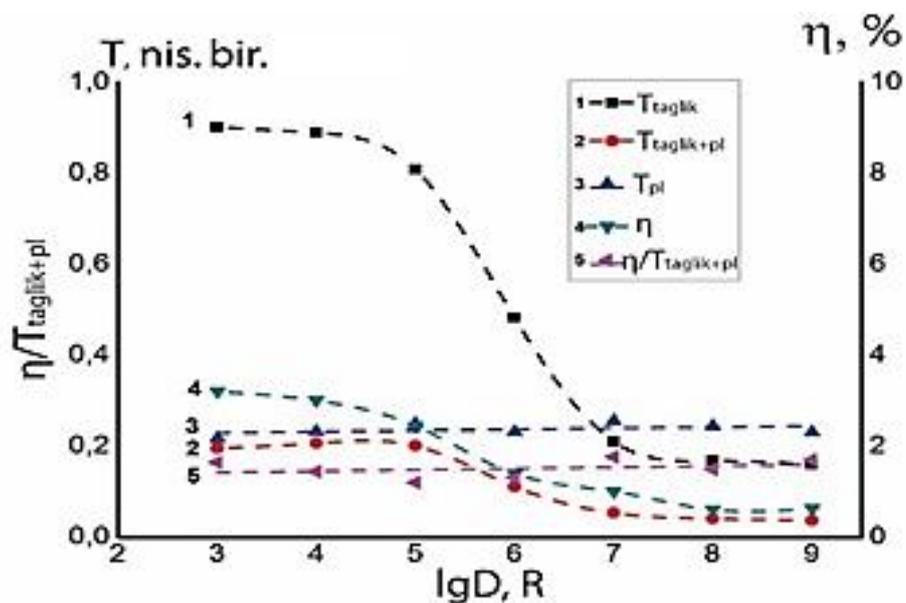
As-Se tizimining turli ko'rinishdagi, shisha tagliklarga vakuumli purkash orqali olingan yupqa plyonkalari materiallari γ -nurlanishning turli ($10^3 \div 10^9$ R) dozalarida nurlantirilgan. Nurlanish uchun namunalar alyuminiy kapsulaga joylashtirildi, shundan so'ng, ular Co^{60} γ -qurilmasining tegishli nurlanish kanalining faol zonasiga kiritildi. Radiasiyaga chidamliligini o'rganish uchun namunalar turli ($10^3 \div 10^9$ R) dozalarda radioaktiv kobalt nurlari bilan ta'sirlangan. Ma'lumki, radioaktiv Co^{60} energiyalari $E_\gamma = 1,17$ va $1,13$ MeV bo'lgan γ -kvantlarni chiqaradi. Bu γ nurlarining o'rtacha energiyasi $1,25$ MeV ni tashkil qiladi. Nurlanish kanallari kerakli dozalarga qarab tanlangan (bizning holatlarimizda 83 R / sek va 1100 R / sek). Nurlanish dozalari diapazoni biz tomonimizdan γ nurlarining shishadan olingan taglik namunalari ta'sirini ko'rsatadigan dastlabki tajriba asosida tanlandi. Maksimal doza 10^9 R ni tashkil etdi, bu aniq o'rganilayotgan namunalarning qorayishiga olib keladi.

Nurlanishdan so'ng o'rganilgan namunalar gologrammalarning barqarorligi va yangilarini yozib olish uchun tekshirildi, so'ngra nurlanishdan keyin bir hafta ichida namunalarning difraksiya samaradorligi va o'tkazuvchanligini o'lchash har kuni amalga oshirildi, ma'lumki, γ -nurlanish harorat, yorug'likning sochilishi va boshqalar ta'sirida ta'kidlash mumkin bo'lgan bir qator beqaror qorayish markazlarini keltirib chiqarishi mumkin. Tajriba natijalari 2, 3-rasmlarda keltirilgan. γ -nurlanishning ta'siri keltirilgan: qayd qilingan gologrammalarning difraksion samaradorligiga - 4, taglikning o'tkazuvchanligiga - 1, plyonkaga-3 va - plyonka bilan taglikka -2.

Difraksiya samaradorligining o'tkazuvchanlikka nisbati qiymatlari eksperimental xatolik tufayli to'g'ri chiziqdan chetlashgan. Bundan tashqari, namunalarning gologramma xususiyatlarining va difraksiya samaradorligi o'zgarishi γ -nurlanishning taglik materialiga ta'sir qilish darajasiga bog'liqligini ko'rish mumkin, uning dozalari 10^9 R gacha 4-8 marta o'zgarishi mumkin, γ -nurlanish ta'sirida XShYa plyonkalarining qayd etilgan gologrammalarining $10^3 \div 10^9$ R oralig'ida deyarli o'zgarmaydi. Bu shuni ko'rsatadiki, γ -nurlanish xalkogenidli shishasimon yarimo'tkazgichlar materialida qayd etilgan gologrammalarning xususiyatlariga ta'sir qilishi mumkin bo'lgan biror bir o'zgarishlarga olib kelmaydi.

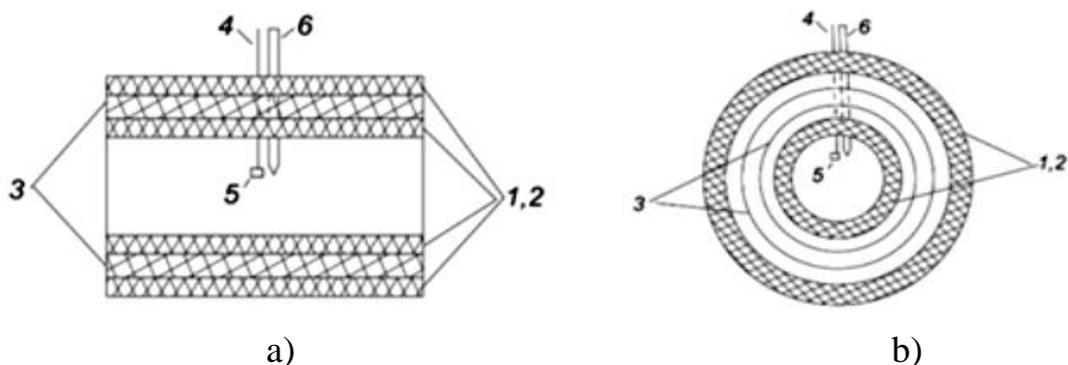


2-rasm. $As_{70}Se_{30}$ plynka namunalari uchun o'tkazishning dozaga bog'liqligi - T va difraksiya samaradorligi - η . 1 - T_{taglik} ; 2 - $T_{taglik + plynka}$; 3 - T_{pl} ; 4 - η , difraksiya samaradorligi; 5 - η ning $T_{taglik + plynka}$ o'tkazuvchanligiga nisbati



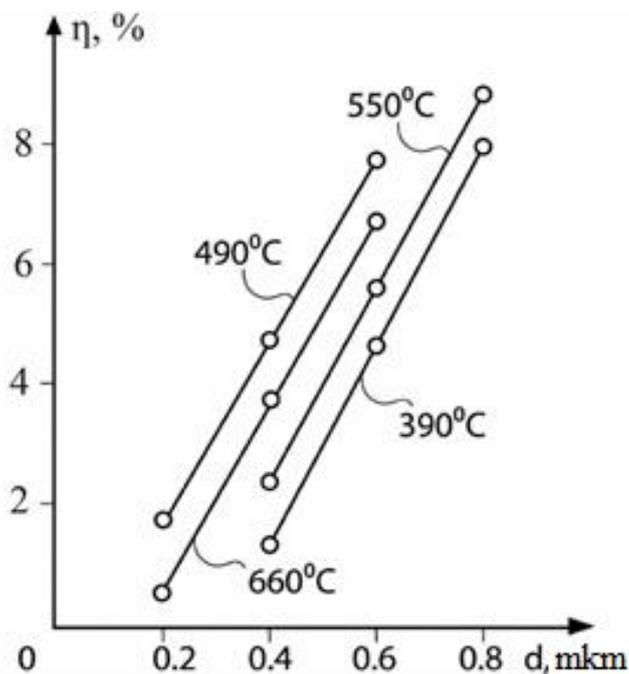
3-rasm. $As_{65}Se_{35}$ plynka namunalari uchun uzatishning dozaga bog'liqligi - T va difraksiya samaradorligi - η . 1 - T_{taglik} ; 2 - $T_{taglik + plynka}$; 3 - T_{pl} ; 4 - η , difraksiya samaradorligi; 5 - η ning $T_{taglik + plynka}$ o'tkazuvchanligiga nisbati

Qayd etilgan gologrammalarni qayta yozilishi va o'chirilishini o'rganish uchun yorug'lik uchun shaffof oynali termostatli pech ishlatilgan (4-rasm). Pech turli diametrlilik ikkita koaksiyal silindrdan iborat bo'lib, ular orasida nixromli spiral o'ralgan.



4-rasm Termostatli pechning qurilmasi. a) uzunligiga kesma, b) kesma, 1 va 2 – koaksial silindrlar; 3-nixromli spiral; 5, 4-osilgan namuna; 6-termometr

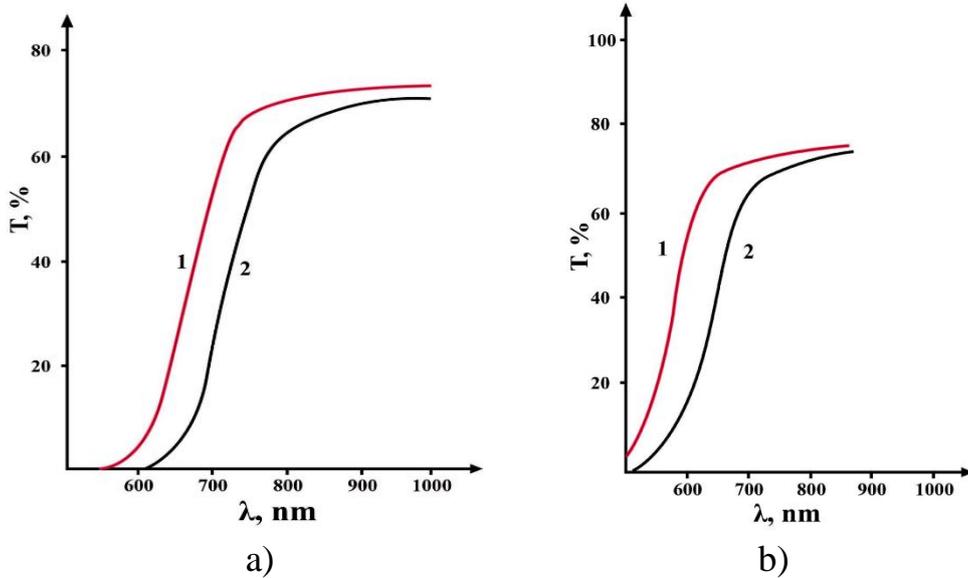
Natijada, namuna (ipga osilgan) pechka ichida bir xilda qizdirildi. Namuna yaqinidagi havo harorati termometr bilan qayd etilgan. Pechka avtotransformatordan quvvat oladi. Pechkaga yetkazib beriladigan tok oqimi ampermetr bilan tartibga solingan.



5-rasm. Turli xil haroratlarda ishlov berilgan boshlangich material $\text{As}_{40}\text{Se}_{60}$ ning difraksion samaradorligi va uning plyonka qalinligiga bog'liqlik grafi

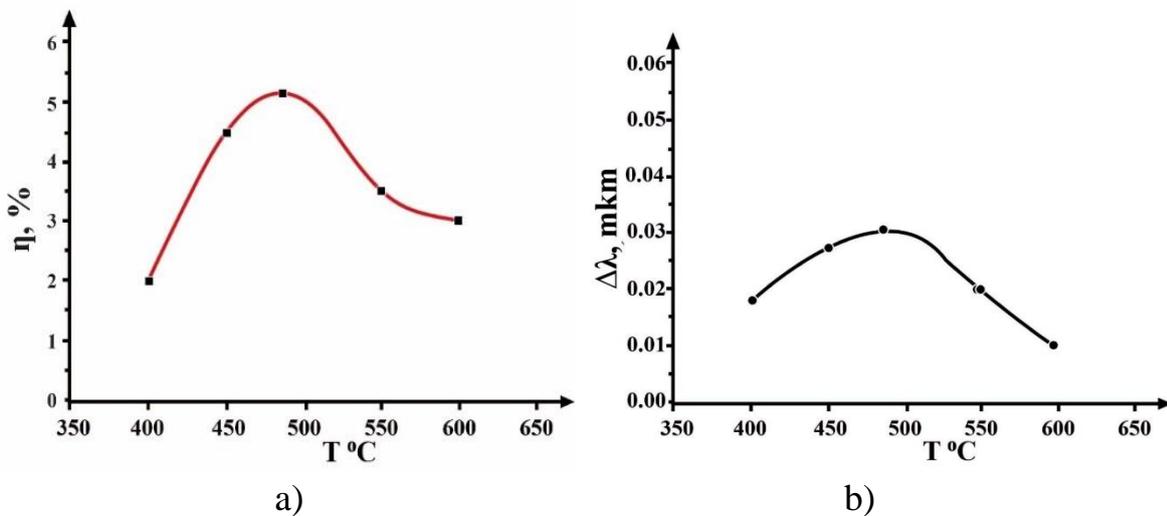
Plyonkalarining golografik xossasi difraksion samaradorlik (DS) ishlov berish temperaturasi bog'liq. Turli xil haroratlarda termik ishlov berish uchun boshlang'ich mishyak xalkogenidlarining bir partiyasi yopiq kvarts ampulalarida turli haroratlarda ($T_{\text{nam}} = 390, 490, 550$ va 660°C) 1 soat davomida qayta ishlandi, keyin havoda sovutildi. Ko'rinib turibdiki, difraksion samaradorlik turli temperaturalarda ishlov berilgan namunalar qalinligiga chiziqli bog'liq bo'lishi aniqlandi (5-rasm).

Nurlangan va termik ishlov berilgan plyonkalarining asosiy yutilish chegarasi (0,4-1,0 mkm) oraliqda optik o'tkazuvchanlikning spektral bog'liqligi SHIMADZU UV 3600 spektrofotometrda o'rganildi.



6-rasm. (a) $As_{70}Se_{30}$ (b) $As_{65}Se_{35}$ namunalarining optik yutilish chegarasining o'zgarishi $T=490^{\circ}C$ 1 - nurlanishdan oldin; 2 - nurlanishdan keyin

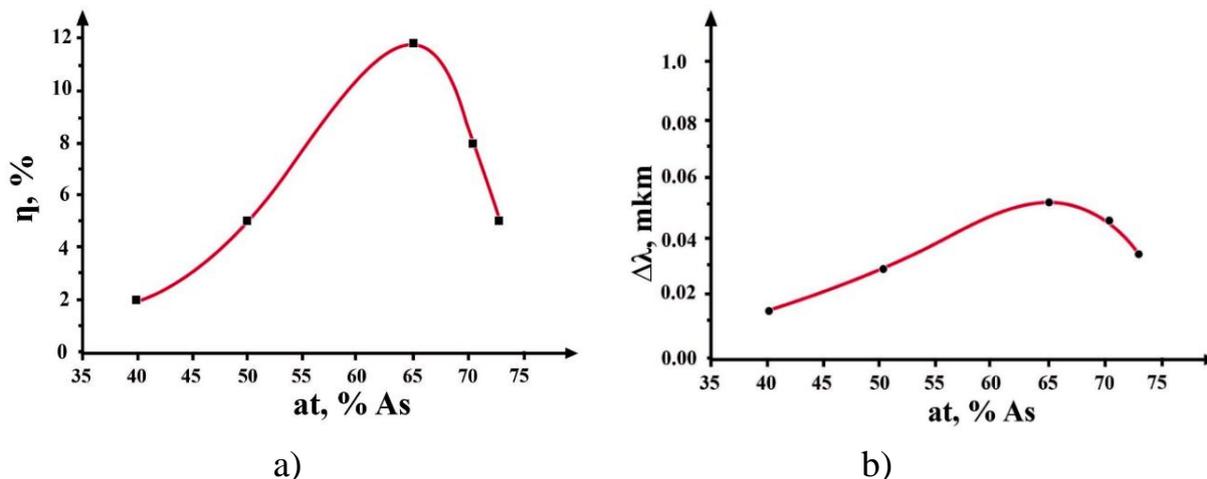
6-rasmda optik yutilish chegarasining siljishi ko'rsatilgan. Nurlanish ta'sirida o'rganilayotgan plyonkalarining shaffofligi pasayib, yutilish sohasi uzunroq to'liqin uzunliklariga siljidi.



7-rasm. Turli xil termik ishlovga ega bo'lgan $As_{40}Se_{60}$ plyonkalarining difraksiya samaradorligi (a) va optik yutilish chegarasining (b) o'zgarishi

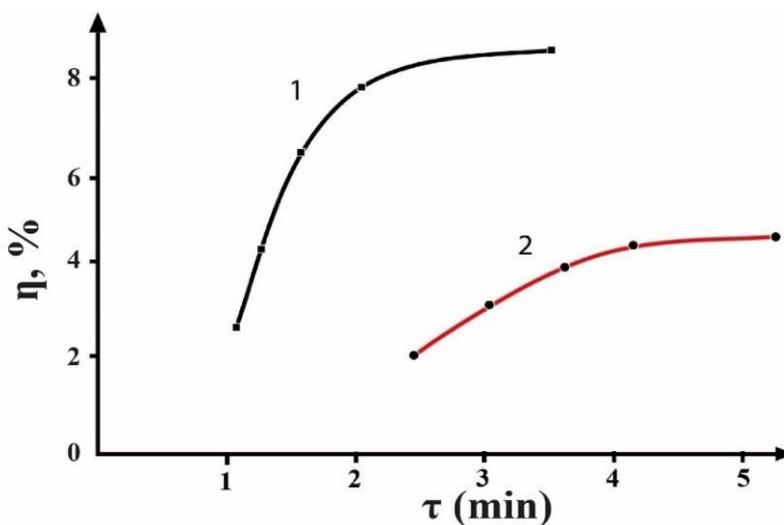
7-rasmda difraksiya samaradorligining η ma'lum nisbiy qiymatlari va optik yutilish chegarasining $\Delta\lambda$ qiymatlari keltirilgan. Ularning qiymatlarining tarqalishi plyonka qalinligining bir hil bo'lmaganligi bilan bog'liq. Gologrammalarining difraksiya samaradorligi qiymatlari va As-Se plyonkalarining optik yutilish

chegarasining dastlabki materialni qayta ishlash haroratiga bog'liqligi ekstremal xarakterga ega ekanligi $T_{\text{nam}} \approx 490^\circ\text{C}$ da maksimal qiymatga erishishi aniqlandi.



8-rasm. As-Se plyonkalarida diffraksiya samaradorligi (a) va optik yutish chetining (b) siljishining kompozision bog'liqlilari

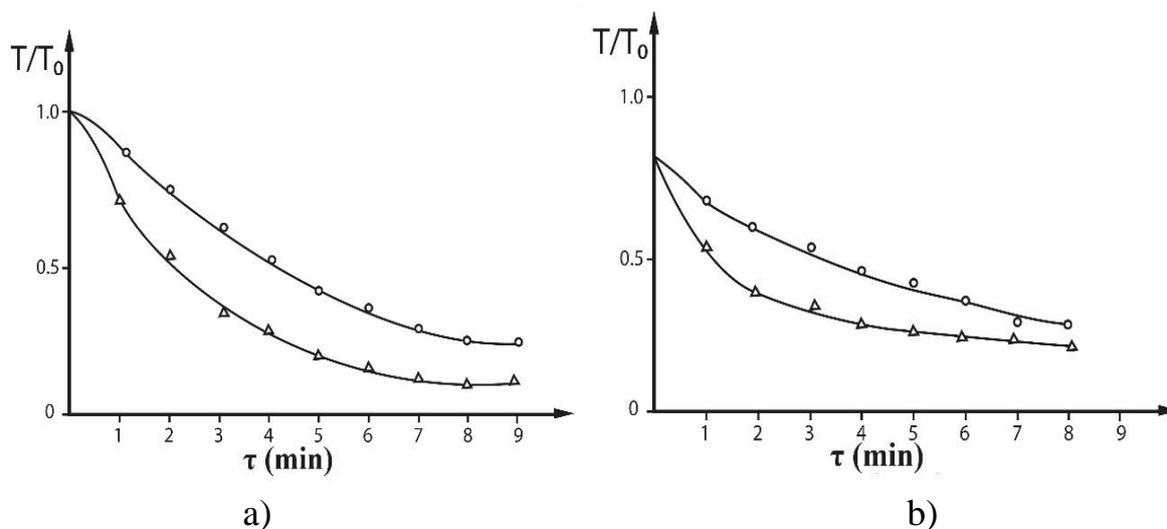
As-Se tizimining plyonkalari uchun diffraksiya samaradorligi va optik yutilish chegarasi siljishining kompozision bog'liqlilari (8-rasm) mishyak miqdori 65% bo'lgan plyonkalar uchun maksimal qiymatga ega. As tarkibining 65% dan yuqori bo'lishi bilan diffraksiya samaradorligining pasayishi, shubhasiz, tarkibi shisha holatiga o'tish sohasidan tashqariga chiqadigan plyonkalarining beqarorligi bilan bog'liq. Mishyak konsentratsiyasining 40 dan 65% gacha o'zgarishi bilan diffraksiya samaradorligining oshishi, ehtimol, lokal nuqsonlarning qo'shimcha manbai bo'lib xizmat qiladigan ortiqcha As yoki Se mavjudligi bilan bog'liq.



9-rasm. $\text{As}_{65}\text{Se}_{35}$ namunasi uchun diffraksiya samaradorligining ta'sir qilish vaqtiga bog'liqligi. 1.O'chirishdan oldin; 2.O'chirishdan keyin

O'chirishdan so'ng, nafaqat nisbiy o'tkazuvchanlikning balki, diffraksiya samaradorligining pasayishi kuzatildi (9-rasm). Bu adabiyot tahlillariga mos keladi, shuningdek, maksimal diffraksiya samaradorligiga erishish uchun ta'sir qilish

vaqtining oshishi ham kuzatildi. Issiqlik bilan ishlov berishdan keyin sezuvchanlik pasayadi. Gologrammalarni o‘chirib, keyin qayta yozib olishda namunalarning difraksiya samaradorligining maksimal qiymati o‘tkazuvchanlikdan ko‘ra ko‘proq darajada pasayadi.



10-rasm. Namuna yozuvini o‘chirgandan so‘ng nisbiy o‘tkazuvchanlikning ta‘sir qilish vaqtiga bog‘liqligini o‘zgartirish (a) $As_{65}Se_{35}$, (b) $As_{70}Se_{30}$. \circ -o‘chirishdan oldin; Δ -o‘chirishdan keyin

Ko‘rinishidan, qayd etilgan gologrammalarning fazaviy komponenti issiqlik bilan ishlov berish jarayonida eng katta o‘zgarishlarga uchraydi. Difraksiya samaradorligining o‘zgarish darajasi plyonkalarining tayyorlash usuli va tarkibiga bog‘liq.

10-rasmda vaqt o‘tishi bilan modulyatsiyalanmagan lazer nurlari ta‘sirida nisbiy o‘tkazuvchanlikning o‘zgarishlari ko‘rsatilgan. O‘chirishdan so‘ng, nisbiy o‘tkazuvchanlikning pasayishi kuzatildi.

As-Se plyonkalarining optik va golografik xususiyatlariga γ - nurlanishning ta‘siri o‘rganildi. Aniqlanishicha, γ -nurlanish dozalari ($10^3 \div 10^9$ R) oralig‘ida, amalda xalkogenidli shishasimon yarimo‘tkazgichlar materialida hech qanday o‘zgarishga olib kelmaydi, bu qayd etilgan gologrammalarning xususiyatlariga ta‘sir qilmaydi, ya‘ni XShYa plyonkalarining materiali bu diapazonda radiatsiyaga chidamli.

Bunday shishasimon xalkogenid yarimo‘tkazgichlardan (As-Se plyonkalari) optik ishlov berish va axborotni saqlash tizimlarida istiqbolli materiallar sifatida foydalanish imkoniyati ko‘rsatilgan.

Yozilgan gologrammalarni saqlash haqida quyidagilarni aytish mumkin:

Birinchi (sinov) yozuv 6 yil oldin qilingan. Keyin 15 yil oldin yozib olingan gologrammalarni tekshirdik. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, ushbu yozuvlar saqlanganligi aniqlandi, bu bizga ma‘lumotlar kamida 15 yil saqlangan degan xulosaga kelishimizga imkon berdi. Bu yo‘nalishdagi keyingi tadqiqotlar ma‘lumotni saqlashning maksimal vaqti qancha ekanligini ko‘rsatadi.

XULOSA

1. Xalkogenid plyonkalariga gologrammalarni yozib olish va o‘chirish usullari ishlab chiqildi, xalkogenidli shishasimon yarimo‘tkazgichlar – As-Se va As-S sistemalarida gologrammalarni yozib olishning reversivligi o‘rganildi.

2. As-Se va As-S plyonkalarini He-Ne lazeri bilan nurlantirishdan oldingi va keyingi spektrlarida optik yutilish chegarasining katta to‘lqin uzunligi tomon siljishi aniqlandi.

3. Gologrammaning diffraksiya samaradorligining kompozitsion bog‘liqligi va As_xS_{1-x} va As_xS_{1-x} sistemalarining optik yutilish chegarasi λ siljishi mishyak miqdori 65at.% bo‘lgan plyonkalar uchun maksimalga ega ekanligi ko‘rsatilgan.

4. As-Se va As-S plyonkalari optik va gologramma parametrlarining dastlabki materiallar termik ishlov berishiga bog‘liqligi aniqlanadi. Barcha namunalarning strukturaga sezgir parametrlari dastlabki namunalarga termik ishlov berish hariratiga kuchli bogliq bo‘lib, $T \approx 490^\circ C$ haroratda cho‘qqiga ega bo‘lishi aniqlandi. Boshlang‘ich materialning termik ishlov berishdagi o‘zgarish bilan diffraksiya samaradorligi ikki baravardan ko‘proq o‘zgarishi ko‘rsatilgan.

5. Shisha tagliklardagi As-Se va As-S plyonkalarining optik va gologramma xarakteristikasiga γ -nurlanishning ta’siri aniqlandi. $10^3 \div 10^9$ R doza oralig‘ida optik xossalari va qayd etilgan gologrammalarning diffraksion samaradorliklari amalda o‘zgarmasligi aniqlandi. $10^3 \div 10^9$ R doza oralig‘ida gologrammalarning optik xossalari va diffraksiya samaradorligi deyarli o‘zgarmasligi aniqlandi.

6. As-S, As-Se tizimlarida gologramma yozishning diffraksiya samaradorligi, reversivligi va saqlanuvchanligini o‘rganish natijalariga ko‘ra, ushbu materiallar optik ishlov berishni yozish va axborotni saqlash uchun golografik saqlovchi qurilma (GSQ)larning optik tizimlarida foydalanish uchun istiqbolli ekanligi aniqlandi. Qayd etilgan gologrammalarning saqlash muddati ma’lum sharoitlarda 15 yil yoki undan ko‘p bo‘lishi mumkinligi aniqlandi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.12.2019.FM/T.01.12 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ
ИНСТИТУТЕ ФИЗИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ И МИКРОЭЛЕКТРО-
НИКИ НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА УЗБЕКИСТАНА**

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ФИЗИКИ
ПОЛУПРОВОДНИКОВ И МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ
НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА УЗБЕКИСТАНА**

БЕКЧАНОВА МИРА РУЗИМОВНА

**ОПТИЧЕСКИЕ И ГОЛОГРАФИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЁНОК**

01.04.10 – Физика полупроводников

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

Ташкент – 2023

Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2020.2.PhD/FM 476.

Диссертация выполнена в Научно-исследовательском институте физики полупроводников и микроэлектроники Национального университета Узбекистана.

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

Научный руководитель: Азаматов Закиржан Тахирович
доктор физико-математических наук, профессор

Официальные оппоненты: Мамадалимов Абдугафур Тишабоевич
доктор физико-математических наук, академик
Юлдашев Носиржон Хайдарович
доктор физико-математических наук, профессор

Ведущая организация: Ташкентский государственный технический университет

Защита диссертации состоится « 06 » « 09 » 2023 г. в 10⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.FM/T.01.12 при Научно-исследовательском институте физики полупроводников и микроэлектроники Национального университета Узбекистана (Адрес: 100057, Узбекистан, г.Ташкент, ул. Янги Алмазар, дом 20. Тел: (+99871)248-79-94, факс: (+99871) 248-79-92, e-mail: info@ispm.uz (зал заседаний НИИ ФПМ при НУУз).

С диссертацией можно ознакомиться в отделе внедрения цифровых образовательных технологий института (зарегистрирована за № 51) по адресу: 100057, Узбекистан, г.Ташкент, ул. Янги Алмазар, дом 20. Тел: (+99871)248-79-59.

Автореферат диссертации разослан « 24 » « 08 » 2023 г.
(реестр протокола рассылки № 51 от 24.08 2023 г.).



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

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

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

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время в мире развитие современной науки и техники, требующее значительного увеличения объемов записи, хранения и обработки информации, обуславливает необходимость разработки и совершенствования методов записи, основанных на применение различных носителей информации. В этом отношении особо остро стоит проблема хранения информации с максимальной эффективностью. Одним из эффективных путей решения проблемы надежного, долговременного хранения информации, с высокой информационной плотностью носителей – является применение голографического метода хранения информации. В последние годы за рубежом проводятся комплекс теоретических и экспериментальных исследований по разработке голографических запоминающих устройств сверхвысокой информационной емкости с записью информации в различных регистрирующих средах. Следует отметить, что голографические методы позволяют записывать, хранить и восстанавливать информацию, представленную в виде картин, волновых полей, пространственных изображений и другие.

Создание систем оптической обработки информации и развитие голографии с ее многочисленными приложениями поставило задачу поиска и разработки материалов, изменяющих свои оптические свойства при воздействии лазерного излучения. Параметры систем оптической обработки информации главным образом определяются характеристиками регистрирующих сред. Например, для систем оперативной оптической обработки информации необходимы реверсивные среды, а фотографические эмульсии хотя имеют большие значения чувствительности (10^{-5} Дж/см²) и разрешающую способность, не могут быть использованы, поскольку они не дают возможности многократного использования. Регистрирующие материалы для оптических систем обработки информации должны позволять производить запись информации с высокой плотностью, считывание без разрушения, легкую перезапись информации ($10^7 \div 10^8$ циклов) с достаточной дифракционной эффективностью для воспроизведения информации.

Таким образом, к светочувствительным регистрирующим средам предъявляются требования в зависимости от того, в каких оптических системах обработки информации они могут быть использованы. Открытые российскими учеными – профессором Б.Т.Коломийцем и профессором Н.А.Горюновой, халькогенидные стеклообразные полупроводники (ХСП), оказались перспективными материалами для этих целей, обладающие рядом необходимых и специфических свойств. Благодаря высокой фотоэлектрической чувствительности и низкой электропроводности слои стеклообразных халькогенидов мышьяка нашли широкое применение в электронной фотографии. В качестве активных элементов передающих телевизионных трубок – видиконов. В сочетании с высокой разрешающей способностью (более 10^4 лин/мм) эти материалы могут быть использованы для

создания различных функциональных элементов интегрированной оптики и голографической записи информации. Именно благодаря этим свойствам халькогенидные вещества являются уникальными. Халькогениды мышьяка активно используются в планарных волноводах, микролинзах и усилителях. Помимо этого, наночастицы As-S имеют большой потенциал для применения в медицине как онкомаркеры нового поколения. Несмотря на то, что структуры As-S изучались и изучаются с 1950-х годов, они по-прежнему вызывают большой научный интерес. Факторами, затрудняющими в настоящее время широкое применение халькогенидных стеклообразных полупроводников в устройствах оптической записи информации, являются ограниченность методов управления свойствами этих материалов и их конденсатов, а также недостаточно высокая воспроизводимость их свойств. В связи с этим актуальной задачей является определение влияния внешних воздействий на структуру стеклообразных халькогенидов мышьяка и разработка методов управления их свойствами.

Настоящая диссертация выполнена согласно Указа Президента Республики Узбекистан № УП-6097 «Об утверждении концепции развития науки до 2030 года» от 29 октября 2020 года, Постановлению Президента Республики Узбекистан №ПП-5011 «О дополнительных мерах по дальнейшему развитию электротехнической и электронной промышленности и повышению конкурентоспособности отечественной продукции» от 03 февраля 2021 года, Указа Президента Республики Узбекистан №УП-60 «О стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы» от 28 января 2022 года, и в определенной степени служит выполнению задач, указанных в других нормативно-правовых документах.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики: III. «Энергия, энергосбережение, транспорт, машиностроение и приборостроение; развитие современной электроники, микроэлектроники, фотоники, электронного приборостроения».

Степень изученности проблемы. В Японии с проблемами халькогенидных стеклянных полупроводников при оптической записи информации занимались – Н. Ямада, К. Танака, в Германии – Р. Кольер, К. Берхарт, Л. Лин, в США – Г. Колфилд, Р. Ламбертс, Дж. Велис, Дж. Рейнольдс, в Латвии – К. Шварц, Д. Бандере, А. Озолс, Ю. Экманис, в России – Б. Коломиец, В. Любин, В. Шило, С. Гуриевич, В.А. Барачевский, А.Л. Микалян, Э.Х. Гуланиян, В. Бобринов, Ю. Усанов, П.А. Арсеньев, А.И. Попов. В Кыргызской Республике А. Акаев, Н. Джаманкызов, К. Жумалиев и их ученики всесторонне разработали и исследовали эффективный метод управления свойствами стеклообразных халькогенидов мышьяка.

В работах узбекского ученого С.В. Стародубцевым и его учениками изучались действия γ -излучения на оптические и механические свойства на халькогенидные стекла. Академики М.С. Саидов, Р.А. Муминов,

С.З. Зайнабиддинов, М.К. Бахадирханов, А.Т. Мамадалимов, профессора К.П. Абдурахманов, З.Т. Азаматов, Т.М. Разыков внесли большой вклад в изучение электрофизических и оптических свойств халькогенидных стеклообразных полупроводниковых материалов.

До настоящего времени технологии производства халькогенидных пленок и волноводов изучались в следующих наиболее известных научных центрах: в Реннском университете (Institute of Sciences Chimiques de Rennes), г. Ренн, Франция; в Ноттингемском университете (Mid-Infrared Glasses Group, George Green Institute for Electromagnetic Research), г. Ноттингем, Великобритания; в лаборатории военно-морских исследований (Naval Research Laboratory, Optical Sciences Research Group), г. Вашингтон, США; в университете Лавалья (Canada Excellence Research Chair in Photonic Innovations), г. Квебек, Канада; в университете г.Сидней (Institute of Photonics and Optical Science), Австралия, в Физико-техническом институте имени А.Ф. Иоффе, Петербург, в Московском Энергетическом институте РАН, Лаборатория химии высокочистых бескислородных стекол в Институте химии высокочистых веществ РАН (ИХВВ РАН), г. Нижний Новгород, Россия, в Латвийском институте физики, город Саласпилс, в Институте физики им. академика Ж.Жеенбаева НАН Кыргызской Республики, в Физико - техническом институте и в Институте ядерной физики АНРУз.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного или научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках программы научных исследований Научно-исследовательского института физики полупроводников и микроэлектроники при Национальном университете Узбекистана по темам: «Исследование процессов и механизмов голографической записи хранения информации в полупроводниковых гетероструктурах, фоторефрактивных, фотохромных и фотопolyмерных материалах», и по гранту ОТ-А_{тех}-66-2018 (2018-2020гг.) «Разработка и изготовление макета широгорафа и технологии бесконтактной диагностики дефектов в различных материалах методом сдвиговой интерферометрии».

Целью исследования является комплексное исследование оптических и голографических свойств халькогенидных полупроводниковых пленок As_xSe_{1-x} , As_xS_{1-x} , а также изучение воздействия различных доз гамма-излучения на свойства ХСП.

Задачи исследования:

создание экспериментальных установок и стендов для исследования голографических свойств, и параметров халькогенидных стеклообразных полупроводниковых пленок различной толщины;

определение зависимости оптических и голографических параметров пленок типа As_xSe_{1-x} , As_xS_{1-x} от термической обработки исходных материалов;

изучение оптических свойств тонких пленок стеклообразных полупроводников типа As_xSe_{1-x} , As_xS_{1-x} при различных стехиометрических соотношениях;

изучение спектральных зависимостей оптического пропускания пленок типа As_xSe_{1-x} , As_xS_{1-x} , до и после облучения их He-Ne лазером;

изучение влияния γ -облучения на оптические и голографические свойства пленок халькогенидных стеклообразных полупроводников;

изучение длительности хранения записанной информации в халькогенидных стеклообразных полупроводниках As_xSe_{1-x} , As_xS_{1-x} .

Объектом исследования являются халькогенидные стеклообразные полупроводниковые пленки As_xSe_{1-x} , As_xS_{1-x} с различной толщиной и концентрацией, термообработанные при различных значениях температуры.

Предметом исследования являются голографическая запись и хранение оптической информации на халькогенидных стеклообразных полупроводниковых пленках As_xSe_{1-x} , As_xS_{1-x} , влияние различных доз γ -излучения на их голографические и оптические свойства.

Методы исследований. Для исследования радиационных воздействий был применен метод гамма-облучения, спектральные зависимости оптического пропускания пленок типа As_xSe_{1-x} , As_xS_{1-x} определены методами Фурье-поглощения (ИК), дифракционная эффективность ХСП пленок измерялась с помощью интерферометрического метода.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана оптическая установка для исследования голографических свойств материалов ХСП типа As_xSe_{1-x} , As_xS_{1-x} в виде тонких пленок, нанесенных методом термо-испарения в вакууме (10^{-5} торр) на неподогретых подложках;

установлено, что дифракционная эффективность пленок As_xSe_{1-x} и As_xS_{1-x} имеет максимальное значение при $T \approx 490^\circ\text{C}$ и структурно-чувствительные параметры всех образцов зависят от температуры термообработки исходного материала;

в результате исследования спектральной зависимости оптического пропускания пленок в области предела фундаментального поглощения до и после облучения лазером He-Ne до максимального потемнения установлено, что после облучения оно смещается в сторону длинноволновый диапазон;

установлено, что в халькогенидных стеклообразных полупроводниковых материалах типа As_xSe_{1-x} и As_xS_{1-x} , дифракционная эффективность голограмм имеют максимальное значение ($\eta=12\%$) для пленок с содержанием мышьяка 65 ат.%;

впервые выявлено, что оптические и голографические характеристики ХСП пленок As_xSe_{1-x} и As_xS_{1-x} при воздействии γ -излучения в интервале доз $10^3 \div 10^9$ (Рентген) являются радиационно-устойчивыми;

экспериментально установлено, что срок хранения голографических данных в халькогенидных стеклообразных полупроводниковых пленках As_xSe_{1-x} и As_xS_{1-x} составляет 15 лет и более.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработанные методы и стенды могут рекомендоваться для исследования голографических характеристик халькогенидных пленок

любого состава, а также полупроводниковых, фотохромных и других материалов;

полученные экспериментальные результаты устойчивости голографических характеристик халькогенидных пленок As_xSe_{1-x} , As_xS_{1-x} к воздействию γ -облучения, ($10^3 \div 10^9$ Р) могут быть рекомендованы для разработки оптических и голографических архивных запоминающих устройств, работающих в радиационных условиях;

результаты исследований по голографической записи информации на пленках ХСП могут быть использованы для записи цифровых и аналоговых сигналов в системах оптической обработки и для реверсивного хранения информации в оптических запоминающих устройствах.

Достоверность результатов исследования, полученных автором диссертации, обеспечивается комплексностью подхода, включающей использование достаточно совершенного экспериментального оборудования и интерпретацию опытных данных на базе современных теоретических моделей. Надежность спектроскопической информации определяется высоким оптическим качеством пленок ХСП, хорошими спектральными приборами типа «Shimadzu UV 3600», промышленными голографическими установками УИГ - 2М и СИН, а также широким использованием разработанных собственных установок для измерения дифракционной эффективности голограмм и промышленных лазерных установок ЛГ-215, ЛГ-38, ЛГ-36, ЛГ-44.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследований заключается в получении новых знаний в области обработки и хранения информации, определении и развитии способов увеличения плотности записи информации голографическими методами в различных средах для систем оптической обработки и хранения информации.

Практическая значимость результатов исследования заключается в расширении круга материалов, которые могут быть использованы для реверсивной записи информации, востребованных в век информационных технологий и цифровизации.

Внедрение результатов исследования.

На основании изучения структурных, электрофизических и оптических свойств полупроводниковых тонких слоев халькогенидов As_xSe_{1-x} и As_xS_{1-x} :

научные результаты, полученные в области записи, стирания и хранения информации на халькогенидных стеклянных полупроводниках использованы в лаборатории «Космические и информационные технологии и цифровая Земля» Института физики им. Жеенбаева НАН Кыргызской Республики для решения научных задач и проведения научно-исследовательских работ по проведению исследований, направленных на создание элементов памяти в голографических запоминающих устройствах, по гранту: «Развитие новых теоретических подходов, методов и алгоритмов оптики и нано технологий в задачах дистанционного зондирования, хранения и решения технологических задач для народного хозяйства Кыргызской Республики» (Справка от

Института физики имени академика Жеенбаева Национальной Академии Наук Кыргызской Республики № 10/06-01/83 от 12 декабря 2022 г.). Использование научных результатов позволило создать элементы памяти в голографических запоминающих устройствах.

Результаты диссертации были использованы при выполнении научно-технических задач проекта «Получение и комплексное исследование тонкопленочных солнечных элементов на основе новых халькогенидных материалов», осуществляемого в 2021-2022 гг. в ФТИ АН РУз, в том числе методом выделения из стопок химических молекул Sb_2Se_3 , были выращены тонкие пленки и исследованы их структурные, оптические и электрофизические свойства (справка № 2/1255-275 АН РУз от 7 февраля 2023 г.). Использование научных результатов позволило определить оптимальные технологические режимы выращивания высококачественных тонких слоев Sb_2Se_3 различного состава на поверхности натрий- известкового стекла (SLG) методом химического молекулярно пучкового осаждения.

Апробация результатов исследования. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 9 международных и 13 республиканских конференциях.

Публикации результатов исследований. По материалам диссертации опубликовано 30 научных работ, из них 7 статьи в научных журналах, рекомендованных ВАК Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы. Объем диссертации составляет 111 страниц, в том числе 23 рисунка и 11 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении приведены анализы результатов исследований по теме диссертации, полученные различными исследователями, обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, определена связь исследований с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики, раскрыта степень изученности проблемы, сформулированы цели и задачи, приведены объекты, предметы и методы исследования, изложена научная новизна и практическая значимость исследования, приведены краткие сведения о внедрении результатов, апробации и публикациях работы, а также об объеме и структуре диссертации.

В первой главе «**Основные сведения о свойствах халькогенидных стеклообразных полупроводников**» приводится анализ современного состояния и последние научные достижения в разработке эффективных халькогенидных стеклообразных полупроводников. Отмечены основные направления, по которым проводятся исследования по улучшению свойств ХСП в свете современных требований к голографическим средам. Приведены данные о физических и химических свойствах ХСП, способы получения пленок ХСП. Даны понятия о дифракционной эффективности, разрешающей

способности, реверсивности ХСП-систем, сведения об опорной и предметной волнах при записи голограмм. Также приведена подробная информация о результатах исследований влияния предварительной обработки на исходные материалы; γ -излучения на оптические и голографические характеристики систем As-Se и As-S, полученных зарубежными и узбекскими учеными. На основе этих анализов и выводов были поставлены задачи диссертационного исследования.

Во второй главе **«Методы получения объёмных образцов и тонких плёнок стеклообразных полупроводников»** описаны методы синтеза ХСП. Изложены температурные и временные режимы синтеза и охлаждения (закалки), аморфных сплавов, определен состав исследуемых систем. Определены критерии стеклования исследуемых образцов системы As-Se и As-S, термическое испарение из открытого танталового испарителя применялось в случаях, когда необходимо было получить очень тонкие ($300\div 600 \text{ \AA}$) плёнки. В тех случаях, когда толщина слоя должна была составлять микрон и более, использовался испаритель квазизамкнутого типа. При этом его температура в процессе испарения материалов для системы As-Se составляла 400°C , а для системы As-S – 290°C . Для восстановления нарушенных связей, напряжений в стекле и других изменений проводились дополнительные отжиги при температурах, лежащих ниже температуры кристаллизации стекол данного состава.

В третьей главе **«Экспериментальные исследования оптических и голографических свойств халькогенидных стеклообразных полупроводников»** приведены результаты экспериментальных исследований влияния радиационного воздействия на голографические характеристики ХСП плёнок.

Халькогенные стеклообразные полупроводники, содержащие один или несколько халькогенов (S, Se, Te) являются перспективными регистрирующими материалами при передаче и обработке информации голографическими методами.

Развитие радиационных технологий и широкое применение сложных твердотельных материалов в изделиях микроэлектроники, в системах хранения и обработки информации, в различных объектах космической и ядерной технологий, выдвигает задачу изучения природы процессов, протекающих под действием ионизирующих излучений в этих материалах. В свою очередь, требуется определение радиационной стойкости этих материалов, поиск методов ее повышения и возможности использования облучения для модификации их свойств. С этой целью исследовались влияние радиационного воздействия на голографические характеристики ХСП плёнок для систем записи, хранения и обработки информации. Для определения дифракционной эффективности голограмм, записанных на образцах систем As-Se была использована оптическая установка, схема которой представлена на рис1.

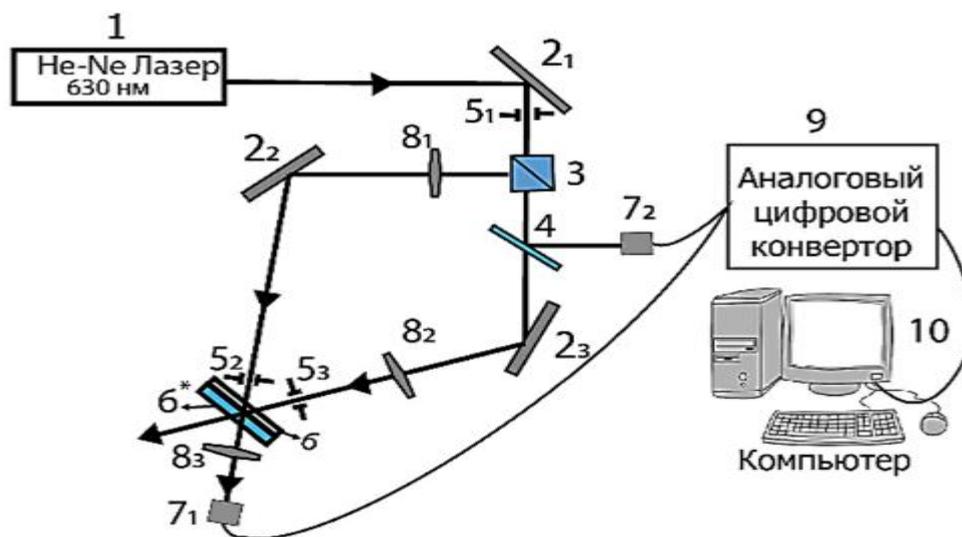


Рис.1 Схема для экспериментального исследования голографических характеристик ХСП пленок

Нами разработана методика исследований оптических, голографических и радиационных свойств материалов системы As-Se в виде тонких пленок, нанесенных методом термо-испарения в вакууме (10^{-5} тор) на не подогреваемые подложки. Температура для пленок As_2Se_3 была несколько ниже наименьшей температуры предварительной обработки объемного As_2Se_3 . Исследованные пленки As_2Se_3 и As_xSe_{1-x} имели толщину 0,2-4,5 мкм. Концентрация атомов As и Se образцах, предназначенных для радиационных исследований, варьировалась от 28 до 70 атомных процентов и от 30 до 72 атомных процентов соответственно.

Выбор наиболее подходящего материала для записи информации лучом лазера того или иного типа определялся спектральной характеристикой пропускания полученной пленки. Для этого требовалось выполнение ряда условий: во-первых, условие равномерного поглощения записывающего излучения, для обеспечения эффективной записи голограмм во всем объеме, во-вторых условие малого поглощения, для получения наибольшей дифракционной эффективности. Выполнение этих условий в нашем случае реализуется выбором рабочей точки в области края собственного поглощения. Освещение образцов светом гелий-неонового лазера в большинстве случаев проводилось в области края поглощения, при больших значениях коэффициента поглощения.

Запись информации, представляющая собой запись плоских дифракционных решеток, осуществлялась по схеме на рис.1, где 1 – источник лазера ЛГ-38; 2₁, 2₂, 2₃ – плоские зеркала; 3-кубическая призма; 4–полупрозрачная пластина; 5₁, 5₂ – диафрагмы-маски; 6 – образец, 6* подложка; 7₁, 7₂ – регистрирующие приборы; 8₁, 8₂, 8₃ –затворы; 9-аналоговой цифровой конвертор; 10- компьютер. Вся схема помещается на рабочей плите заводской экспериментальной установки УИГ-2М, предназначенной для проведения широкого круга голографических исследований с помощью лазера непрерывного действия.

Голографическая запись производилась по стандартной двухлучевой схеме. Угол сходимости $\cong 30^\circ$. Для устранения вибраций оптической схемы все элементы её крепко закрепляются на поверхности рабочей плиты, которая подвешена по принципу маятника. Для записи и считывания информации использован гелий-неоновый лазер He-Ne ЛГ-38 ($\lambda=632,8$ нм).

Установка работает в 3-х режимах:

1. Режим записи голограммы; затворы δ_1 и δ_2 открыты, затвор δ_3 -закрыт. γ_2 регистрирует интенсивность записывающих пучков.

2. Режим измерения дифракционной эффективности (η); Затвор δ_1 закрыт, затворы δ_2 и δ_3 открыты. γ_2 регистрирует интенсивность опорного луча, γ_1 - интенсивность дифрагированного пучка.

3. Режим измерения коэффициента прозрачности образца (Т); Затворы δ_1 и δ_3 открыты, затвор δ_2 - закрыт. γ_1 регистрирует интенсивность падающего, γ_2 - интенсивность проходящего пучка. Точность определения интенсивности дифрагированного пучка составляла 1,6%. Размер голограммы определялся маской и равнялся $\sim 1,5$ мм.

Приведем детальное изложение работы установки (рис.1): луч лазера (1) разделяется на кубической призме (3) на два пучка, которые затем сводятся на поверхности образца (6). Полученная таким путем голограмма представляет собой дифракционную решетку, частота штрихов которой зависит от параметров установки и может регулироваться. Для нашего случая $\nu = 1000$ штр/мм. Для получения максимального контраста полос введена маска (5_1), с общим пропусканием 83 %, выравнивающие пучки по интенсивности.

Маски (5_2 , 5_3) служат для уменьшения ошибок, связанных с неоднородностью лазерного пучка и неточностью юстировки. Фотодатчики и, связанные с ними, регистрирующие приборы (γ_1, γ_2) служат для измерения дифракционной эффективности η и коэффициента прозрачности образца Т. Регистрирующий прибор отградуирован с учетом диафрагирующего влияния масок (5_1 , 5_2 , 5_3). Дифракционная эффективность оценивалась по отношению мощности излучения опорного луча, дифрагированного в 1-й порядок при восстановлении голограмм, к мощности излучения самого опорного луча. Коэффициент пропускания исходных образцов и подложек измерялись до записи голограмм с использованием зондирующего пучка двадцатикратно – ослабленного светофильтром.

Материалы системы As-Se в виде тонких пленок, нанесенные методом вакуумного напыления на стеклянные подложки различных марок, подвергались γ -облучению при различных дозах ($10^3 \div 10^9$ Р). Для облучения образцы помещались в алюминиевую капсулу, после чего вводились в активную зону соответствующего канала облучения γ -установки Co^{60} . Для изучения радиационной устойчивости образцы подвергались облучению лучами радиоактивного кобальта различных доз ($10^8 \div 10^9$). Известно, что радиоактивный Co^{60} испускает γ -кванты с энергиями $E_\gamma=1,17$ и $1,13$ Мэв. Средняя энергия этих γ -квантов равна $1,25$ Мэв. Для облучения образцы помещались в алюминиевую капсулу, после чего вводились в активную зону

соответствующего канала облучения. Каналы облучения выбирались в зависимости от требуемых дозировок (в нашем случае 83 р/сек и 1100 р/сек). Диапазон доз облучения выбран на основании предварительного эксперимента, показавшего влияние γ -лучей на образцы на подложках из различного марко стекла. Максимальная доза составляла 10^9 Р, которая, как известно, приводит к окрашиванию исследуемых подложек.

После облучения, образцы исследовались на сохраняемость голограмм и запись новых. Для этого в течение одной недели после облучения, ежедневно проводились измерения дифракционной эффективности и коэффициента пропускания образцов, поскольку известно, что γ -облучение может привести к ряду нестабильных центров окрашивания, которые могут высвечивать под влиянием температуры, рассеянного света и т.д. Результаты экспериментов приведены на рис.2. и рис.3. Показано влияние γ -облучения на: дифракционную эффективность записанных голограмм - 4, пропускания – подложки -1, пленки -3 и – подложки с пленкой -2.

Значения отношения дифракционной эффективности к пропусканию имели разброс, обусловленный погрешностью эксперимента, но с заметной корреляцией этих данных. Видно также, что изменения голографических характеристик образцов зависят от степени влияния γ -облучения на материал подложек, которое до доз 10^9 Р может изменяться в 4-8 раз, а дифракционная эффективность записанных голограмм пленок ХСП под воздействием γ -облучения, в диапазоне $10^3 \div 10^9$ Р практически не изменяется. Это свидетельствует о том, что γ -облучение не приводит к какому-либо изменению в материале ХСП, которое повлияло бы на свойства записанных голограмм.

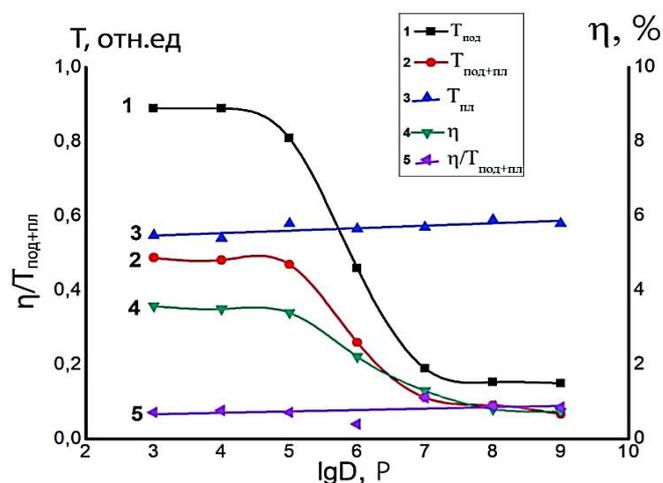


Рис.2 Дозовые зависимости пропускания – Т и дифракционной эффективности – η для образцов пленок As₇₀ Se₃₀. 1 – Т_{подложек}; 2 - Т_{подложка+пленка}; 3- Т_{пленка}; 4 - η дифракционные эффективности; 5 – отношение η к Т_{подложка+пленка} пропусканию

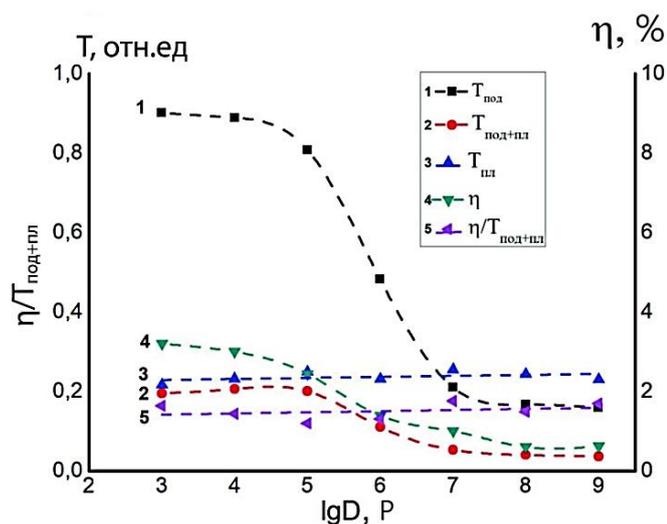


Рис.3 Дозовые зависимости пропускания – T и дифракционной эффективности – η для образцов пленок $As_{65}Se_{35}$. 1 – $T_{\text{подложка}}$; 2 - $T_{\text{подложка+пленка}}$; 3- $T_{\text{пленка}}$; 4 - η , дифракционные эффективности; 5 – отношение η к $T_{\text{подложка+пленка}}$ пропусканию

Для исследований реверсивности и стирания записанных голограмм была использована термостатированная печь с прозрачными для света стеклами (рис.4). Печь представляет собой два коаксиальных цилиндра разного диаметра, между которыми наматывалась спираль из нихрома.

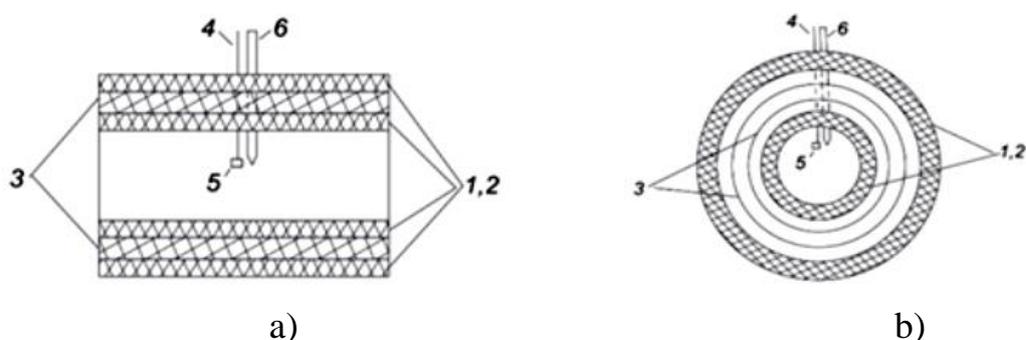
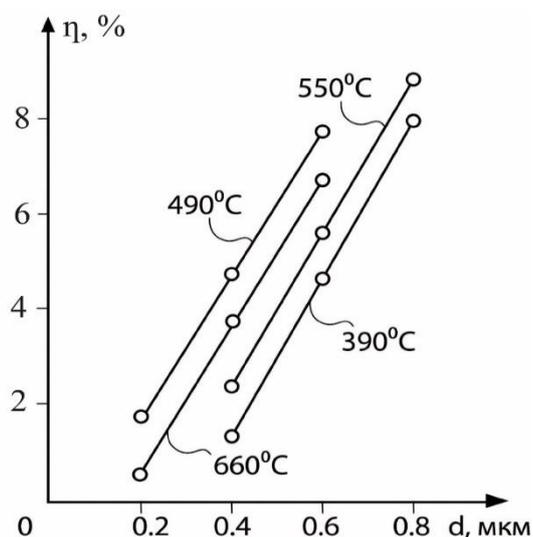


Рис.4 Устройство термостатированной печи. а) продольный разрез, б) поперечный разрез, 1 и 2 – коаксиальные цилиндры; 3-нихромная спираль; 5,4-образец с подвесом; 6-термометр

В результате этого внутри печи осуществлялся равномерный нагрев образца (подвешенного на нити). Температура воздуха в непосредственной близости образца регистрировалась термометром. Питание печи осуществлялось автотрансформатором. Ток, подаваемый на печку, регулировался амперметром.



Голографические свойства пленок (ДЭ) зависят от различной тепловой предыстории (температуры обработки исходного материала). Для создания различной тепловой предыстории исходные халькогениды мышьяка одной партии, обрабатывались в вакуумированных (закрытых) кварцевых ампулах при различных температурах ($T_{обр}=390, 490, 550$ и 660°C) в течение 1 часа с последующей закалкой на воздухе. Видно, что ДЭ линейно зависит от толщины пленки при каждой термической обработке (рис. 5).

Спектральную зависимость оптического пропускания свеженапыленных, облученных и отожженных пленок в области края фундаментального поглощения (0,4-1,0 мкм) изучали с помощью спектрофотометра Shimadzu UV3600.

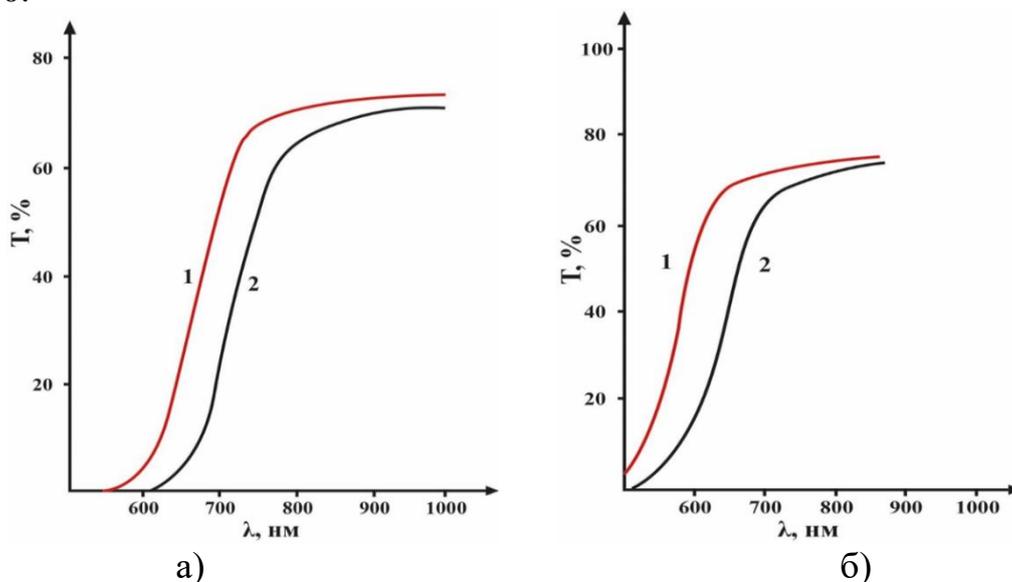


Рис.6 Изменение края оптического пропускания образца $\text{As}_{70}\text{Se}_{30}$ $T=490^{\circ}\text{C}$. 1-до облучения; 2-после облучения

На рис.6. приведены зависимости сдвига края фундаментального поглощения. При облучении у исследуемых пленок уменьшилась

прозрачность и сдвиг полосы поглощения происходит в сторону больших длин волн.

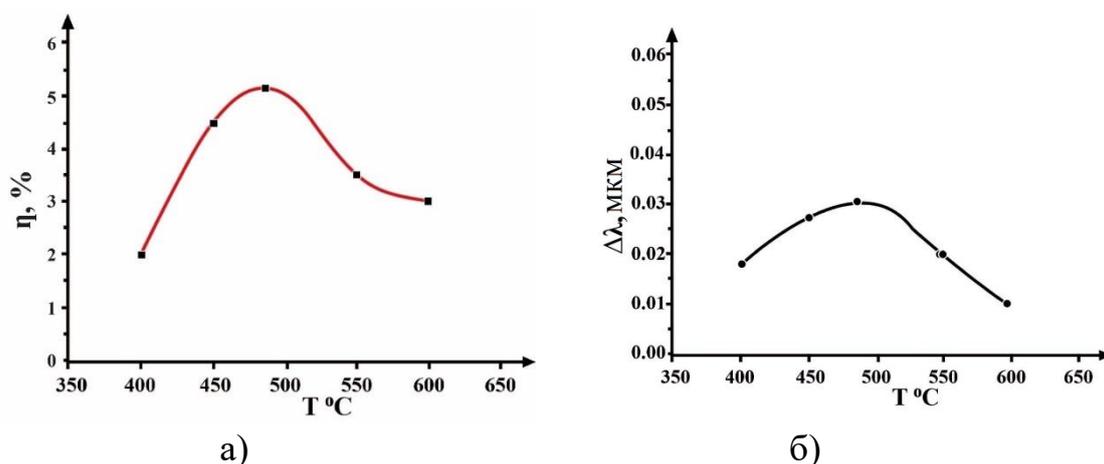


Рис.7 Изменение дифракционной эффективности (а) и сдвига края оптического поглощения (б) пленок $As_{40}Se_{60}$ полученных с различной предысторией

Определённые относительные значения дифракционной эффективности η и сдвига края оптического пропускания $\Delta\lambda$ в записи приведены на рис.7. Разброс их значений обусловлен, некоторой неоднородностью толщин пленок. Установлено, что зависимости значений дифракционной эффективности голограмм и сдвига края оптического поглощения пленок As-Se от температуры обработки исходного материала имеют экстремальный характер с максимальным значением при $T_{обр} \approx 490^\circ C$.

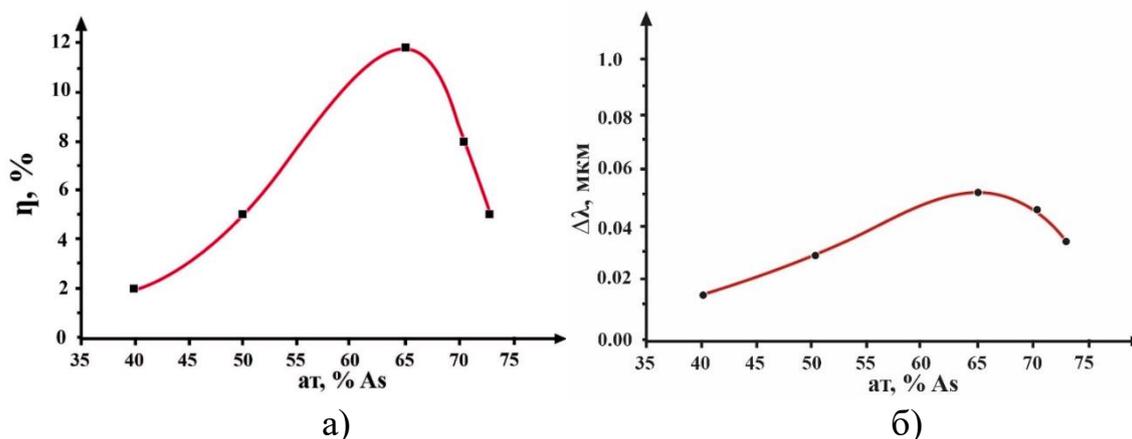


Рис.8 Композиционные зависимости дифракционной эффективности (а) и сдвига края оптического поглощения (б) в As-Se пленках

Композиционные зависимости дифракционной эффективности и сдвига края оптического поглощения для пленок системы As-Se (рис.8) имеют максимум для пленок с содержанием мышьяка 65 ат%. Уменьшение дифракционной эффективности при увеличении содержания As более 65 ат%, очевидно, объясняется неустойчивостью пленок, состав которых выходит за

пределы области стеклования. Возрастание значения дифракционной эффективности при изменении концентрации мышьяка от 40 до 65 ат%, вероятно, обусловлено наличием избыточных As или Se, служащих дополнительным источником локальных дефектов.

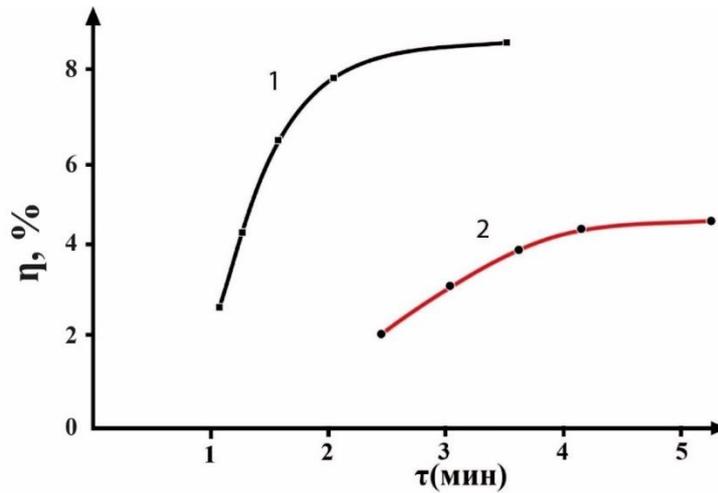


Рис.9 Зависимость дифракционной эффективности от времени экспонирования образец $As_{65}Se_{35}$. 1. До стирания; 2. После стирания

После стирания голограмм наблюдалось не только падение значений относительного пропускания и дифракционной эффективности, что хорошо согласуется с литературными данными, но и как правило увеличение времени экспонирования для достижения максимальной дифракционной эффективности. После термообработки чувствительность падает. При записи голограмм после стирания у образцов максимальное значение дифракционной эффективности падает в большей степени, чем относительное пропускание.

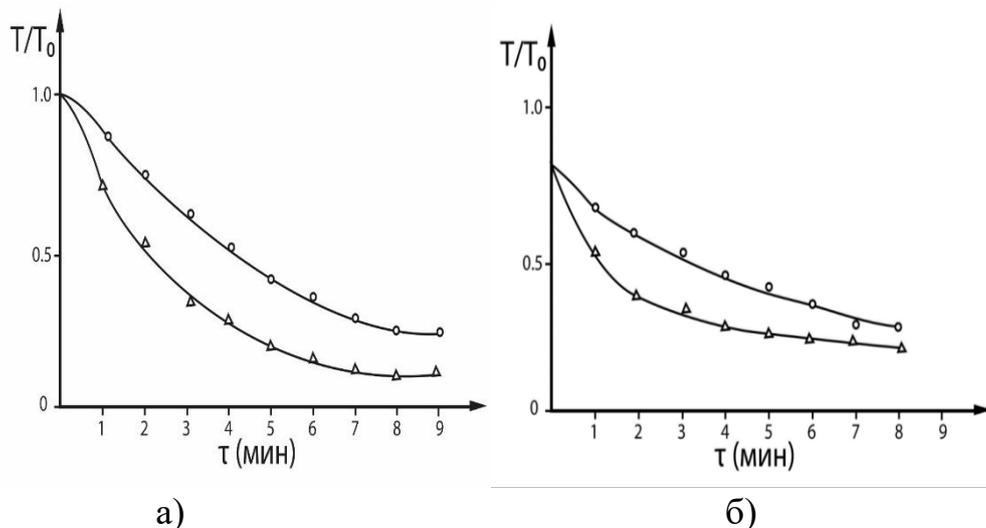


Рис. 10 Изменение зависимости относительного пропускания от времени экспонирования после стирания записи образца (а) $As_{65}Se_{35}$, (б) $As_{70}Se_{30}$. 0-до стирания; Δ- после стирания

Видимо фазовая составляющая записываемых голограмм подвергается наибольшему изменению при отжиге. Степень изменения дифракционной эффективности зависит от метода приготовления и состава пленок.

На рис. 10 приведены изменения пропускания под воздействием немодулированного лазерного луча, во времени. Из результатов исследований следует, что относительное пропускание уменьшается с ростом концентрации мышьяка.

Исследовано влияние ионизирующего излучения на оптические и голографические характеристики пленок систем As-Se. Установлено, что в интервале доз облучения ($10^3 \div 10^9$ рентген) γ -облучение практически не приводит к какому-либо изменению в материале ХСП, которые влияют на свойства записанных голограмм, т.е. материал ХСП пленок в этом диапазоне радиационно устойчив.

Показано возможность использования таких халькогенидных стеклообразных полупроводников (пленок As-Se) в качестве перспективных материалов в системах оптической обработки и хранения информации.

О хранении записанных голограмм можно сказать следующее:

Первая (пробная) запись была сделана 6 лет назад. Затем мы просмотрели голограммы, записанные 15 лет назад. Установили, что эти записи сохранились, это позволило нам сделать вывод о времени хранения информации как минимум 15 лет. Дальнейшие исследования в этом направлении покажут каково максимальное время хранения информации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработаны методы записи и стирания голограмм на халькогенидных пленках, исследована реверсивность записи голограмм на ХСП системах – As-Se и As-S.

2. Выявлено, что в спектрах до и после облучения He-Ne-лазером пленок As-Se и As-S происходит сдвиг границы оптического поглощения в сторону длинных волн.

3. Показано, что композиционные зависимости дифракционной эффективности голограмм и сдвига края оптического поглощения λ систем As_xS_{1-x} и As_xS_{1-x} имеют максимум для пленок с содержанием мышьяка 65 ат%.

4. Определена зависимость оптических и голографических параметров тонких пленок As-Se и As-S от предыстории исходного материала. Установлено, что структурно-чувствительные параметры образцов чрезвычайно сильно зависят от температуры термообработки исходного материала, с пиком в области $T \approx 490^\circ\text{C}$. Показано более чем двухкратное изменение дифракционной эффективности при изменении тепловой предыстории исходного материала.

5. Установлено влияние γ -облучения на оптические и голографические свойства пленок As-Se и As-S на стеклянных подложках. Выявлено, что

оптические свойства и дифракционная эффективность голограмм практически не изменяются в диапазоне доз $10^3 \div 10^9$ Р.

6. По результатам исследований дифракционной эффективности, реверсивности, сохраняемости голографической записи в пленках As-S, As-Se установлена перспективность использования этих материалов в оптических схемах ГЗУ для записи оптической обработки и хранения информации. Установлен срок хранения записанных голограмм 15 лет и более при определенных условиях.

**SCIENTIFIC COUNCIL No. DSc. 03/30.12.2019.FM/T.01.12 FOR THE
AWARD OF ACADEMIC DEGREES AT THE SCIENTIFIC RESEARCH
INSTITUTE OF SEMICONDUCTOR PHYSICS AND
MICROELECTRONICS AT THE NATIONAL UNIVERSITY OF
UZBEKISTAN**

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

BEKCHANOVA MIRA RUZIMOVNA

**OPTICAL AND HOLOGRAPHIC PROPERTIES OF CHALCOGENIDE
SEMICONDUCTOR FILMS**

01.04.10 - Physics of semiconductors

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

Tashkent – 2023

INTRODUCTION (abstract of the PhD dissertation)

The aim of the research work a comprehensive study of the optical and holographic properties of chalcogenide semiconductor films As_xSe_{1-x} , As_xS_{1-x} , as well as a study of the effect of various doses of gamma radiation on the properties of CGS.

The object of investigation are chalcogenide glassy semiconductor films As_xSe_{1-x} , As_xS_{1-x} at different thicknesses; percentages; heat treatments (prehistory).

The scientific novelty of the research consists of the following:

an optical setup was developed for studying the holographic properties of CGS materials of the As_xSe_{1-x} , As_xS_{1-x} types in the form of thin films deposited by the method of thermal evaporation in a vacuum (10^{-5} torr) on unheated substrates;

found that the diffraction efficiency of As_xSe_{1-x} films and As_xS_{1-x} has a maximum value at $T \approx 490^\circ C$ and the structure-sensitive parameters of all samples depend on the heat treatment temperature of the starting material;

as a result of studying the spectral dependence of the optical transmission of films in the region of the fundamental absorption limit before and after irradiation with a He-Ne laser to maximum darkening, it was found that after irradiation it shifts towards the long-wavelength range;

it was found that in chalcogenide glassy semiconductor materials of the type As_xSe_{1-x} and As_xS_{1-x} , the diffraction efficiency of holograms has a maximum value ($\eta = 12\%$) for films with an arsenic content of 65 at.%;

it was revealed for the first time that the optical and holographic characteristics of As_xSe_{1-x} and As_xS_{1-x} CGS films under the influence of γ -radiation in the dose range $10^3 \div 10^9$ (X-ray) are radiation-resistant;

It has been experimentally established that the storage life of holographic data in chalcogenide glassy semiconductor films As_xSe_{1-x} and As_xS_{1-x} is 15 years or more.

Implementation of the research results.

Based on the study of the structural, electrical and optical properties of semiconductor thin layers of As_xSe_{1-x} and As_xS_{1-x} chalcogenides:

scientific results obtained in the field of recording, erasing and storing information on chalcogenide glass semiconductors are used in the laboratory "Space and Information Technologies and Digital Earth" of the Institute of Physics. Zheenbaeva National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic to solve scientific problems and conduct research work on research aimed at creating memory elements in holographic storage devices, under the grant: "Development of new theoretical approaches, methods and algorithms of optics and nanotechnologies in remote sensing, storage and solution of technological problems for the national economy of the Kyrgyz Republic" (Certificate from the Institute of Physics named after Academician Zheenbaev of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic No. 10/06-01/83 dated December 12, 2022). The use of scientific results made it possible to create memory elements in holographic storage devices.

According to the results of the dissertation, when performing the scientific and technical tasks of the project "Production and comprehensive study of thin-film solar cells based on new chalcogenide materials", carried out in 2021-2022. At the

Physicotechnical Institute of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, including by the method of separating Sb_2Se_3 chemical molecules from stacks, thin films were grown and their structural, optical and electrophysical properties were studied (reference No. 2/1255-275 of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan dated February 7, 2023). The use of scientific results made it possible to determine the optimal technological conditions for growing high-quality thin Sb_2Se_3 layers of various compositions on the surface of soda-lime glass (SLG) by chemical molecular beam deposition.

The structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, three chapters, conclusion, list of references and applications. The text of the dissertation consists of 111 pages, including 23 figures and 11 tables.

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

I bo'lim (I часть; part I)

1. З.Т. Азаматов, Т.З. Азаматов, М.Р. Бекчанова. Влияния γ -облучения на голографические характеристики халькогенидных стеклообразных полупроводниковых (ХСП) пленок//Физика полупроводников и микроэлектроника, 2019, том 1, вып.2, стр. 65-69. (01.00.00; №16)
2. З.Т. Азаматов, Ш.Б. Утамурадова, Н.Н. Базарбоев, Т.З. Азаматов, М.Р. Бекчанова, А.Б. Бахромов. Голографическая свойства халькогенидных стеклообразных полупроводниковых пленок //Прикладная физика, 2022, №2, стр. 39-45. (01.00.00; №41, №3 Scopus)
3. З.Т. Азаматов, Н.Н. Базарбаев, М.Р. Бекчанова. Исследование оптических и голографических свойств пленок систем As_xSe_{1-x} // ДАН РУз, 2022, №6, стр. 10-15. (01.00.00; №7)
4. Т.З. Азаматов, М.Р. Бекчанова, А.Б. Бахромов. Халькогенидные полупроводниковое пленки для записи голографической информации // «Тенденции развития современной физики полупроводников: проблемы, достижения и перспективы» международная онлайн конференция ФП и МЭ НИИ, 28 май 2020, стр.252-259. (ОАК №278/8, 13.05.2020 г.)
5. Z.T. Azamatov, N.N. Bazarboyev, M.R. Bekchanova. Investigation of the holographic characteristics of chalcogenide glassy As-Se semiconductor films // European Science Review. 2022, №9-10, pp.35-38. (№5 GIF: 1.44)
6. З.Т. Азаматов, И.А. Кулагин, К.П. Абдурахманов, Н.А. Акбарова, М.Р. Бекчанова. Лазерная интроскопия кремниевых пластин // Физика полупроводников и микроэлектроника, 2019, том 1, вып.1, стр.54-57. (01.00.00; №16)
7. Z.T. Azamatov, N.N. Bazarbaev, M.P. Bekchanova, M.A. Yoldoshev. Digital holographic interferometry in physical measurement // Semiconductor Physics and microelectronics. 2019, Vol. 1, Issue 5, pp.151-160. (01.00.00; №16)

II bo'lim (II часть; part II)

8. Z.T. Azamatov, N.N. Bazarboyev, M.R. Bekchanova, Z.F. Turdiyev, A.B. Bahromov. Digital holographic interferometry for the study of various materials and objects of microelectronics // ACADEMICIA An International Multidisciplinary Research Journal. July 2020, Vol.10, Issue 7, India, -pp.399-404.
9. Z.T. Azamatov, N.A. Akbarova, M.R. Bekchanova, M.A. Yoldoshev, S.R. Reymbaeva. Innovative methods of digital holographic interferometry for non-destructive testing of microelectronics products // ACADEMICIA An International Multidisciplinary Research Journal. Sept 2020, Vol.10, Issue 9, India. -pp.41-46.

10. Z.T. Azamatov, M.R. Bekchanova, A.B. Baxromov. Holographic properties of chalcogenide glassy semiconductor (CGS) films // International Conference Process management and Scientific Developments Novotel Birmingham Centre, Birmingham, United Kingdom, 14 October 2020, -pp.141-148.
11. З.Т. Азаматов, Н.А. Акбарова, Н.Н. Базарбаев, М.Р. Бекчанова. Исследование цифровой голографической интерферометрии // Республиканская научно-практическая конференция (РНПК-ХII) 18 май 2019, стр.222-225.
12. Т.З. Азаматов, М.А. Йулдошев, М.Р. Бекчанова, З.Ф. Турдиев, А.Б.Бахромов. Цифровая голографическая интерферометрия для неразрушающего контроля различных материалов и объектов микроэлектроники // «Global science and innovations 2020: central Asia» № 3(3). Февраль-март 2020 серия технические науки II том, стр.158-162.
13. З.Т. Азаматов, М.Р. Бекчанова, М.А. Йулдошев, А.Б. Бахромов. Голографические свойства халькогенидных стеклообразных полупроводниковых (ХСП) пленок // «Интеграция науки, образования и производства» Республиканская научная конференция, Карши-2020, стр.71-74.
14. З.Т. Азаматов, Н.Н. Базарбоев, Т.З. Азаматов, М.Р. Бекчанова, А.Б. Бахромов. Исследование голографические свойства халькогенидных стеклообразных полупроводниковых (ХСП) пленок // Академия Наук Республики Узбекистан Физико-технический институт НПО «Физика-Солнце». Фундаментальные и прикладные вопросы физики. Труды международной конференции 2020г. 22-23 сентябрь, Ташкент, стр.156-158.
15. З.Т. Азаматов, Т.З. Азаматов, М.Р. Бекчанова. Методы получения тонких пленок халькогенидных стеклообразных полупроводников // V Международной конференции по Оптическим и фотоэлектрическим явлениям в полупроводниковых микро-и наноструктурах. 2020 г. 13-14 ноябрь, стр. 294-296.
16. М.Р. Бекчанова, А.Б.Бахрамов. Фотостимулированное изменение структуры и свойств конденсатов стеклообразных полупроводников // Международная научная конференция «Наука и инновации». 2020 г. 26 ноябрь, Ташкент, стр. 181-183.
17. К.М. Мукимов, З.Т. Азаматов, М.Р. Бекчанова, А.Б. Бахромов. Оптические и голографические свойства халькогенидных стеклообразных пленок // «Роль талантливой молодежи в развитии физики» РНПК-ХIV-2021, Республиканская научная-практическая конференция, Тошкент– 2021, стр.291-294.
18. З.Т. Азаматов, Н.Н. Базарбаев, М.Р. Бекчанова. ХСП пленки перспективная среда для систем оперативной обработки и хранения информации // Физика полупроводников, микро и наноэлектроника: перспективы интеграции науки, образования и промышленности» Республиканская научная конференция, 2021 г. 21-22 май, стр.11-14.

19. З.Т. Азаматов, М.Р. Бекчанова, Г.А. Вахобжонова. Некоторые голографические свойства хсп пленок для записи голограмм // «Фундаментально-инновационные исследования в развитии физики и их перспективы». Республиканская научно-практическая конференция, 2021, Ташкент, стр.4-6.
20. З.Т. Азаматов, М.Р. Бекчанова, Г.А. Вахобжонова. Механизм записи халькогенидных стеклообразных полупроводниках // «Физика полупроводников, фундаментальные и практические проблемы микро и наноэлектроники», I-международная конференция, 2021, Ташкент, стр 46-47.
21. З.Т. Азаматов, М.Р. Бекчанова, Г.А. Вахобжонова. Некоторые физико-химические и оптические свойства халькогенидных стеклообразных пленок // Республиканскую научную конференцию молодых ученых и студентов-физиков (РНКМУСФ-I), 2021г. 21-22апрель, стр.26-29.
22. З.Т. Азаматов, А.А. Жээнбеков, М.Р. Бекчанова, М.А. Йулдошев, Перспективы голографических методов хранения информации в компьютерных системах управления // Доклады РНТК «Современное состояние и перспективы применения цифровых технологий и искусственного интеллекта в управлении». 2021 г. 6-7 сентябрь, Ташкент, стр. 69-76.
23. З.Т. Азаматов, Г.А. Вахобжонова. Исследование реверсивности записи голограмм на халькогенидных стеклообразных пленках // Материалы Республиканской научно-практической конференции с участием зарубежных ученых по актуальным проблемам физики полупроводников и полимеров. 2022г. 1 февраль, Тошкент, стр.17-19.
24. З.Т. Азаматов, Ш.И. Аллаёрова. Халькогенидные полупроводниковые материалы для записи голографической информации // Республиканскую научную конференцию молодых ученых и студентов-физиков (РНКМУСФ-II), 2022г. 21 май, Ташкент, стр.113-115.
25. З.Т. Азаматов, Н.Н. Базарбаев, Ш.И. Аллаёрова. Халькогенидные стеклообразные полупроводниковые пленки и их голографические свойства // «Проблемы и перспективы развития фотоники» Республиканская научно-практическая конференция, 2022 г. 27-28 май, Ургенч, стр. 11-13.
26. З.Т. Азаматов, И.А. Кулагин, Н.А. Акбарова. Исследование тепловых деформаций // II Республиканская научно-практическая конференция по современным проблемам физики конденсированных состояний. 2019 г. 4 май, Бухара, стр.45-46.
27. З.Т. Азаматов, Н.А. Акбарова, М.Е. Гусев, В.Е. Гапонов, А.М. Исаев, М.Р. Бекчанова. Исследование резонансных колебания твердых тел стробоголографическим методом // Материалы международной конференции «Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниковых микро- и наноструктурах». 2018, Фергана, стр.315-318.

28. З.Т. Азаматов, И.А. Кулагин, Н.А. Акбарова, М.Р. Бекчанова. Исследование тепловых деформации узлов радиоаппаратуры методом цифровой голографической интерферометрии // Республиканская научная конференция «Современные проблемы физики полупроводников» 2018г. 26-27 октябрь, стр. 260-261.
29. З.Т. Азаматов, Н.Н. Базарбоев, М.Р. Бекчанова. Синтез и обработка объемных образцов, методы получения тонких пленок халькогенидных стеклообразных полупроводников // Международный форум «Физика – 2022» 2022г. 4–5 октябрь, Наманган, Узбекистан, стр.109-110.
30. З.Т. Азаматов, А.И. Попов, Н.Н. Базарбоев, М.Р. Бекчанова, Методы получения тонких пленок ХСП и их оптические свойства // III-международная научная конференция НПМФ-2022 «Наноструктурные полупроводниковые материалы в фотоэнергетике». 2022, стр.255-259.

Avtoreferat “Til va adabiyot ta’limi” jurnali taxririya-tadqiqotida taxrirdan o‘tkazildi va o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlarini mosligi tekshirildi (28.07.2023).

Bichim 60x841/16. Raqamli bosma usuli. Times garniturasida.

Shartli bosma tabog'i: 3. Adadi 60. Buyurtma № 47.

Guvohnoma reestr № 10-4434

Yarimo‘tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy-tadqiqot instituti
bosmaxonasida chop etilgan.

Bosmaxona manzili: 100057, Toshkent sh., Yangi Olmazor ko'chasi, 20-uy.

