

**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**

---

**FARG‘ONA DAVLAT UNIVERSITETI**

**YULDASHEV SHOHJAHON ABROROVICH**

**XALKOGENID BIRIKMALAR NEGIZIDA AVTONOM  
OPTOELEKTRON QURILMALAR YARATISH**

**01.04.10 - Yarimo‘tkazgichlar fizikasi**

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)  
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

**Toshkent-2024**

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)  
dissertatsiyasining avtoreferati mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации  
доктора философии (PhD) по техническим наукам**

**Contents of dissertation abstract  
of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences**

**Yuldashev Shohjahon Abrorovich**

Xalkogenid birikmalar negizida avtonom optoelektron qurilmalar yaratish ... 3

**Юлдашев Шохжахон Аброрович**

Создание автономных оптоэлектронных устройств на основе халькогенидных соединений ..... 21

**Yuldashev Shokhjakhon Abrorovich**

Creation of autonomous optoelectronic devices based on chalcogenide compounds ..... 39

**E'lon qilingan ishlar ro'yxati**

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**

---

**FARG‘ONA DAVLAT UNIVERSITETI**

**YULDASHEV SHOHJAHON ABROROVICH**

**XALKOGENID BIRIKMALAR NEGIZIDA AVTONOM  
OPTOELEKTRON QURILMALAR YARATISH**

**01.04.10 - Yarimo‘tkazgichlar fizikasi**

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)  
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

**Toshkent-2024**

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasida B2022.1.PhD/T2595 raqam bilan ro'yxatga olingan.**

Dissertatsiya ishi Farg'ona davlat uni bajarilgan.  
Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasida (ispm.uz) va «ZiyoNeb» Axborot-ta'lim portalida ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)) joylashtirilgan.

**Ilmiy rahbar:** **Onarkulov Karimberdi Egamberdiyevich**  
fizika-matematika fanlari doktori, professor

**Rasmiy opponentlar:** **Egamberdiyev Baxrom Egamberdiyevich**  
fizika-matematika fanlari doktori, professor

**Dauletmuratov Boribay Koptleuovich**  
texnika 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 2024-yil «19» 05 soat 14<sup>00</sup> 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](mailto:info@ispm.uz).)

Dissertatsiya bilan institutning Axborot-resurs markazida tanishish mumkin. (58 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](mailto:info@ispm.uz)).

Dissertatsiya avtoreferati 2024-yil «05» 05 kuni tarqatildi.  
(2024-yil «05» 05 dagi 58 raqamli reyestr bayonnomasi).



**Sh.B. Utamurodova**

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash  
rust, 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) dissertatsiyasining annotatsiyasi)

**Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati.** Dunyo miqyosida elektrostatik maydonlar fan, texnika va inson faoliyatining ko‘plab sohalarida qo‘llanilishiga alohida e‘tibor qaratilmoqda. Hozirgi kunda elektrostatik maydon olish uchun maxsus tashqi manba va yetarlicha katta energiya talab etiladi. Deyarli barcha mamlakatlarda an’anaviy elektr energiyasi manbalari elektrostatik maydon qurilmalarining uzluksiz, mustaqil ish rejimini ta’minlash imkoniyatiga ega emas. Qolaversa, elektr energiyasining mavjud amaldagi manbalari mikroelektronika talablariga to‘liq javob bera olmaydi, jumladan ular energiya tejamkor va qulay emas. Bu borada yarimo‘tkazgichlar asosida yuqori samaradorlikka ega bo‘lgan energiya o‘zgartirgichlar olish va ular asosida yangi tipdagi optoelektron qurilmalar yaratish muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi.

Jahondagi rivojlangan mamlakatlarda mikroelektronika talablariga javob beradigan noan’anaviy, qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanishga alohida e‘tibor qaratilmoqda. Xususan, hozirgi zamon mikro-optoelektronikasida elektrostatik maydon hosil qilishning mikroelektronika sohasining talablariga javob beradigan, optoelektron prinsiplariga asoslangan qurilmalar yaratish sohasida yarimo‘tkazgich yuqqa pardalardan foydalanish bo‘yicha tadqiqotlar olib borish muhim masalalardan biridir. Shundan kelib chiqib, yangi optronlar tayyorlashning ilmiy-texnikaviy asoslarini ishlab chiqish, yangi funksional imkoniyatlari keng optronlar yaratish uchun yarimo‘tkazgichli materiallar olish hamda ularning qo‘shimcha imkoniyatlarini tadqiq qilish optoelektron qurilmalar samaradorligini yaxshilash imkonini beradi.

Respublikamizda yarimo‘tkazgichli asboblarning fizikasi va elektronika sohasi taraqqiyot etib bormoqda. Bu o‘rinda, 2022 – 2026-yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasida “...ilmiy tadqiqot va innovatsion faoliyatni rag‘batlantirish masalalari, ishlab chiqarishga energiya tejamkor texnologiyalarni joriy qilish, qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanishni kengaytirish...”<sup>1</sup> kabi vazifalar belgilab berilgan. Ushbu vazifalardan kelib chiqqan holda, jumladan, yarimo‘tkazgichlar asosida yuqori samaradorlikka ega bo‘lgan energiya o‘zgartirgichlar olish va ular asosida yangi tipdagi optoelektron qurilmalar yaratish, ularni qo‘llanish sohalarini kengaytirish masalalarini hal qilishga qaratilgan ilmiy amaliy tadqiqotlarni o‘tkazish muhim hisoblanadi.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60 «2022-2026 yillarda O‘zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo‘yicha taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida»gi Farmoni, 2020-yil 10-iyuldagi PQ-4779-son “Iqtisodiyotning energiya samaradorligini oshirish va mavjud resurslarni jalb etish orqali iqtisodiyot tarmoqlarining yoqilg‘i-energetika mahsulotlariga qaramligini kamaytirishga doir qo‘shimcha chora-tadbirlar” to‘g‘risidagi, 2021-yil 19-martdagi PQ-5032-son «Fizika sohasidagi ta’lim sifatini oshirish va ilmiy tadqiqotlarni rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida»gi qarori hamda mazkur faoliyatga tegishli

---

<sup>1</sup> <https://lex.uz/docs/-5841063>

boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

**Tadqiqotning Respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi.** Dissertatsiya ishi O'zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalar taraqqiyoti ustuvor yo'nalishlarining III. "Energiya, energiya resurslarini tejash, transport, mashinasozlik va asbobsozlik; zamonaviy elektronika, mikroelektronika, fotonika, elektron asbobsozlikni rivojlantirish" ustuvor yo'nalishlariga muvofiq bajarildi.

**Muammoning o'rganilganlik darajasi:** Mikroelektronika va optoelektronika sohasida yarimo'tkazgichli elementlar olish (xususan, p-n o'tishli strukturalar), ularning elektrofizik va fotoelektrik xarakteristikalarini tadqiq qilish, ular asosida optoelektron qurilmalarni ishlab chiqish hamda qo'llanish sohaslarini kengaytirish bo'yicha ilmiy tadqiqotlar dunyoning yetakchi ilmiy markazlari va universitetlarida olib borilmoqda. Xususan, Zhi Jiang (Yaponiya), Tomoyuki Yokota (Yaponiya), Kenjiro Fukuda (Yaponiya), Hanbee Lee (Koreya), K.Swapna (Hindiston), Sk.Mahamuda (Hindiston), A.Srinivasa Rao (Hindiston), Pallab Bhattacharya (AQSh), Roberto Fornari (Germaniya), A.Darwish (BAA), H.Ali (BAA), Y.Hiroo, V.I.Stafeev (Rossiya), V.N.Davidov (Rossiya) lar tomonidan optoelektron qurilmalarning samaradorligini oshirish, fotoelektrik va elektrofizik xarakteristikalarini o'rganish, ularning integral sxemalarda qo'llanishi bo'yicha tadqiqot ishlari o'tkazilgan.

O'zbekiston olimlaridan R.A.Mo'minov, A.T.Mamadlimov, M.K.Baxadirxanov, S.Z.Zaynobiddinov, M.S.Saidov, A.M.Kasimaxunova, K.E.Onarkulov va ularning shogirdlari tomonidan yarimo'tkazgichlarning xususiyatlariga turli kiritmalarning ta'siri, yangi tipdagi yarimo'tkazgich materiallar olish, yupqa pardalarida anomal yuqori fotokuchlanish (AFK-effekt) va anomal yuqori fotomagnit kuchlanish (AFMK-effekt) effektlari, optoelektron asboblarda qurilmalar yaratish, fotoo'tkazuvchi yarimo'tkazgichli xalkogenid materiallar va ularning yupqa pardalarini olish va boshqa sohalari bo'yicha keng ko'lamli tadqiqotlar olib borilgan.

Biroq xalkogenid yarimo'tkazgich materiallardan (CdTe, CdS) yupqa pardalarini olish, xalkogenid yarimo'tkazgich yupqa pardalarida fototermoelektrik hodisalarni tadqiq etish, xalkogenid yarimo'tkazgich yupqa pardalarida fotomagnitoelektrik, yorug'lik va qutblangan yorug'lik intensivligining modulyatsiyasi bilan bog'liq effektlarni ifodalash, xalkogenid yarimo'tkazgich yupqa pardalarida deformatsiya bilan bog'liq hodisalarni tahlil etish hamda mexanik ta'sirni elektr maydonga aylantira oladigan optoelektron qurilma yaratish muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

**Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim yoki ilmiy-tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi.** Dissertatsiya tadqiqoti Farg'ona davlat universitetining ilmiy tadqiqot ishlari rejasiga muvofiq dissertatsiya tadqiqoti OT-F2-66 "Yarimo'tkazgichlar va ularning nanostrukturalarida fotonli kinetik samaralarning nazariy tadqiqi" (2017-2020 yy.) ilmiy loyiha doirasida bajarilgan.

**Tadqiqotning maqsadi** xalkogenid yarimo'tkazgich materiallar asosida avtonom optoelektron qurilmalar yaratish va ulardagi fotoelektrik, fotomagnitoelektrik, tenzoelektrik va termoelektrik hodisalarni o'rganishdan iborat.

**Tadqiqot vazifalari:**

turli funksional maqsadlarga mo'ljallangan maxsus avtonom mikro- va optoelektron qurilmalar tayyorlashga mo'ljallangan xalkogenid yarimo'tkazgich materiallardan (CdTe, CdS) yupqa pardalar olish texnologiyasini takomillashtirish;

xalkogenid yarimo'tkazgich yupqa pardalarida fototermoelektrik hodisalarni va qutblangan yorug'lik modulyatsiyasining ta'sirini o'rganish;

yorug'lik va magnit maydonni elektr maydoniga aylantirish uchun optoelektron qurilmani ishlab chiqish;

xalkogenid yarimo'tkazgichlarning yupqa pardalarida deformatsiya (pyezoelektrik effekt) bilan bog'liq hodisalarni o'rganish va mexanik ta'sirni elektr maydoniga aylantirish uchun optoelektron qurilmani ishlab chiqish;

issiqlikni elektr maydoniga aylantira oladigan xalkogenid birikmalari asosida avtonom optoelektron qurilmani ishlab chiqish va yaratish.

**Tadqiqotning obyekti** sifatida kadmiy xalkogenidlari CdTe, CdS va shisha, kvars, saffir tagliklari olingan.

**Tadqiqotning predmeti** CdTe, CdS asosida yuqori ishchi parametrlarga ega bo'lgan yupqa pardali foto qabul qilgichlar olishning fizik jarayonlari, bir jinsli bo'lmagan yupqa pardalar hosil qilishning usullarini ishlab chiqish va ular asosida optoelektron qurilmalarni yaratishdan iborat.

**Tadqiqotning usullari.** Qo'yilgan vazifalarni hal qilishda: CdTe CdS asosidagi yarimo'tkazgich yupqa pardalarni olish uchun vakuumda bug'lantirish usulidan, olingan yupqa pardalarning spektral xarakteristikalarini tadqiq qilish uchun spektroskopiya usulidan, fotoelektrik va termoelektrik parametrlarini aniqlash uchun fotoelektrik va termoelektrik kattaliklarni o'lchash qurilmalari majmuasidan foydalanilgan.

**Tadqiqotning ilmiy yangiligi** quyidagilardan iborat:

uchuvchanligi bilan farq qiluvchi izovalent materiallarni (S, Te) vakuumda termik anizotrop bug'lanish va anizotrop o'tkazish yo'li bilan kadmiy xalkogenidlaridan CdTe, CdS bir jinsli bo'lmagan yupqa pardalar olish texnologiyasi takomillashtirilgan;

anizotrop bug'latish usuli bilan dielektrik taglikka o'tqazib legirlangan xalkogenid yarimo'tkazgich yupqa pardalarida anomal fotokuchlanish va fotomagnit kuchlanish effektlari kuzatilishi ularda bir jinsli bo'lmagan sohalar, ya'ni berkituvchi qatlamlarning paydo bo'lishi bilan bog'liqligi aniqlangan;

yorug'lik va magnit maydon ta'sirida xalkogenid yarimo'tkazgich yupqa pardalarda hosil bo'ladigan anomal fotokuchlanish va fotomagnit kuchlanishdan foydalanib elektr maydonini hosil qiluvchi qurilma ishlab chiqilgan;

optik jihatdan shaffof elastik materialdan tayyorlangan va tashqi mexanik kuchlanishlarni nazorat qilish uchun qo'llaniluvchi sezgirligi  $\sim 10^6$  nisbiy birlikkacha yetadigan tenzoo'zgartirgich yaratilgan;

tashqi ikkilamchi issiqlik ta'sirida hosil qilingan termo EYuK tomonidan quvvatlanadigan yorug'lik diodlaridan chiqarilgan 240-300 Lm yorug'lik oqimi bilan AFK elementida maksimal  $10^5$  V/sm gacha bo'lgan elektr maydonini hosil qiluvchi qurilmani yaratish usuli ishlab chiqilgan;

CdTe va CdS xalkogenid birikmalari asosida avtonom optoelektron qurilma yaratish usuli ishlab chiqilgan.

**Tadqiqot amaliy natijalari** quyidagilardan iborat:

dielektrik taglikka olingan rux va kadmiy xalkogenidlari yupqa pardalarida kuzatilgan anomal fotoelektrik va fotomagnet kuchlanishlardan foydalanib optoelektron qurilmalar yaratilgan;

binar xalkogenid birikmalarga metall kirishmalar kiritish yo'li bilan termoEYuK koeffitsientini orttirish imkoniyati ko'rsatilgan;

yarimo'tkazgich xalkogenid materiallar asosida issiqlik, yorug'lik, magnet oqimlari va mexanik ta'sirlar vositasida elektr maydoni olish asosida avtonom ravishda tashqi energiya talab qilmay ishlaydigan optoelektron asboblari yaratish usullari ishlab chiqilgan.

**Tadqiqot natijalarining ishonchliligi** yuqori aniqlikdagi qurilma va uskunalardan, zamonaviy va ilmiy tasdiqlangan tadqiqot usullaridan, o'lchash va ma'lumotlarni qayta ishlashning me'yoriy, tasdiqlangan kompleks usullaridan shuningdek, natijalarning yarimo'tkazgichlar fizikasi va texnikasining zamonaviy tushunchalari hamda nazariy asoslari bilan mos kelishi, shuningdek taklif qilingan ilmiy natijalardan ishlab chiqarishda foydalanish bilan izohlanadi.

**Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.** Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati binar xalkogenid birikmalarga metall kirishmalar kiritish yo'li bilan ulardagi elektr o'tkazuvchanlikni orttirish hisobiga termo EYuK koeffitsientini kuchaytirish mumkinligi, anizotrop bug'latish yo'li bilan dielektrik taglikka olingan xalkogenid legirlangan yarimo'tkazgich yupqa pardalarida bir jinsli emas sohalar paydo bo'lishi, ularning uzluksiz qatorlarida esa berkituvchi qatlamlarning hosil bo'lishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati yarimo'tkazgich xalkogenid materiallar asosida issiqlik, yorug'lik, magnet oqimlari va mexanik ta'sirlar vositasida elektr maydoni olish hisoblanadi va noan'anaviy usulda olingan elektr maydoni vositasida, avtonom ravishda tashqi energiya talab qilmay ishlaydigan optoelektron asboblari yaratilganligida o'z ifodasini topgan.

**Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi.** Xalkogenid birikmalar negizida avtonom optoelektron qurilmalar yaratish bo'yicha olingan ilmiy-amaliy natijalar asosida:

Yarim o'tkazgich xalkogenid materiallar yupqa pardalari asosidagi avtonom, tashqi energiya talab qilmay ishlaydigan optoelektron asboblari ishlab chiqish bo'yicha olingan ilmiy xulosa va tavsiyalardan O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Yadro fizikasi institutida 2018-2020 yillarda bajarilgan FA-Atex-2018176 "Oltinugurt kirishmasi bilan legirlangan kremniy monokristall plyonkalar olishning radiatsion texnologik usulini yaratish" mavzusidagi ilmiy amaliy tadqiqot loyihasida kremniy namunalari qismida fosfor izotopidan ikki bosqichda

samaradorligi yuqori bo'lgan termo-, foto-sezgir yupqa oltingugurt pardalar olishda va olingan materiallarning elektrofizik, termoelektrik hossalari o'rganishda hamda ularda yuz beruvchi fizik jarayonlarni tahlil qilishda foydalanilgan (O'zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasining 2022-yil 3-noyabrdagi 2/1255-2768-son ma'lumotnomasi). Natijada, plenklar olish radiatsion texnologiyasini takomillashtirilib 12% samaradorlikka erishilgan;

binar xalkogenid birikmalarga metall kirishmalar kiritish yo'li bilan ulardagi metall o'tkazuvchanlikni orttirish hisobiga termo EYuKni kuchaytirish, yarimo'tkazgich xalkogenid materiallar asosida issiqlik, yorug'lik, magnit oqimlari va mexanik ta'sirlar vositasida elektr maydoni olish bo'yicha ishlab chiqilgan tavsiyalar "FOTON" aksiyadorlik jamiyati amaliyotiga joriy etilgan ("O'zElTexsanoat" AJ uyushmasining 2022-yil 18-apreldagi 04-1/1060-son ma'lumotnomasi). Dissertatsiyada olingan ilmiy natijalarga ko'ra tayyorlangan tajribaviy namunalarning elektrofizik parametrlari, fotoelektrik xususiyatlari, fotomagnit holatlari jahonda ishlab chiqarilayotgan namunalar darajasida ekanligi ko'rsatilgan.

**Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi.** Dissertatsiya ishining natijalari 7 ta xalqaro va 4 ta Respublika miqyosidagi ilmiy konferensiyalarda ma'ruza qilingan va muhokamadan o'tkazilgan.

#### **Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi.**

Dissertatsiya mavzusi bo'yicha tadqiqot natijalari jami 25 ta ilmiy ishda, ulardan 8 tasi dissertatsiya ishlarining asosiy ilmiy natijalarini nashr etish uchun O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan tavsiya etilgan ilmiy jurnallarda, shu jumladan, 6 ta maqola xorijiy xalqaro jurnallarda chop etilgan.

**Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi.** Dissertatsiya kirish, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya ishining hajmi 49 ta rasm, 2 ta jadvalni o'z ichiga olgan holda, 115 betni tashkil etadi.

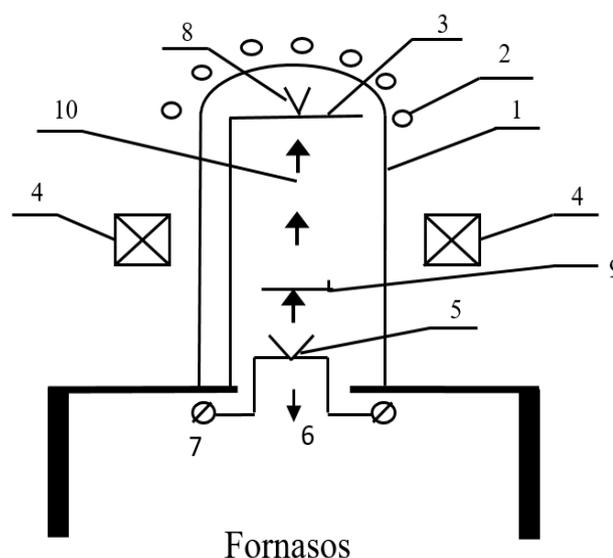
## **DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI**

**Kirish** qismida mavzuning dolzarbligi va zaruriyati ifodalangan, maqsad va vazifalari shakllantirilgan, tadqiqot obekti, predmeti va tadqiqot usullari aniqlangan tadqiqotning O'zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga muvofiqligi aniqlangan, tadqiqotning ilmiy yangiligi, olingan natijalarning ishonchligi asoslangan, ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, ish natijalarining qo'llanilganligi haqida, hamda dissertatsiya ishining tuzilishi bo'yicha qisqacha ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiya ishining **"Optoelektronikada yarimo'tkazgichli elementlarning qo'llanilishi"** deb nomlangan birinchi bobida dissertatsiya mavzusiga oid adabiyotlar sharhi keltirilgan. Optoelektronika va mikroelektronika sohasidagi tadqiqotlar natijalaridan zamonaviy fan va texnikaning turli yo'nalishlarida foydalaniladi. Optoelektronikaning asosiy elementi bu elementar optronlar. Optronni shakllantirish uchun yorug'lik manbasi, yorug'likni qabul qiluvchi tizim (foto qabul qilgich) va manbani foto qabul qilgich bilan foton

vositasida bog'lovchi qismlar kerak. Mikroelektronika rivoji uchun optron qismlarining yuqori samarador, energiya tejankor va ixcham elementlar bilan ta'minlanishi muhimdir. Bu muammoni hal qilishda optron qismlarini yupqa yarimo'tkazgich pardalaridan foydalanib tayyorlash yuqori samara beradi. Ularning geometrik o'lchamlarini millionlar darajasida kamaytirish bilan bir qatorda yarimo'tkazgich yupqa pardalarida kuzatiladigan yangi fotoelektrik hodisalardan foydalanish, funksional imkoniyatlari juda yuqori optronlar oilasini yaratish imkoniyatini tug'diradi. Shu sababli mikroelektron yupqa pardali optoelektronika sohasining shakllanish tarixi yarimo'tkazgichli yorug'lik manbai va foto qabul qilgichlarni yaratish bilan bog'liq. Yarimo'tkazgichlarning yupqa pardalarida kuzatiladigan effektlar mikroelektronika, shu jumladan, optoelektronika muammolarini hal qilishga imkon beradi. Optika va elektronika sohalaridagi erishilgan yutuqlarning qo'shilishi optoelektronikaning vujudga kelishiga asos bo'ldi.

Dissertatsiyaning **“Rux va kadmiy xalkogenidlardan foto qabul qilgichlar tayyorlashning xosliklari”** deb nomlangan ikkinchi bobida yorug'lik spektrining turli oraliqlarida fotosezgirlikka ega bo'lgan, jumladan rux sulfidi ultrabinafsha sohasi (300÷400 nm), spektrning ko'rinadigan nurlar sohasi (400÷750 nm) uchun kadmiy sulfid va kadmiy telluridi, infraqizil nurlar sohasi (750÷6000 nm) uchun qo'rg'oshin xalkogenidlari asosidagi yarimo'tkazgich elementlari mos kelishi asoslangan. Tanlangan yarimo'tkazgich materiallarning monokristall strukturalari bilan bir qatorda ularning yupqa pardalaridan ham yuqori samarador, mikroelektronika uchun qulay generator tipidagi foto qabul qilgichlar yaratish mumkin. Sulfid, selenid va telluridlardan o'ta yuqori qarshilikli bir jinsli bo'lmagan namunalar olish mumkin. Ma'lumki, generator tipidagi foto qabul qilgichlarlar uchun yupqa pardalar olishning har xil usullari mavjud bo'lib, ularning ba'zilarini tajribada sinovdan o'tkazildi masalan, vakuumda termik diskret bug'latish, “portlash” usuli, alohida tigellardan birikma elementlarini uchirish usuli va x.k.



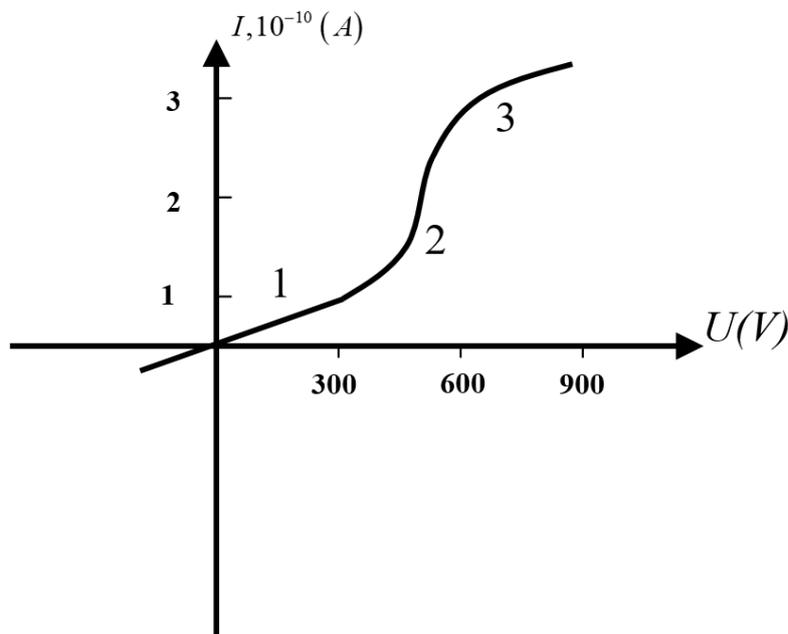
1-rasm. Anizotrop bug'latish vakuum kamerasi

Bu usullardan eng samaralisi sifatida izovalent kirishma tanlab termik yo'l bilan anizotrop bug'latish usuli qabul qilindi. Tanlangan texnologiyada quyidagi elementlaridan foydalanilgan: taglikka harorat beruvchi pech (2) kvarts qalpoq (1) ning ustidan kiygizilib, uning harorati "xromel-alyumel" termoparasi (8) yordamida nazorat qilinadi. Taglik (3) haroratini ta'minlovchi pech vakuumda tayyor bo'lgan yupqa pardaga termik ishlov (aktivatsiya, rekristallizatsiya) berish uchun ham ishlatiladi. Tigeldagi (5) materialni uchirishdan oldingi termik tozalashdagi ifloslanishdan saqlash qurilmasi "to'sqich" (9) ham biroz takomillashtirilib, anizotrop bug'latish qurilmasida qo'llanilgan. Yangi qurilmada ochib yopish uchun elektromagnit uzatgich (4) kiritilgan. Taglikka molekular oqim (10) tushish burchagini boshqarish mexanizmi ham kiritilgan (1-rasm).

AFK-effekt tabiatiga doir har xil qarashlar mavjud, ular ichida mikrofotobatareya konsepsiyasi negizida AFK-effektning qariyb hamma xarakteristikalarini aniq tushuntirish mumkin. Bunga asosan AFK elementlarning murakkab tuzilishga ega bo'lib, u ketma-ket joylashgan juda ko'p sondagi mikroskopik sohalardan tashkil topadi. Har bir soha alohida mikrofotoelement vazifasini o'taydi. Anomal yuqori fotokuchlanish, element yoritilganda har bir mikrofotoelementda hosil bo'lgan  $kT/q$  tartibidagi elementar fotokuchlanishlarning qo'shilishidan hosil bo'ladi. AFK element yagona texnologik siklda yarimo'tkazgich materialni termik bug'latib, dielektrik taglikka anizotrop o'tqazish jarayonida hosil bo'ladi. AFK elementlardagi volt-amper bog'lanishlarini nazariy va eksperimental jihatdan o'rganish AFK elementiga doir juda ko'p "xos" xususiyatlarga oydinlik kiritadi. AFK elementi uchun volt-amper bog'lanishining analitik ifodasini topish maqsadida Prins-Kummerovlarning fotodiodlar uchun umumlashtirilgan modeli negizida AFK elementi uchun fizik model shakllantirilib, uning ekvivalent sxemasi yaratilgan. Bunga asosan topilgan volt-amper nazorat bog'lanishning tahliliga asosan, bog'lanish grafigida asosan uchta soha kuzatiladi: dastlabki past kuchlanishli soha chiziqli Omik qism; undan so'ng kuchlanishning ortishi bilan tokning tezroq ortishini ko'rsatuvchi nochizig'iy soha; va uchinchi chiziqli sohani hosil qiladi. Uning grafigi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

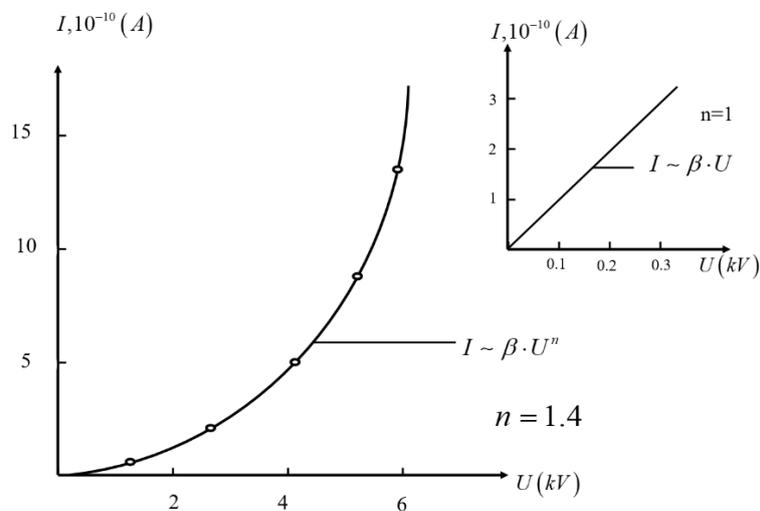
Nazariy volt-amper xarakteristikadagi bog'lanishlarni tajribada topish maqsadida sulfid, selenid birikmalarining yupqa pardalari olinib kuchli elektr maydonining keng intervalida volt-amper bog'lanish tekshirildi. Tadqiqot natijalariga ko'ra, tajribada olingan volt-amper bog'lanishlarda dastlabki chiziqlilik  $0 \div 4 \cdot 10^2$  V/sm elektr maydonlarigacha saqlandi (3-rasm). Undan so'nggi nochiziqlilik nazariy natijalarga mos kelib (2-rasm) soha tajribada o'ta katta maydonlarda ham kuzatiladi. AFK-effekt sohasidagi nazariy va eksperimental tadqiqotlar, bir jinsli bo'lmagan yarimo'tkazgich yupqa pardalaridagi p-n o'tishli super ko'p qatlamliliklar nazariyasini rivojlantirishiga sabab bo'ldi. AFK-strukturalarning ekvivalent sxemasi tuzilib, volt-amper bog'lanish uchun analitik ifoda topildi. Unga asosan volt-amper bog'lanishlardagi dastlabki chiziqli soha ekvivalent sxemadagi yarimo'tkazgich hajmiy sohasidagi shunt(parallel) qarshilik bilan bog'liq. Volt-amper bog'lanishining dastlabki chiziqli sohasining burchak koefitsientidan AFK-element yupqa pardalarning qarshiligi ( $R_T$ ) aniqlandi. Uning

qiymati yuqori  $10^{10} \div 10^{14}$  Om·sm tartibida bo'ldi. Demak, anomal yuqori kuchlanish faqat katta qarshilikli namunalarda kuzatiladi.



2-rasm. Nazariy VAXning dastlabki chiziqli qismi (1), nochiziqli qismlari (2,3)

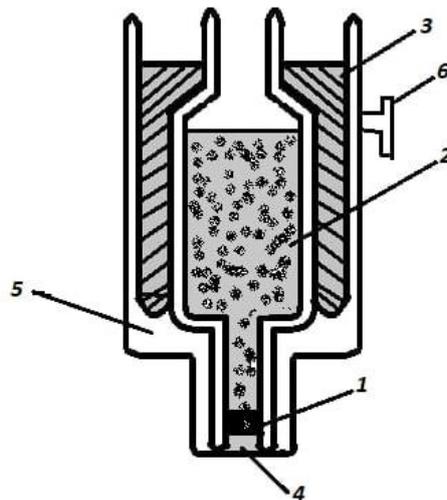
Nazariy volt-amper bog'lanishlardagi tokning tez o'suvchi qismidan (2-rasm) so'ng keladigan sekin to'yinish sohasiga moyil chiziqli qismining mavjudligi, super p-n qatordagi qo'shni p-n o'tishlar orasidagi o'zaro ta'sirning (zaryad tashuvchilar almashuvi mavjud) natijasi hisoblanadi. Real p-n o'tishli AFK-element bir jinsli bo'lmagan strukturalaridagi volt-amper bog'lanishining eksperimental natijalarida uchinchi soha (3-rasm) kuzatilmadi, demak, p-n o'tishli real super ko'p qatlamli strukturalarda (tekshirilgan namunalarda), qo'shni p-n o'tishlar orasida o'zaro ta'sir bo'lmaydi.



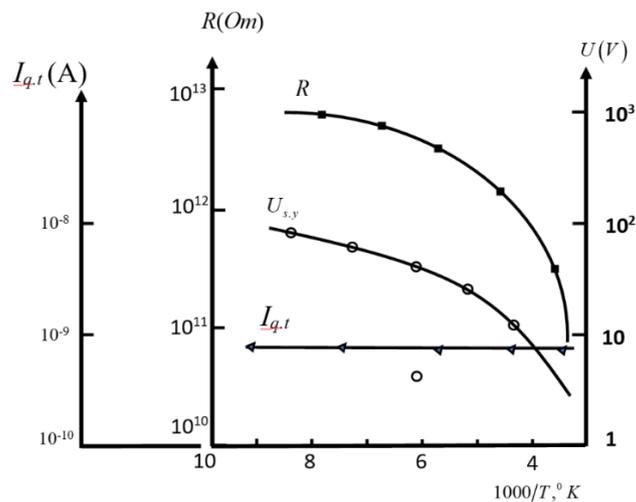
3-rasm. Eksperimental volt-amper bog'lanishlar (CdS, PbS namunalar uchun)

Eksperimentdan olingan xulosalarni oydinlashtirish uchun olib borilgan fotomagnit o'lchashlar ham p-n- qo'shni o'tishlar orasida o'zaro ta'sir mavjud emasligini tasdiqlaydi, ya'ni  $W > L$ , bu yerdagi W-bitta o'tishning kengligi, u bir jinsli bo'lmaganlar qatoridagi elementar mikrokrystallitning chiziqli o'lchamiga mos keladi, L-esa diffuzion yo'l uzunligi. Real super p-n o'tishli bir jinsli bo'lmagan sistemalarda namunaning 1sm uzunligiga  $10^5$  dona o'tishlar (mikrokrystallit) to'g'ri keladi.

AFK-elementlarga haroratning ta'sirini o'rganish uchun maxsus havosi siyraklashtirilgan ( $10^{-2}$  mm.sim.ust.gacha) shisha kamera (kriostat) tayyorlanib, unga namuna joylashtirildi (4-rasm).



4-rasm. Kriostat. 1-namuna; 2-suyuq azot; 3-suyuq geliy; 4-shaffof oyna; 5-xavosi siyraklashtirilgan shisha kamera; 6-vakuum kran



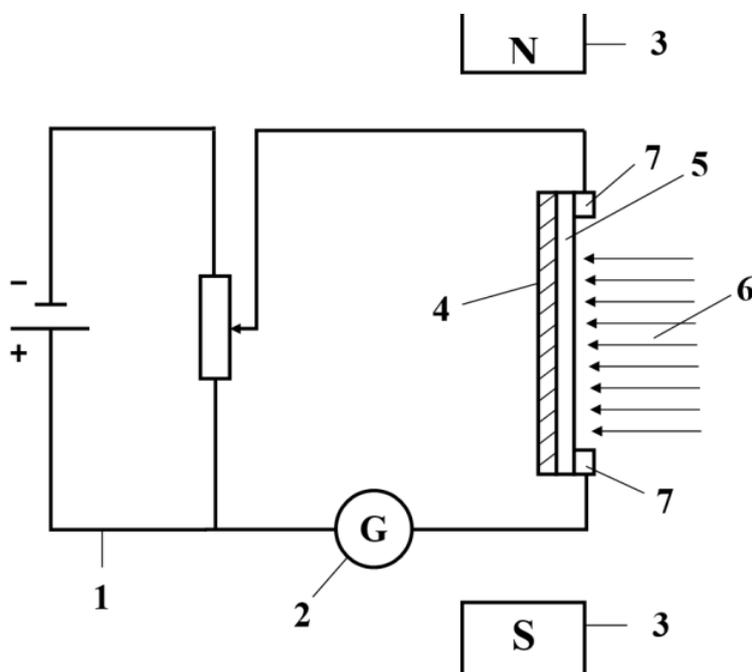
5-rasm. AFK-elementlarning yupqa bir jinsli bo'lmagan pardalarida temperaturaga bog'liq o'zgarishlar

Kriostatda yupqa bir jinsli bo'lmagan pardaga har xil temperatura va yorug'lik berish imkoniyati mavjud. Temperaturaviy o'lchashlar asosida  $U_{AFK}(T)$ ,  $I_{q,t}(T)$  va  $R_{AFK}(T)$  xarakteristikalar o'rganildi. O'lchash natijalari 5-rasmda ko'rsatilgan.

Rasmdan ko‘rinadiki AFK elementning yupqa bir jinsli bo‘lmagan pardalarida haroratning pasayishi bilan namunalarning anomal fotokuchlanishi va qarshiligi ortar ekan. Qisqa tutashuv toki  $I_{q.t}$  hamma tekshirilgan namunalarda ham temperaturaga bog‘liq emas.

Tekshirilgan namunalarning barchasida  $U_{AFK}(T)$  va  $R_{AFK}(T)$  bog‘lanishlar xarakteri mos bo‘lib  $U_{AFK} = f(B, R)$  qonuniyat doirasida o‘zgaradi. Demak, AFK-elementlardagi birlamchi jarayon fototok generatsiyasi bo‘lib, anomal fotokuchlanish esa fototokning yuqori ichki qarshilikli  $-10^{11}Om$  pardasi orqali (fotogeneratori) o‘tishi natijasi ekan.

Dissertatsiyaning “**Xalkogenid bir jinsli bo‘lmagan yupqa pardalarida AFM-effektni o‘rganish**” deb nomlangan uchinchi bobda fotomagnet effekt galvanomagnet hodisalarning bo‘ylama turlariga mansub bo‘lib, AFK-effekt hodisasiga o‘xshash o‘rganilgan. Galvanomagnet effekt kuzatilishi uchun yarimo‘tkazgich namuna magnet maydonida joylashishi bilan bir qatorda undan aniq ma’lum yo‘nalishda tok o‘tkazilishi kerak. Yarimo‘tkazgich magnet maydonida harakat qilsa ham induksiya qonuni amalga oshib, natijada hajmiy foton manbasi E.Yu.Kni hosil qilishi mumkin. Shu maqsadda xalkogenid yupqa pardalaridan AFK-namunalar olinib, ularda anomal fotomagnet effektini har tomonlama o‘rganildi.



6-rasm. Fotomagnet kuchlanishni o‘lchash qurilmasining elektr sxemasi.

1-AFK kuchlanishni kompensatsiya sxemasi; 2-anomal fotomagnet kuchlanishni o‘lchash qurilmasi galvonometri; 3-magnet maydoni qutblari; 4-xalkogenid yupqa bir jinsli bo‘lmagan pardaning tagligi (shisha yoki slyuda); 5-polikristall yarimo‘tkazgich yupqa pardasi (AFK-element); 6-yorug‘lik oqimi; 7-indiydan vakuumda olingan kontakt

Ma'lumki, bitta p-n o'tishdagi odatiy fotomagnit kuchlanish  $1 \div 10 \frac{mkV}{E}$  dan oshmaydi. Polikristall yarimo'tkazgichlardan maxsus tayyorlangan anizotrop bir jinsli bo'lmagan yupqa pardalarda bir necha minglab p-n o'tishlarning ( $1 \text{ smda} \approx 10^5$  dona) mavjudligi va ularning anizotrop yoritilishi natijasida anomal yuqori fotokuchlanishning hosil bo'lishi (AFK-effekt), bunday p-n o'tishli super ko'p qatlamlarda fotomagnit kuchlanishning ham anomal yuqori qiymati kuzatilishi mumkinligini ko'rsatadi. Anomal fotomagnit effektini kuzatish uchun, AFK-elementga magnit maydoni ta'siri o'rganildi (6-rasm).

Nazariy bashoratlarga muvofiq AFK-effektini bir jinsli bo'lmagan yupqa pardalarda namuna sirtiga yorug'lik oqimi normal tushgan holatda, magnit oqimi unga tik, namunaga ko'ndalang yo'nalishda tushganda bo'ylama yo'nalishda AFK va AFM effektlar kuzatiladi. Anomal fotokuchlanishdan AFM kuchlanishni ajratib olish uchun maxsus AFM-kuchlanishni o'lchash sxemasi va AFK-element olish texnologiyasidan foydalanildi. Bu o'lchash sxemasidan foydalanish vaqtida yorug'lik intensivligining o'zgarmasligini ta'minlanishi kerak. Texnologik usulda ham AFM va AFK potentsiallarni ajratib olish mumkin. Ma'lumki, AFK-element olish uchun molekular oqim taglikka burchak ostida tushadi. Agar molekular oqimni AFK-elementni olish jarayonida taglikka normal tushishi ta'minlansa, anomal fotoelektrik kuchlanish hosil bo'lmaydi. O'lchash sxemasi faqat AFM-kuchlanishni qayd qiladi. Magnit maydoni AFK-namuna sirtiga parallel yo'nalib, AFK-kuchlanishning yo'nalishiga perpendikulyar bo'ladi. Agar namunaning magnit maydon yo'nalishiga nisbatan holati  $90^\circ$  ga o'zgarsa, magnit maydoni bilan bog'liq AFM-kuchlanish yo'qoladi. Yorug'lik intensivligi  $B = 3 \cdot 10^5 \text{ Lk}$  bo'lgandagi o'lchash natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

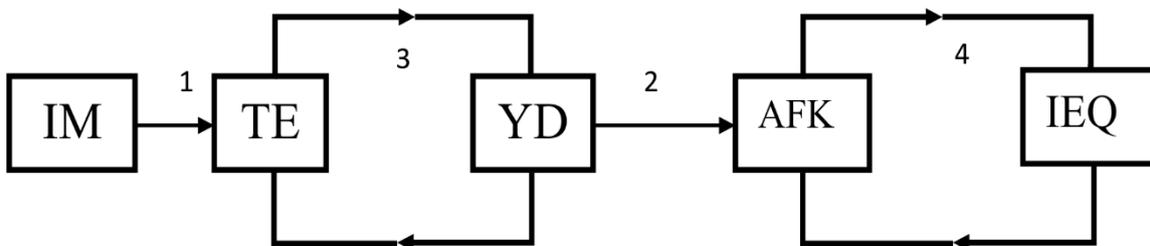
1-jadval

| No | Namuna qalinligi (mkm) | Yoritilgandagi qarshilik, ( $10^9 \text{ Om}$ ) | $U_{AFK}$ , (V) | $U_{AFM}$ , (V) | Magnit maydoni kuchlanganligi H, (kE) |
|----|------------------------|---|-----------------|-----------------|---------------------------------------|
| 1  | 1,52                   | 2,3   | 300             | 3               | O'zgaruvchan<br>0,1                   |
| 2  | 0,9                    | 3   | 110             | 5               |                                       |
| 3  | 1,4                    | 7   | 210             | 4               |                                       |
| 4  | 1,1                    | 5   | 0               | 31              | Doimiy<br>20                          |
| 5  | 0,9                    | 2   | 0               | 110             |                                       |

Uning luks-volt, ersted-volt xarakteristikalari, hamda namunada haroratli va spektr bilan bog'liq o'lchashlar ham olib borildi. Tadqiqotlar magnit maydonining  $2.0 \div 3.5 \text{ kE}$  sohasida olib borilib, luks-volt bog'lanishning dastlabki kichik yorug'lik intensivliklarida ( $B \leq 2 \cdot 10^4 \text{ Lk}$ ) chiziqli bo'lib,  $2 \cdot 10^4 \text{ Lk} < B < 8 \cdot 10^4 \text{ Lk}$  sohasida AFM-kuchlanishning yorug'lik intensivligiga bog'liq o'sishi sekinlashadi va to'yinishga erishadi. Oq va monoxromatik yorug'liklar uchun luks-volt xarakteristikalar o'zgarishi qonuniyati o'zaro mos keladi.

Dissertatsiyaning “Yarimo‘tkazgichlarning yupqa pardalari asosida elektr manbasiz ishlaydigan optoelektron qurilmalar” nomli to‘rtinchi bobida yarimo‘tkazgichlarning yupqa pardalari sohasida olib borilgan izlanishlar, ilmiy tadqiqotlarga asoslanib yaratilgan tabiiy noelektrik manbalar hisobiga faoliyat ko‘rsata oladigan “elementar optron” yordamida yangi optoelektron qurilmalar yaratishning ba’zi namunalari haqida ma’lumotlar beriladi.

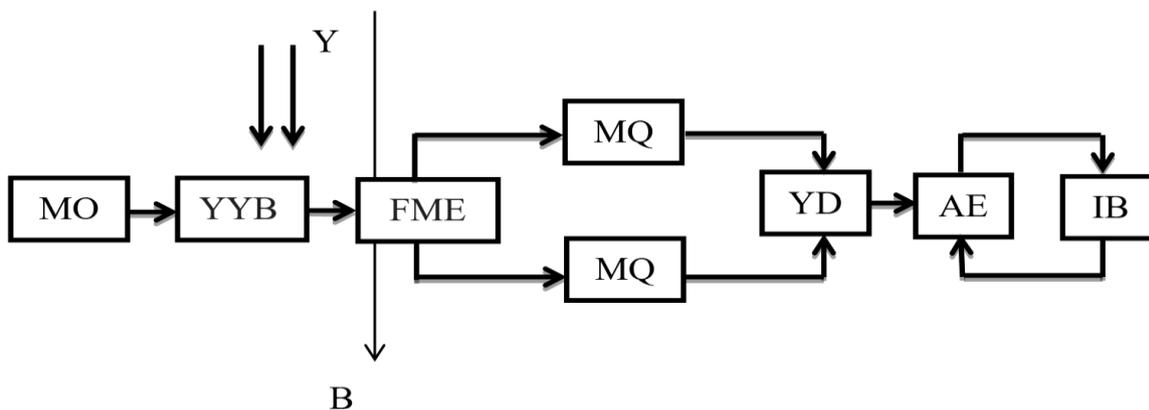
Xalkogenid materiallarning bir jinsli bo‘lmagan yupqa pardalaridan samarador fotoelementlar olinib, ulardan optoelektronika uchun funksional imkoniyatlari keng foto qabul qilgichlar sifatida foydalanish mumkin. Inson tanasi issiqligidan foydalanish dolzarb muammo bo‘lib, bu ishda uning yechimlaridan biri taklif qilingan. 7-rasmda loyihalashtirilgan optoelektron termoo‘zgartirgichning blok sxemasi keltirilgan.



7-rasm. Optoelektron termoo‘zgartirgichning blok sxemasi.

IM-issiqlik manbai (inson tanasi); 1-issiqlik tashuvchi; TE-termoelement; YD-yorug‘lik diodi; 2-to‘lqin uzatgich; AFK-generator tipidagi foto qabulqilgich; IEQ-ijro etuvchi qurilma; 3,4-qo‘shimcha moslovchi element

Qurilmaning ishlashi: Issiqlik manбайдan (IM) chiqayotgan issiqlik oqimi issiqlik uzatgich orqali termoelement (TE)ga tushadi. Termoelementda termo EYuK hosil bo‘ladi. Termotok moslovchi qurilma (3) elektr konturi orqali o‘tib yorug‘lik diodiga beriladi. Yorug‘lik diodidan chiqqan yorug‘lik oqimi to‘lqin uzatgich (2) orqali AFK-elementga uzatiladi. AFK-pardada anomal katta fotokuchlanish hosil bo‘ladi. Hosil bo‘lgan anomal katta fotokuchlanish (4) moslovchi element yordamida elektr zanjir orqali ijro etuvchi qurilma (IEQ)ga keladi.



8-rasm. Magnit maydonning optomagnitoelektron o‘zgartirgichi

Har xil manbalarning magnit maydonlarini (yerning, biooqimlarning, yuqori voltli elektr liniyalarining va x.k.) optoelektron usul bilan elektr maydoniga aylantirish imkonini beradigan optomagnitoelektron o'zgartirgichning blok chizmasi 8-rasmda keltirilgan. Rasmda MO-magnit maydoni oqimi; Y-Yorug'lik oqimi; YYB-yorug'lik oqimini yig'ib parallel yo'naltiruvchi bloki; FME-fotomagnit element (agar FME yorug'lik nuriga perpendikulyar bo'lgan magnit maydonga joylashtirilsa, bir jinsli bo'lmagan yarimo'tkazgichda fotomagnit EYuK paydo bo'ladi); MQ-yuqori kirish qarshiligiga ega moslovchi qism bo'lib, u tranzistorlaridan iborat; YD-yorug'lik diodi (ishchi tok 30÷40 mA, ishchi kuchlanishi 2-5 V); AE-AFK elementli optik manbaga ega elektr generatori rejimida ishlaydigan foto qabul qilgich (ya'ni, AFK-element, yorug'lik oqimini qabul qilib, uni elektr maydoniga aylantiradi); IB-tashqi ishchi blok yoki chiqish yuklamasi; B-tashqi magnit maydoni.

Qurilmaning ishlash prinsipi. Agar fotomagnit element magnit maydonida bo'lsa, nurlanishlar oqimi (quyosh nurlari) magnit maydonining yo'nalishiga perpendikulyar o'tganda, fotomagnit elementda anomal yuqori fotomagnit kuchlanish AFM paydo bo'ladi. Moslovchi qurilma orqali elektr zanjiri yordamida anomal yuqori fotomagnit kuchlanish yorug'lik diodiga uzatilib yana elektromagnit to'lqin nurga aylanadi. Yorug'lik diodining yorug'lik signali optik kanal orqali AFK-elementga uzatiladi. AFK-elementda anomal katta kuchlanish paydo bo'ladi. AFK-ketma-ket ulangan bir qator mikrogeteroo'tishlar yoki boshqa potensial to'siqlardan tashkil topgan polikristall strukturali element. Bunday bir jinsli bo'lmagan yarimo'tkazgich yoritilganda, unda juda katta ventil fotokuchlanish paydo bo'ladi. SD-AE optojuftlikda yorug'lik manbai sifatida kam quvvatli (taxminan 6 Vt kichik) yorug'lik diodidan foydalanilgan bo'lib u 60 vattli lampochka kabi yorug'lik hosil qilgan u holda, quvvat sarfi 8 baravar kam.

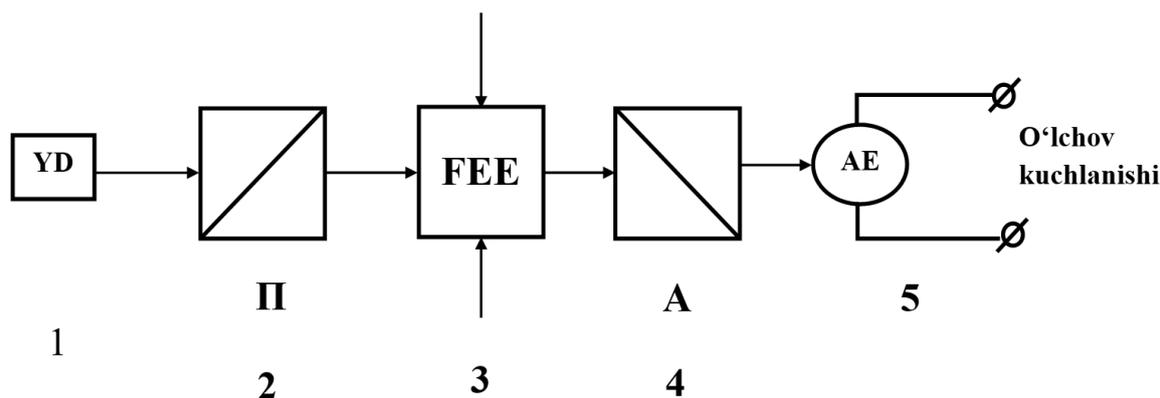
#### Asosiy texnik kattaliklari

1. Yorug'lik diodi toki 0.03÷0.04 A, kuchlanish 2÷5 V, Yorug'lik oqimi 240÷300 Lm;
2. Qurilma vazni: 150 g;
3. Spektral diapazon: ko'rinadigan va yaqin infraqizil nurlar sohasi;
4. Ish harorati: xona harorati;
5. Korpus: Asos konstruksiya kronshteyn bilan bog'langan bo'lib E-6 tipli epoksid qatlamli (dielektrik) plastik quyilgan.
6. Qurilmaning chiqishidagi elektr maydonining maksimal qiymati  $10^5$  V/sm

Mexanik kuchlanishni aniqlash, shuningdek bosimni o'lchash fan va texnikaning ko'plab sohalarida informatsion boshqaruv masalalarining muhim yechimi hisoblanadi. Shuning uchun turli xil obektlarning muqim holatidagina emas, oniy bosim va mexanik kuchlanishini qiymatini aniqlash dolzarb vazifa bo'lib qoladi.

Bosim va mexanik kuchlanishni optoelektron usulda o'lchash uchun pьeozoelektrik effekt asosida ishlaydigan optron qurilmasi taklif qilinadi. Qurilmada birlamchi o'zgartirgich sifatida xalkogenidlar asosidagi fotoelastik element (FEE) qo'llaniladi. FEEga ta'sir qilayotgan bosim (mexanik kuchlanish) natijasida uning

qaytarish yoki o'tkazish koeffitsienti o'zgaradi. Mos holda foto qabul qilgichdan chiqayotgan signal ham o'zgaradi. FEE xossalarini o'rganib, bosim va mexanik kuchlanishni o'lchash tenzoo'zgartirgichlari konstruksiyalarini bir necha variantlarini taklif qilish mumkin. 9-rasmda optoelektron o'lchov tenzoo'zgartirgichining umumlashgan blok sxemasi keltirilgan.



9-rasm. Optoelektron o'lchov tenzoo'zgartirgichning umumlashgan blok sxemasi.

1-yorug'lik diodi, 2-polyaroid, 3-FEE (o'lchov tenzoo'zgartirgichning asosiy elementi); 4-analizator (A) (yassi qutblangan yorug'likning qutblanish darajasini aniqlaydi); 5-generator tipidagi foto qabul qilgich (AFK-elementi).

Qurilmaning ishlash prinsipi. Differensial tenzoo'zgartirgich fotoelastik elementi optik jihatdan shaffof elastik materialdan tayyorlanadi va tashqi mexanik kuchlanishlarni nazorat qilish uchun ishlatiladi. Mexanik kuchlanishlar ta'sirida elastik elementning sindirish ko'rsatkichining o'zgarishi, mos holda qutblangan yorug'likning o'tish ko'rsatkichi o'zgarishiga olib kelishidan foydalaniladi. Bunday tenzodatchik FEEga qo'yilgan kichik mexanik kuchlanishlarni aniqlashga qodir. Yassi qutblangan yorug'lik fotoelastik elementdan o'tib analizatorga (A) tushadi. Mexanik kuchlanish kattaligi haqidagi informatsiya o'tayotgan yorug'likning qutblanish darajasi (o'zgarishi) ko'rinishidagi chiquvchi signal sifatida foto qabul qilgichda qayd qilinadi. Foto qabul qilgichdan chiqayotgan signal o'lchov asbobiga (C20 tipidagi voltmetr) beriladi. Mexanik kuchlanish ta'sirida fotoelastik elementda qo'shaloq nur sinishi paydo bo'ladi va bu qo'shaloq nur sinishi FEEning deformatsiyasining funksiyasi bo'ladi. Bunday tenzoo'zgartirgichni sezgirligi  $\sim 10^6$  ga yetishi mumkin.

Ikkinchi variantning konstruksiyasi yuqoridagini modifikatsiyasi hisoblanadi. Uning asosiy farqi shundaki, bu konstruksiyada fotoelastik elementdan o'tayotgan va qaytayotgan yorug'lik nurlaridan foydalaniladi. Konstruksiyadagi bu o'zgarish natijasida qaytgan yorug'lik nurlaridan foydalanib masofaviy boshqarish va o'lchash imkoniyatiga ega bo'lamiz. Bundan tashqari konstruksiyaning bu variantida optik nurlanishning qo'shaloq o'tishi mumkin bo'ladi va bu o'lchash tenzoo'zgartirgichini sezgirlik darajasini oshiradi. Bu konstruksiyada fotoelastik elementning sirti yuqori qaytarish koeffitsiyentiga ega bo'lgan materialdan bo'lishi kerak.

O'lchov tenzoo'zgartirgichining uchinchi variantida yupqa yarimo'tkazgichli fotosezgir parda ko'rinishidagi fotoelastik element qo'llaniladi. Yupqa pardali fotoelastik element olish uchun polimer taglikka vakuumda o'tqazilgan AFK-pardalardan foydalaniladi. Polimer taglik sezilarli darajadagi qaytuvchi egilish deformatsiyasiga ega bo'ladi. Yuqori darajadagi adgeziya mexanik kuchlanishni taglikdan AFK-pardaga uzatilishini ta'minlaydi, ya'ni fotoelastik elementda egilish deformatsiyasi yuz beradi. Bu usulning asosiy yutug'i mexanik kuchlanishni AFK-pardaning har bir nuqtasiga berilishida bo'ladi.

Bu holda fotoelastik elementning barcha qismlari yupqa parda ko'rinishida bajarilgan. O'lchov tenzoo'zgartirgichning ishlashi uchun alohida tashqi elektr ta'minoti manbai kerak emas. Taklif qilinayotgan o'lchov tenzoo'zgartirgichda fotoelastik elementdan chiqayotgan signalni kuchaytirish uchun alohida kuchaytirgichlar bloki zarur bo'lmaydi. Bosimning (mexanik kuchlanishning) o'zgarishini qayd qilish, kirish qarshiligi  $10^{12}$ Om dan katta bo'lgan elektrostatik Galvanometr orqali olib boriladi.

## XULOSA

1. Uchuvchanligi bilan farqlanuvchi izovalent kirishmalarni (S, Te) vakuumda termik anizotrop bug'latish va anizotrop o'tqazish yo'li bilan kadmiy xalkogenidlari CdTe, CdS ning p-n o'tishli bir jinsli bo'lmagan yupqa pardalar olish texnologiyasi takomillashtirildi.

2. Anizotrop bug'latish yo'li bilan dielektrik taglikka o'tqazilgan xalkogenid yarimo'tkazgich yupqa pardalarida bir jinsli bo'lmagan sohalar paydo bo'lishi, ularning uzluksiz qatorlarida esa berkituvchi qatlamlarning hosil bo'lishi natijasida, ularda anomal fotokuchlanish va fotomagnit kuchlanish effektlari kuzatilib, effektning elektrofizikaviy va texnik xarakteristikalari aniqlandi.

3. Yarimo'tkazgich xalkogenid materiallar asosida yorug'lik va magnit maydon ta'sirida anomal fotokuchlanish va fotomagnit kuchlanish hosil qiluvchi qurilma yaratish usuli ishlab chiqildi.

4. Optik jihatdan shaffof elastik materialdan tayyorlangan va tashqi mexanik kuchlanishlarni nazorat qilish uchun qo'llaniluvchi va sezgirligi  $\sim 10^6$  nisbiy birlikga yetadigan tenzoo'zgartirgich ishlab chiqildi.

5. Termo EYuK tomonidan quvvatlanadigan yorug'lik manbai sifatida quvvati 6 Vt dan kichik yorug'lik diodidan foydalanilganda, undan chiqqan 240-300 Lm yorug'lik AFK elementga tushganda, qurilmaning chiqishidagi elektr maydonining maksimal qiymati  $10^5$ V/sm bo'lishi aniqlandi.

6. Olingan natijalar asosida tabiiy yorug'lik, issiqlik va magnit oqimlardan elektr maydoni hosil qiluvchi optoelektron qurilmalarni yaratishda foydalaniladigan CdTe va CdS xalkogenidli materiallarni ishlab chiqarish texnologiyasini optimallashtirildi.

7. CdTe va CdS xalkogenid birikmalari asosida avtonom va tashqi energiya manbaini talab qilmaydigan optoelektron qurilmani yaratish usuli ishlab chiqildi.



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

---

**ФЕРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ЮЛДАШЕВ ШОХЖАХОН АБРОРОВИЧ**

**СОЗДАНИЕ АВТОНОМНЫХ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ  
НА ОСНОВЕ ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

**01.04.10-Физика полупроводников**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)  
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**Ташкент-2024**

**Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии Республики Узбекистан за В2022.1.PhD/T2595.**

Диссертация выполнена в Ферганском государственном университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (ispm.uz) и на Информационно-образовательном портале "ZiyoNet" ([www.ziyo.net](http://www.ziyo.net)).

**Научный руководитель:** **Онаркулов Каримберди Эгамбердиевич**  
доктор физико-математических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** **Эгамбердиев Бахром Эгамбердиевич**  
доктор физико-математических наук, профессор  
**Даулетмуратов Борибай Контлеувич**  
доктор технических наук, профессор

**Ведущая организация:** **Ташкентский государственный технический университет**

Защита диссертации состоится «19» «09» 2024 г. в 14<sup>00</sup> 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](mailto:info@ispm.uz)

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре института (зарегистрирована за № 58) по адресу: 100057, Узбекистан, г.Ташкент, ул. Янги Алмазар, дом 20. Тел: (+99871)248-79-59.

Автореферат диссертации разослан «05» «09» 2024 г.  
(реестр протокола рассылки № 58 от 05.09 2024 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,  
доктор философии по ф.-м.н. (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.** Во всем мире уделяется особое внимание использованию электростатических полей во многих областях науки, техники и деятельности человека. В настоящее время для получения электростатического поля требуется специальный внешний источник и достаточно большая энергия. Почти во всех странах источники традиционной электроэнергии не имеют возможности обеспечения непрерывного, автономного рабочего режима устройств электростатического поля. В то же время используемые традиционные источники электроэнергии не могут в полной мере удовлетворить требованиям микроэлектроники, в частности, они не являются энергосберегающими и удобными. В этом направлении важное научно-практическое значение имеет создание преобразователей энергии с высокой эффективностью на основе полупроводников и изготовление оптоэлектронных устройств нового типа на их основе.

В развитых странах мира уделяется внимание использованию нетрадиционных, возобновляемых источников энергии, отвечающих требованиям микроэлектроники. В частности, проведение научных исследований в области создания устройств, основанных на оптоэлектронных принципах получения электростатического поля с использованием полупроводниковых пленок, отвечающих требованиям микроэлектроники и разработка научно-технических основ создания на их основе новых оптронов является одной из самых актуальных задач техники. В то же время необходимо расширить сферу научных исследований в области получения новых полупроводниковых материалов и изучения наблюдаемых в них физических явлений с целью создания оптронов с широким спектром функциональных возможностей.

В Республике уделяется особое внимание развитию научно-исследовательских работ в области разработки полупроводниковых приборов и изделий электронной техники. В Стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2022-2026 годы определены задачи “по стимулированию научных исследований и инновационной деятельности, внедрению в производство энергосберегающих технологий, расширению использования возобновляемых источников энергии”. Исходя из решения поставленных задач актуальным является проведение научно-практических исследований по созданию высокоэффективных полупроводниковых преобразователей энергии, создание на их основе оптоэлектронных устройств и расширение отраслей их применения.

В некоторой степени исследования, проведенные в рамках данной диссертационной работы, отвечают требованиям, обозначенным в Указах Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28 января 2022 года «О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 года». УП-5032 от 19 марта 2021 года «О мерах по повышению качества образования в области физики и развитию научных исследований», а также в Постановлениях

Президента Республики Узбекистан № ПП-4779 «О дополнительных мерах по сокращению зависимости отраслей экономики от топливно-энергетической продукции путем повышения энергоэффективности экономики и задействования имеющихся ресурсов», а также других нормативно-правовых документов, касающихся данной отрасли деятельности.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан.** Диссертационная работа соответствует приоритетному направлению развития науки и техники Республики Узбекистан: III. «Энергия, энергосбережение, транспорт, машиностроение и приборостроение; развитие современной электроники, микроэлектроники, фотоники, электронного приборостроения».

**Степень изученности проблемы:** В ведущих научных центрах и университетах мира проводятся научные исследования в области микроэлектроники и оптоэлектроники, получения полупроводниковых структур (в том числе структур с р-п переходами), исследование их электрофизических и фотоэлектрических свойств, создание на их основе оптоэлектронных устройств, а также расширение области их применения. В частности Zhi Jiang (Япония), Tomoyuki Yokota (Япония), Kenjiro Fukuda (Япония), Hanbee Lee (Корея), K.Swapna (Индия), Sk.Mahamuda (Индия), A.Srinivasa Rao (Индия), Pallab Bhattacharya (США), Roberto Fornari (Германия), A.Darwish (ОАЭ), H.Ali (ОАЭ), Y.Hiroo, В.И.Стафеев (Россия), В.Н.Давыдов (Россия) проводили научно-исследовательские работы по повышению эффективности оптоэлектронных устройств, изучению их фотоэлектрических и электрофизических характеристик, использованию их в интегральных схемах.

Учеными Узбекистана Р.А.Муминовым, М.К.Бахадырхановым, А.Т.Мамадалимовым, С.З.Зайнабиддиновым, А.Касимахуновой, К.Э.Онаркуловым и их учениками проводились обширные исследования по изучению влияния различных примесей на свойства полупроводников, по получению нового типа полупроводниковых материалов, эффектов аномально высокого фотонапряжения (АФН-эффект) и аномально высокого фотомагнитного напряжения (АФМН-эффект) в тонких пленках и в других объектах.

Вместе с тем, важное научно-практическое значение отводится задачам получения тонких пленок из халькогенидных полупроводниковых материалов (CdTe, CdS), изучению фототермоэлектрических, фотомагнитоэлектрических явлений в тонких пленках халькогенидных полупроводников, эффектов модуляции интенсивности света и поляризованного света в тонких пленках халькогенидных полупроводников, изучению явлений, связанных с деформацией в тонких слоях халькогенидных полупроводников, а также созданию оптоэлектронного устройства, позволяющего преобразовывать механическое воздействие в электрическое поле.

**Связь диссертационного исследования с тематическими планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения,**

где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнялось в Ферганском государственном университете в соответствии с Государственной программой научно-технических исследований по гранту ОТ-Ф2-66 «Теоретическое исследование фотонно-кинетических явлений в полупроводниках и наноструктурах» (2017-2020 гг.).

**Целью исследования является:** создание автономных оптоэлектронных устройств на основе халькогенидных соединений и изучение в них фотоэлектрических, фотомагнитоэлектрических, тензоэлектрических и термоэлектрических явлений.

**Задачи исследования:**

усовершенствовать технологию получения тонких халькогенидных полупроводниковых материалов (CdTe, CdS), предназначенных для изготовления микро- и оптоэлектронных устройств различного функционального назначения, не требующих специального внешнего источника питания;

исследовать фототермоэлектрические явления в тонких пленках халькогенидных полупроводников и эффекты модуляции поляризованного света в тонких пленках халькогенидных полупроводников;

разработать оптоэлектронное устройство для преобразования света и магнитного поля в электрическое поле;

изучить явления, связанные с деформацией (пьезоэффектом) в тонких слоях халькогенидных полупроводников и разработать оптоэлектронное устройство для преобразования механического воздействия в электрическое поле;

разработать и создать автономное оптоэлектронное устройство на основе халькогенидных соединений, способное преобразовывать тепло в электрическое поле.

**Объектом исследования** выбраны халькогениды кадмия CdTe, CdS и подложки из стекла, кварца, сапфира.

**Предметом исследования** являются разработка методов формирования неоднородных тонких пленок и создание на их основе оптоэлектронных устройств, физические процессы получения тонкопленочных фотоприемников с высокими рабочими параметрами на основе CdTe, CdS.

**Методы исследования.** При решении поставленных задач использовались: для получения полупроводниковых тонких пленок на основе CdTe и CdS, метод вакуумного испарения, для исследования спектральных характеристик полученных тонких пленок метод спектроскопии, для определения фотоэлектрических и термоэлектрических величин комплекс устройств для измерения фотоэлектрических и термоэлектрических параметров.

**Научная новизна исследования заключается в следующем:**

усовершенствована технология получения неоднородных тонких пленок халькогенидов кадмия CdTe, CdS путем термического анизотропного

испарения и анизотропного осаждения в вакууме изовалентных материалов (S, Te), различающихся летучестью;

установлено, что наблюдаемые аномальные фотонапряжения и фотомагнитонапряжения в тонких пленках легированных халькогенидных полупроводников, нанесенных на диэлектрическую подложку методом анизотропного испарения связаны с образованием неоднородных участков, т.е. появлением запирающих слоев;

разработан способ изготовления устройства, вырабатывающего электрическое поле с помощью аномальных фотонапряжений и фотомагнитонапряжений в халькогенидных полупроводниковых пленках при воздействии на них света и магнитного поля;

разработан и создан датчик деформации из оптически прозрачного эластичного материала для контроля внешних механических напряжений чувствительностью до  $\sim 10^6$  относительных единиц;

разработан способ создания устройства, вырабатывающего максимальное электрическое поле до  $10^5$  В/см на АФН элементе при световом потоке в 240-300 Лм, излучаемом светодиодом питаемой с помощью термоЭДС получаемой воздействием внешнего вторичного тепла;

разработан способ создания автономного оптоэлектронного устройства на основе халькогенидных соединений CdTe и CdS.

**Практические результаты исследования заключаются в следующем:**

определены возможности создания оптоэлектронных устройств с помощью фотоэлектрических и фотомагнитных аномальных напряжений, наблюдаемых в тонких пленках халькогенидов кадмия и цинка, полученных на диэлектрических подложках;

установлена возможность повышения термоЭДС методом внедрения металлических примесей в бинарные халькогенидные соединения;

разработаны методы создания автономных, не требующих внешних источников энергии оптоэлектронных приборов, работающих на основе электрических полей, получаемых под воздействием тепловых, световых, магнитных потоков и механических усилий на основе полупроводниковых халькогенидных материалов.

**Достоверность результатов исследований** обеспечивается применением высокоточных приборов и оборудования, современных методов исследования с высокой разрешающей способностью, соответствием полученных экспериментальных результатов теоретическим данным.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость результатов работы заключается в создании способа повышения коэффициента термоЭДС введением примесей в бинарные халькогенидные соединения, обнаружении неоднородных областей в легированных халькогенидных полупроводниковых тонких пленках, полученных на диэлектрических подложках путем анизотропного испарения, появление в их непрерывных рядах запирающих слоев.

Практическая значимость результатов исследований заключается в установлении возможности создания автономных оптоэлектронных устройств, не требующих внешних источников энергии на основе полупроводниковых халькогенидных материалов, получении электрических полей на основе тепловых, световых, магнитных потоков и механических воздействий.

**Внедрение результатов исследования.** На основе научно-практических результатов по созданию автономных оптоэлектронных устройств на базе халькогенидных соединений:

научные результаты и рекомендации по созданию автономных, не требующих внешних источников энергии оптоэлектронных устройств на основе тонких пленок халькогенидных материалов, использованы в институте Ядерной физики АН РУз в научно-исследовательском проекте, выполненном в 2018-2020 гг., по гранту FA-Atex-2018176 «Создание радиационно-технологического метода получения пленок монокристаллического кремния, легированного примесью серы» при получении на поверхности образцов кремния термо- и фоточувствительных тонких пленок серы из изотопов фосфора в две стадии с высокой эффективностью, при исследовании электрофизических и термоэлектрических свойств полученных материалов, а также анализе протекающих физических процессов, (Справка Академии Наук Республики Узбекистан №2/1255-2768 от 3.11.2022 года). В результате совершенствованием радиационной технологии пленок удалось повысить их эффективность на 12 %;

возможности увеличения термоЭДС за счет повышения металлической проводимости бинарных халькогенидных соединений путем введения в них металлических добавок, рекомендации по получению электрического поля с помощью тепла, светового, магнитного потоков и механических воздействий в полупроводниковых халькогенидных материалах применены в практике акционерном обществе «ФОТОН» (Справка об использовании в рабочем процессе АК «УзЭлТехсаноат №04-1/1060 от 18.04.2022 года»). Показано, что электрофизические параметры, фотоэлектрические и фотомагнитные свойства экспериментальных образцов, полученных на основе научных результатов и рекомендаций диссертации, находятся на уровне образцов, выпускаемых в мире.

**Апробация результатов исследования.**

Основные результаты диссертации были представлены и обсуждены на 7 международных и 4 республиканских научных конференциях.

**Публикации результатов исследований.** Результаты исследований по теме диссертации опубликованы в 25 научных работах, из них 8 в научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертационных работ, в том числе 6 статей в зарубежных международных журналах.

**Структура и объем диссертации.**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертационной работы, включая 49 рисунков и 2 таблицы составляет 115 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** представлены актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цели и задачи, выявлены объект, предмет и методы исследования, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий в Республике Узбекистан, дана научная новизна исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта их теоретическая и практическая значимость, проведены краткие сведения о внедрении результатов и апробации работы, а также о структуре диссертации.

В первой главе диссертационной работы под названием **«Применение полупроводниковых элементов в оптоэлектронике»** приведен обзор литературы по теме диссертации. Исследования в области оптоэлектроники и микроэлектроники используются в различных областях современной науки и техники. Основным элементом оптоэлектроники являются элементарные оптроны. Для формирования оптрона необходим источник света, светоприемная система (фотоприемник) и детали, соединяющие источник с фотоприемником посредством фотонов. Для развития микроэлектроники важно обеспечить детали оптопары высокоэффективными, экономичными и компактными элементами. Для решения этой проблемы весьма эффективно изготовление деталей оптрона с использованием тонких полупроводниковых пленок. Наряду с уменьшением их геометрических размеров на уровне миллионов раз, используя новые фотоэлектрические явления, наблюдаемые в тонких полупроводниковых пленках, можно создать семейство оптронов с очень высокими функциональными возможностями. Поэтому история становления области микроэлектронной тонкопленочной оптоэлектроники связана с созданием источников света и фотоприемников. Эффекты, наблюдаемые в тонких пленках полупроводников, позволяют решать задачи микроэлектроники, в том числе оптоэлектроники. Объединение достижений в областях оптики и электроники послужило основой для рождения области оптоэлектроники.

Во второй главе диссертации, под названием **«Особенности получения фотоприемников из халькогенидов цинка и кадмия»** приведено обоснование того, что для ультрафиолетовой области оптического спектра (300÷400 нм) подходящим полупроводником является сульфид цинка, для видимой области спектра (400÷750 нм) подходят сульфид кадмия и селенид кадмия. Для инфракрасной области спектра (750÷6000 нм) следует использовать халькогенид свинца. Наряду с монокристаллическими структурами выбранных полупроводниковых материалов, из их тонких пленок можно создавать высокоэффективные фотоприемники генераторного типа, пригодные для микроэлектроники. Неоднородные образцы с

чрезвычайно высоким удельным сопротивлением могут быть получены из сульфидов, селенидов и теллуридов. Известно, что существуют различные методы получения тонких пленок для фотоприемников генераторного типа, некоторые из которых проверены экспериментально (например, термическое дискретное испарение в вакууме, метод «взрыва», метод испарения составных элементов из отдельных тигелей и т.д.)

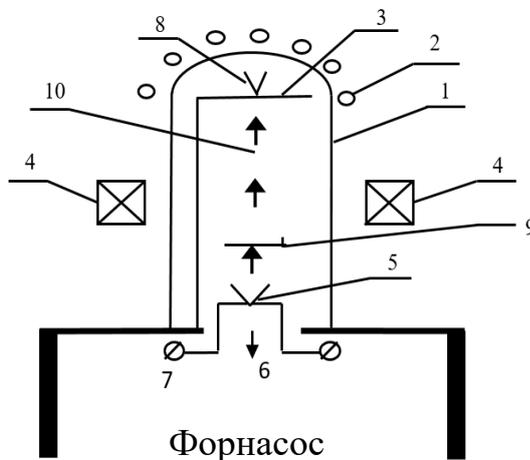


Рис.1. Вакуумная камера анизотропного испарения

Как наиболее эффективный из этих методов был принят выбран метод анизотропного испарения материала с изотропной примесью термическим методом. В выбранном методе использовались следующие элементы: нагревающая подложку печь (2) размещается над кварцевым колпаком (1), а ее температура контролируется с помощью термопары «хромель-алюмель» (8). Печь, обеспечивающая температуру подложки, также используется для термической обработки (активации, рекристаллизации) тонкой пленки, приготовленной в вакууме. «Заслонка» (9) устройство для предотвращения загрязнения при испарении материала в тигле несколько усовершенствована и использована в устройстве анизотропного испарения. В новом устройстве применен электромагнитный передатчик для открытия и закрытия. Также применена механизм управления углом использован молекулярного потока (10) подложки (рис.1).

Существуют разные взгляды на природу АФН-эффекта, среди которых практически все характеристики АФН-эффекта можно четко объяснить на основе концепции микрофотобатареи. В основном АФН имеет сложную структуру элементов, которая состоит из большого количества микроскопических зерен, расположенных в ряд. Каждое зерно действует как отдельный микрофотоэлемент. Аномально высокое фотонапряжение суммируется путем сложения элементарных фотонапряжений порядка  $kT/q$ , которые генерируются в каждом микрофотоэлементе при освещении элемента. Элемент АФН формируется в процессе термического испарения полупроводникового материала и анизотропного переноса его на диэлектрическую подложку в едином технологическом цикле. Теоретическое и экспериментальное изучение вольт-амперных зависимостей в АФН-

элементах проливает свет на многие «специфические» свойства АФН-элементов. С целью нахождения аналитического выражения вольт-амперной характеристики элемента АФН, была сформирована физическая модель элемента АФН на основе обобщенной модели Принса-Куммеровой для фотодиодов и создана ее эквивалентная схема. На этой основе из анализа вольт-амперной характеристики на графике зависимости наблюдаются три участка: начальная низковольтная область — линейная омическая часть; затем нелинейная часть, где ток увеличивается быстрее по мере увеличения напряжения; и образует третью линейную часть. Его график будет воплывдет в следующем виде:

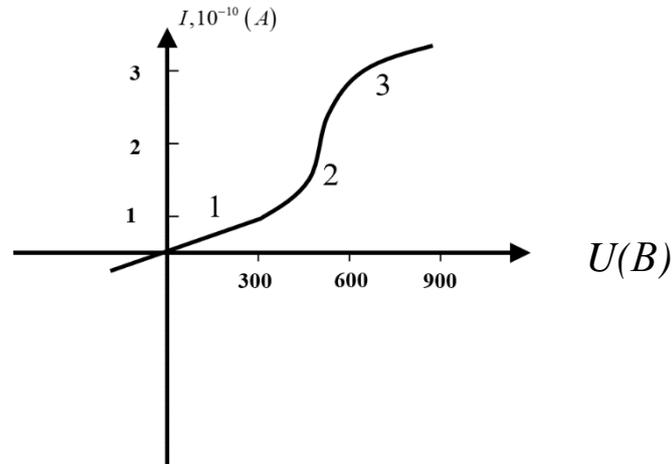


Рис.2. Начальная линейная часть (1), нелинейные части (2,3) теоретического ВАХ

Для экспериментального нахождения графических участков, наблюдаемых на теоретической вольт-амперной характеристике, была проверена вольт-амперная зависимость в широком интервале сильного электрического поля, полученных образцов тонких пленок на основе соединений сульфида и селенида. По результатам экспериментальных исследований исходная линейность в вольт-амперных зависимостях, сохранялись вплоть до электрических полей  $0 \div 4 \cdot 10^2 V/cm$ . Дальнейшая нелинейность соответствует теоретическим результатам нелинейности (рис.2) наблюдается также на очень больших напряженностях. Теоретические и экспериментальные исследования в области АФН-эффекта привели к развитию теории супер многослойной (СМС) структуры в неоднородных тонких полупроводниковых пленках. Построена эквивалентная схема АФН-структур и найдено аналитическое выражение для вольт-амперной зависимости. Согласно ей начальная линейная часть в вольт-амперных зависимостях, связана с шунтирующим (параллельным) сопротивлением в объемной области полупроводника в эквивалентной схеме. По угловому коэффициенту начальной линейной части вольт-амперной зависимости определяется сопротивление ( $R_T$ ) АФН-элементов из тонких пленок. Её значение высокое и находится в диапазоне порядка  $10^{10} \div 10^{14} \text{ Ом}\cdot\text{см}$ . Значит,

аномально высокое напряжение наблюдается только в образцах с большим сопротивлением.

Наличие в теоретической вольт-амперной зависимости области медленного насыщения после линейной быстро растущей части тока (рис.2), является результатом взаимодействия (происходит обмен носителями заряда) между соседними р-п-переходами в супер р-п ряде. В экспериментальных результатах вольт-амперной зависимости в неоднородных структурах АФН-элементов с реальными р-п-переходами третья часть (рис.3) не наблюдается, значит в реальных супер многослойных структурах с р-п-переходами (в испытанных образцах) взаимодействия между соседними р-п переходами не происходит.

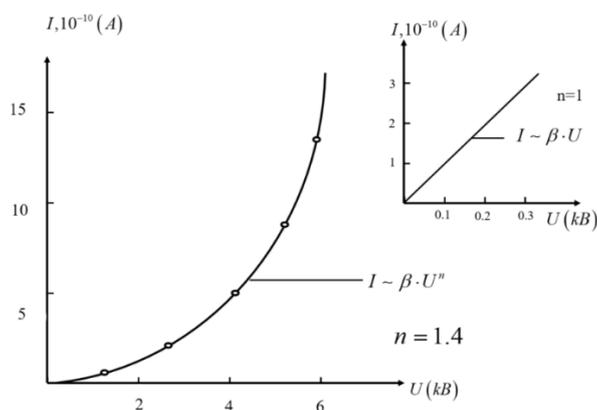


Рис.3. Экспериментальные вольт-амперные зависимости (для образцов CdS, PbS)

Фотомагнитные исследования, проведенные с целью уточнения экспериментальных заключений подтверждают, что взаимодействие между соседними р-п-переходами отсутствует, т.е.  $W > L$ , здесь  $W$ -ширина одного перехода, она соответствует линейному размеру элементарного микрокристаллита в неоднородной структуре;  $L$ -длина диффузионной пути. В неоднородных структурах с реальными р-п переходами, на 1 см длины соответствует  $10^5$  переходов (микрокристаллитов).

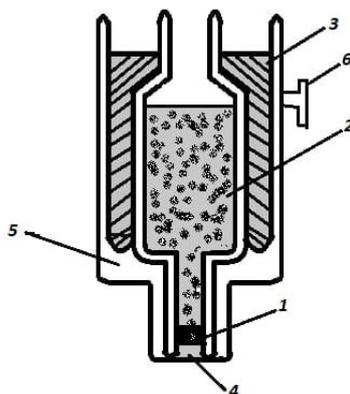


Рис.4. Криостат. 1-образец; 2-жидкий азот; 3-жидкий гелий; 4-прозрачное окно; 5-воздушная разреженная стеклянная камера; 6-вакуумный кран

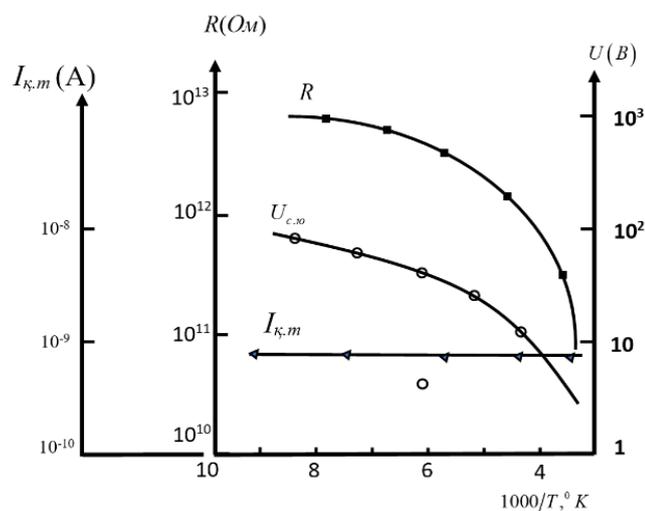


Рис.5. Температурные изменения на тонких неоднородных пленках АФН-элементов

При изучении влияния температуры изготовлена специальная стеклянная камера с разреженным ( $10^{-2}$  мм.рт.ст.) воздухом (криостат), в который помещался образец (рис.4).

В ней имеется возможность изменения температуры и освещенности тонкой неоднородной пленки. Судя по температурным зависимостям (рис.5), с понижением температуры в тонких неоднородных пленках АФН-элемента аномальное фотонапряжение и сопротивление образцов увеличиваются. Ток короткого замыкания образца  $I_{к.з}$  не зависит от температуры во всех исследованных образцах.

Во всех исследованных образцах характер зависимостей  $U_{АФК}(T)$  и  $R_{АФК}(T)$  схожий и изменяется в соответствии закономерностью  $U_{АФК} = f(B, R)$ . Итак, первичным процессом в АФН-элементах является генерация фототока, а аномальная фотоЭДС является результатом прохождения фототока через пленку с высоким внутренним сопротивлением  $\sim 10^{11}$  Ом (фотогенератор).

В третьей главе диссертации, под названием «Исследование АФМ-эффекта в тонких неоднородных пленках халькогенидов» изучен фотомагнитный эффект как явление относящееся к продольным типам гальваномангнитных явлений и им подобен АФМ-эффект. Для наблюдения гальваномангнитного эффекта необходимо поместить образец полупроводника в магнитное поле, а также пропустить через него ток определенного направления. Если полупроводник движется в магнитном поле, по закону индукции, может создать ЭДС объемного источника фотонов. Для этого из тонких пленок халькогенидов получены АФН-образцы, в них всесторонне изучен аномальный фотомагнитный эффект.

Известно, что в одиночном p-n-переходе типичное фотомагнитное напряжение не превышает  $1 \div 10$  мкВ/Э. Наличие нескольких тысяч p-n-переходов ( $\approx 10^5$  на 1 см) в анизотропных неоднородных тонких пленках из поликристаллических полупроводников и формирование аномально высокой фото ЭДС (АФН-эффект) в результате анизотропного освещения, а также

аномально высокое значение фотоманнитного напряжения в таких СМС с р-п переходом показывает, что оно может быть достигнуто. Для наблюдения аномального фотоманнитного эффекта было изучено влияние магнитного поля на АФН-элемент (Рис.6).

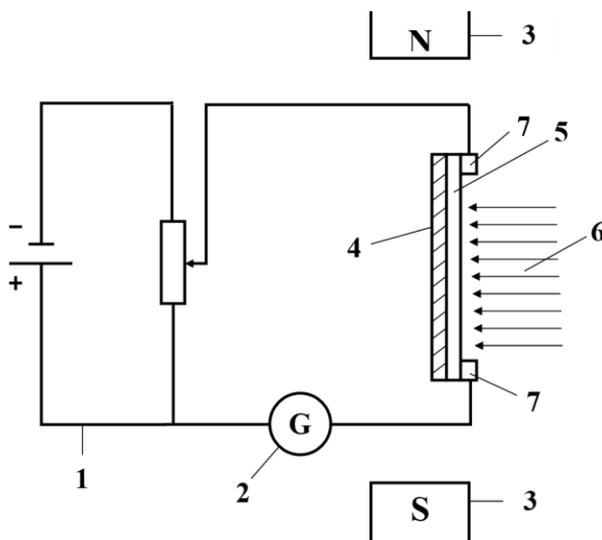


Рис.6. Электрическая схема фотоманнитного измерителя напряжения. 1-схема компенсации напряжения АФН; 2-гальванометр измерителя аномального фотоманнитного напряжения; 3-полюса магнитного поля; 4-подложка халькогенидной тонкой неоднородной пленки (стекло или слюда); 5-полукристаллическая полупроводниковая тонкая пленка (АФН-элемент); 6-световой поток; 7-контакт, полученный из индия в вакууме

Согласно теоретическим предположениям, АФН-эффект наблюдается в неоднородных тонких пленках, когда световой поток падает перпендикулярно поверхности образца, в случае когда добавляется магнитный поток световому потоку перпендикулярен наблюдаются эффекты АФН и АФМ в продольном направлении. Для извлечения напряжения АФМ из аномального фотонапряжения используется специальная схема измерения напряжения АФМ и технология получения АФН. При использовании этой схемы измерения необходимо обеспечить чтобы интенсивность света не изменялась. Потенциалы АФМ и АФН также могут быть разделены технологически. Известно, что для получения АФН-элемента молекулярный поток падает под углом к подложке. Если обеспечить нормальное падение молекулярного потока на подложку при получении АФН-элемента, аномальное фотоэлектрическое напряжение не будет генерироваться. Схема измерения регистрирует только АФМ-напряжение. Магнитное поле направляется параллельно поверхности АФН-образца и перпендикулярно направлению АФН-напряжения. Если образец сместить на  $90^\circ$  по отношению к направлению магнитного поля, АФМ-напряжение, вызванное магнитным полем, исчезнет. Результаты измерения при  $B = 3 \cdot 10^5$  лк интенсивности света представлены в таблице 1.

таблица 1.

| № | Толщина образца (мкм) | Сопротивление при освещении, ( $10^9$ Ом) | $U_{\text{АФН}}$ , (В) | $U_{\text{АФМ}}$ , (В) | Напряженность магнитного поля $H$ , (кЭ) |
|---|-----------------------|---|------------------------|------------------------|--|
| 1 | 1,52                  | 2,3                                       | 300                    | 3                      | переменный<br>0,1                        |
| 2 | 0,9                   | 3   | 110                    | 5                      |  |
| 3 | 1,4                   | 7   | 210                    | 4                      |  |
| 4 | 1,1                   | 5   | 0                      | 31                     | Постоянный<br>20                         |
| 5 | 0,9                   | 2   | 0                      | 110                    |  |

Также были проведены его люкс-вольтовые, эрстед-вольтовые характеристики, а также измерения, связанные с температурой и спектром образца. Исследования проводились в магнитном поле  $2.0 \div 3.5$  кЭ, люкс-вольтовая зависимость вначале при малых интенсивностях ( $B \leq 2 \cdot 10^4$  лк) линейна, в интервале интенсивности света  $2 \cdot 10^4$  лк  $< B < 8 \cdot 10^4$  лк рост АФМ напряжения замедляется и достигает насыщения. Для белого и монохроматического света закономерности изменения люкс-вольтовых характеристик совпадают.

В четвертой главе диссертации, под названием «**Оптоэлектронные устройства, работающие без источника питания, на основе тонких пленок полупроводников**» приведены некоторые примеры новых оптоэлектронных устройств с использованием «элементарного оптрона», созданных на основе научных исследований, которые могут работать на основе природных неэлектрических источников. На основе неоднородных тонких пленок халькогенидных материалов можно получить высокоэффективные фотоэлементы и на их основе можно создавать фотоприемники с широким набором функциональных возможностей для оптоэлектроники. Использование человеческого тепла является одним из актуальных задач и настоящей в работе предложен один из решений данной задачи. На рис.7 представлена принципиальная блок схема оптоэлектронного теплопреобразователя.

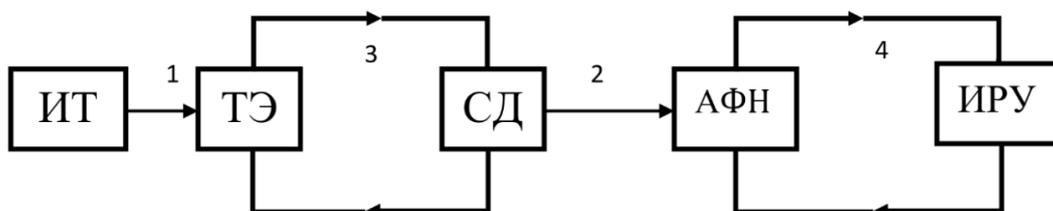


Рис.7. Блок схема оптоэлектронного теплопреобразователя.

ИТ-источник тепла (человеческое тело); 1-теплоноситель; ТЭ-термоэлемент; СД-светодиод; 2-волновод; АФН-фотоприемник генераторного

типа; ИРУ-исполнительная рабочая устройства; 3,4- дополнительный регулировочный элемент

Принцип работы устройства: из источника тепла (ИТ) посредством теплоносителя (1) тепловой поток поступает на термоэлемент (ТЭ). На термоэлементе возникает термоЭДС. Термоток через электрический контур согласующего звена (3), приходит в светоизлучающий диод (СД). Излученный световой поток посредством волновода (2) поступает на фотоприёмник генераторного типа (АФН). При освещении АФН- фотоприёмник генерирует аномально высокое фото напряжение. Аномально высокое фото напряжение через электрическую цепь вспомогательных элементов (4) поступает на исполнительное рабочие устройство (ИРУ).

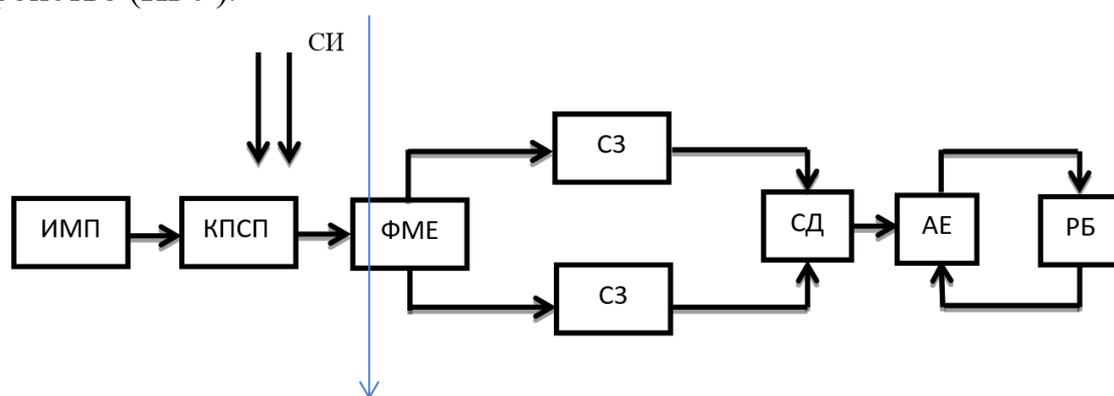


Рис.8 Фотوماгнитный преобразователь магнитного поля

На рис.8 приведена блок схема оптоэлектронного магнитооптического преобразователя, имеющего возможность преобразования магнитного поля различных источников (земли, биопотоков, высоковольтных электрических линий и.т.д.) оптоэлектронным способом. На рисунке ИМП-источник магнитного поля; СИ-поток солнечного излучения; КПСП-блок контроля плотности солнечного потока (излучения); ФМЭ-Фотوماгнитный элемент, при помещение ФМЭ в магнитное поле перпендикулярного лучу света, в неоднородном полупроводнике возникает фотوماгнитный ЭДС; СЗ-согласующее звено с высоким входным сопротивлением, оно состоит из транзисторов; СД-светодиод (рабочий ток 30÷40 мА, рабочее напряжение 2÷5 В); АФН-элемент, это фотоприёмник работающий в режиме электрического генератора с оптическим питанием (т.е. АЭ получая световой поток, преобразует в электрическое поле); РБ-внешний рабочий блок или выходное устройство (нагрузка); В-внешнее магнитное поле.

Принцип работы устройства. Если фотوماгнитный элемент (ФМЭ) находится в магнитном поле, перпендикулярно направлению магнитного поля проходит малорасходящийся пучок света (пучок солнечного излучения) на ФМЭ возникает аномально высокое фотوماгнитное напряжение (АФМ). Аномально высокое фотوماгнитное напряжение с помощью электрического контура СЗ поступает на светоизлучающий диод СД и вновь преобразуется в электромагнитную волну (световую). Световой сигнал СД через оптический

канал поступает на АФН-элемент (АЭ). АФН-элементе (АЭ) возникает аномально большое фотонапряжение (АФН). АФН-элемент неоднородная поликристаллическая структура, состоящий из ряда последовательно включенных множества микро гетеропереходов или других барьеров. При освещении такого неоднородного полупроводника возникает в нём весьма значительное суммарное фотонапряжение. Энергия магнитного поля превращается в электрическое поле с большой напряженностью. В оптопаре СД-АЭ в качестве источника света использована маломощная (не более 6 Вт) светодиодная матрица, генерирующая столько же света, сколько и 60-ваттная лампа накаливания, при этом потребляемая мощность в 10 раз меньше.

#### Основные технические характеристики:

1. Ток светодиоде  $0.03 \div 0.04$  А, напряжение  $2 \div 5$  В, световой поток  $240 \div 300$  Лм.
2. Вес порядка: 150 г.
3. Спектральная область: видимый и ближний инфракрасный.
4. Рабочая температура: комнатная.
5. Корпус: Несущая конструкция связанная вместе с кронштейном, выполнена из (диэлектрика) пластика литой эпоксидной смолой типа Э-6.
6. Напряженность электрического поля на выходе устройства (максимальной)  $10^5$  В/см.

Во многих отраслях науки и техники важным решением информационного управления является измерение механических напряжений, в том числе давлений. Поэтому актуальной задачей остается измерение значений механических напряжений и давлений не только в стационарном состоянии, но и в движении. Для измерения механических напряжений и давлений предлагается устройство работающее на основе пьезоэлектрического эффекта оптоэлектронным методом. В устройстве в качестве первичного преобразователя применен фотоупругий элемент (ФУЭ). В результате воздействия давления (механических напряжений) изменяется коэффициент преломления или отражения ФУЭ. Соответственно изменяется сигнал выходящий из фотоприемника. Изучая свойства фотоупругий элемента, можно предложить несколько вариантов конструкций тензопреобразователей измерения давления и механических напряжений. На рис.9 представлена обобщенная блок-схема оптоэлектронного измерительного тензопреобразователя.

Принцип работы устройства. Фотоупругий элемент (ФУЭ) дифференциального тензопреобразователя выполнен из оптически прозрачного эластического материала и служит для контроля внешних механических напряжений. Под воздействием механических напряжений изменяется показатель преломления упругого элемента и соответственно это приводит к изменению показателя пропускания поляризованного света. Остальные элементы, кроме ФУЭ в обобщенной схеме сохраняются. Подобный тензодатчик способен измерять малые механические напряжения

приложенные к ФУЭ. Плоско поляризованный свет, проходя через ФУЭ далее поступает на анализатор (А).

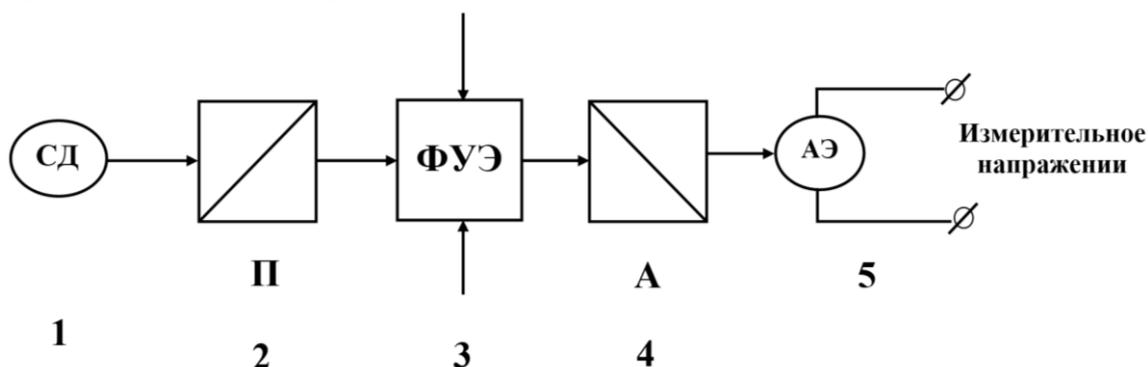


Рис.9. Обобщенная блок-схема оптоэлектронного измерительного тензопреобразователя 1-Светодиод (СД); 2-Поляризатор (П) (устройство для получения плоско поляризованного света); 3-фотоупругий элемент (ФУЭ) (основной элемент измерительного тензопреобразователя); 4-Анализатор (А) (определяет степень поляризованности плоскополяризованно света); 5-АФН-элемент (АЭ) (фотоприёмник генераторного типа работающий на диэлектрическую нагрузку)

Информация о величине механического напряжения отображается в виде выходного сигнала АЭ, по степени поляризации (изменения) проходящей волны света. Выходной сигнал из фотоприёмника подключается к измерительному прибору (вольтметр типа С20). Под действием механического напряжения возникает двойное лучепреломление, причем параметры двойного лучепреломления являются функциями деформации упругого элемента (ФУЭ). Чувствительность такого тензопреобразователя может достигать  $10^6$ .

Второй вариант конструкции является модификацией вышеизложенного. Её основное различие, в этой конструкции используется проходящие и отраженные луч света. В результате такого изменения в конструкции, имеем возможности дистанционного измерения и управления с помощью отраженных лучей. Кроме этого в этом варианте конструкции имеется возможность двойного прохождения оптических излучений и это повышает чувствительности измерительного тензопреобразователя. В этой конструкции поверхность материала ФУЭ должна обладать большими коэффициентом отражения.

В третьем варианте тензопреобразователя применяется ФУЭ, в виде фоточувствительном полупроводниковом тонком пленки. Для получения тонкопленочной ФУЭ использованы АФН-пленки осажденные на полимерную подложку в вакууме. Полимерная подложка имеет достаточное значение обратимости деформации изгиба. Хорошая адгезия обеспечивает передачу механических напряжений от подложки к АФН пленке, т.е. в ФУЭ происходит деформация изгиба. Основным преимуществом этого метода является передача механического напряжения на каждую точку АФН пленки.

В данном случае, все элементы ФУЭ выполнено в виде тонких пленок. Для работы измерительного тензопреобразователя не требуется внешний источник питания. В предлагаемом измерительном тензопреобразователе не требуется отдельный блок усиления сигнала из ФУЭ. Регистрация изменения давления (механических напряжений) производится через электростатический гальванометр с входным сопротивлением больше  $10^{12}$  Ом.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Усовершенствована технология получения неоднородных тонких пленок с р-п-переходом халькогенидов кадмия CdTe, CdS путем термического анизотропного испарения и анизотропного осаждения в вакууме изовалентных материалов (S, Te), различающихся летучестью;

2. Выявлено, что в тонких пленках легированных халькогенидных полупроводников, нанесенных на диэлектрическую подложку методом анизотропного испарения в результате появления неоднородных участков и образования изолированных слоев, в них наблюдаются аномальные фотонапряжения и фотомагнитные напряжения.

3. Разработан способ создания устройства, вырабатывающего электрическое поле с помощью аномальных фотонапряжений и фотомагнитонапряжений в халькогенидных полупроводниковых пленках при воздействии на них света и магнитного поля;

4. Разработан датчик деформации из оптически прозрачного эластичного материала для контроля внешних механических напряжений, с чувствительностью  $\sim 10^6$  относительных единиц.

5. Разработан способ создания устройства, вырабатывающего максимальное электрическое поле до  $10^5$  В/см на АФН элементе при световом потоке в 240-300 Лм, излучаемом светодиодом мощностью менее 6 Вт, который питается с помощью термоЭДС.

6. На основе полученных результатов разработаны рекомендации по оптимизации технологии изготовления халькогенидных материалов типа CdTe и CdS, используемых для создания оптоэлектронных устройств, генерирующих электрическое поле из естественного света, тепла и магнитных токов.

7. Разработан способ создания оптоэлектронного устройства на основе халькогенидных соединений CdTe и CdS, работающего автономно и не требующего внешнего источника энергии.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc. 03/30.12.2019.FM/T.01.12 ON THE  
AWARDING ACADEMIC DEGREES AT THE INSTITUTE OF  
SEMICONDUCTOR PHYSICS AND MICROELECTRONICS AT THE  
NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN**

---

**FERGHANA STATE UNIVERSITY**

**YULDASHEV SHOKHJAKHON ABROROVICH**

**CREATION OF AUTONOMOUS OPTOELECTRONIC DEVICES BASED  
ON CHALCOGENIDE COMPOUNDS**

**04.01.10-Physics of semiconductors**

**ABSTRACT OF DISSERTATION OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)  
IN TECHNICAL SCIENCES**

**Tashkent-2024**

The theme of the dissertation of Doctor of philosophy (PhD) on Technical sciences was registered by the Supreme Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan under number №B2022.1.PhD/T2595

The dissertation was carried out at the Ferghana State University.

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

**Scientific consultant:** **Onarkulov Karimberdi Egamberdiyevich**  
Doctor of physical and Mathematical Sciences, Professor

**Official opponents:** **Egamberdiyev Bakhrom Egamberdiyevich**  
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

**Dauletmuratov Boribay Koptleuovich**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Leading organization:** **Tashkent State Technical University**

The dissertation will be defended on 19 02 2024, at 14<sup>00</sup> hours at the meeting of the Scientific Council DSc.03/12.30.2019.FM/T.01.12 at the Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics of the National University of Uzbekistan at the address: 100057, Tashkent, st. Yangi Almazar, house 20. Tel./Fax: (+99871) 248-79-91 / (+99871) 248-79-92, e-mail: [info@ispm.uz](mailto:info@ispm.uz).

The dissertation can be found in the Information Resource Center of the Institute (registered under No. 58) at the address: 100057, Uzbekistan, Tashkent, st. Yangi Almazar, house 20. Tel: (+99871) 248-79-59.

The abstract of the dissertation was distributed on "05" 02 2024.  
(Registry record No. 58 dated "05" 02 2024)



**Sh.B. Utamuradova**  
Chairwoman of the Scientific Council for  
the Award of Academic Degrees, Doctor of  
Physical and Mathematical Sciences, Professor

**J.J. Khamdamov**  
Scientific Secretary of the Scientific Council for  
the Award of Scientific Degrees,  
Doctor of Philosophy (PhD), Senior Researcher

**N.A. Turgunov**  
Chairman of the Scientific Seminar at the  
Scientific Council for the Award of Academic  
Degrees, Doctor of Physics and Mathematics,  
Associate Professor

## INTRODUCTION (abstract of the PhD dissertation)

**The aim of the research** is study of photoelectric, photomagnetolectric, tensoelectric and thermoelectric phenomena in chalcogenide semiconductor materials and creation of optoelectronic devices based on renewable energy sources.

**The objectives of study** cadmium chalcogenides CdTe, CdS and substrates made of glass, quartz, and sapphire were selected.

**The scientific novelty of the research is as following:**

the technology of obtaining inhomogeneous thin films of cadmium chalcogenides CdTe, CdS by thermal anisotropic evaporation and anisotropic deposition in vacuum of isovalent materials (S, Te) with different volatility has been improved;

it has been established that the observed anomalous photovoltaic and photomagnetic stresses in thin films of doped chalcogenide semiconductors deposited on a dielectric substrate by anisotropic evaporation are associated with the formation of inhomogeneous sections, i.e. the appearance of locking layers;

a method has been developed for manufacturing a device that generates an electric field using abnormal photovoltaic and photomagnetic stresses in chalcogenide semiconductor films when exposed to light and a magnetic field;

a deformation sensor made of optically transparent elastic material has been developed and created to control external mechanical stresses with a sensitivity of up to  $\sim 10^6$  relative units.

a device has been designed that generates a maximum value of up to  $10^5$  V/cm of the electric field on the APV element with a luminous flux of 240-300 Lm, emitting from an led powered by thermopower obtained by exposure to external secondary heat;

a method for creating an autonomous optoelectronic device based on chalcogenide compounds CdTe and CdS has been developed.

**Implementation of the research results:** Based on the scientific and practical results of creating autonomous optoelectronic devices based on halcogenide compounds:

scientific results and recommendations for the creation of autonomous optoelectronic devices that do not require external energy sources based on thin films of chalcogenide materials were used at the Institute of Nuclear Physics of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan in a scientific and practical project carried out in 2018-2020, on the topic FA-Atex-2018176 "Creation of a radiation-technological method for producing films of single-crystalline silicon doped with the introduction of sulfur" when obtaining thermo- and photosensitive thin sulfur films on the surface of a silicon sample from phosphorus isotopes in two stages with high efficiency, while studying the electrophysical and thermoelectric properties of the resulting materials, as well as analyzing ongoing physical processes (Certificate of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan № 2/1255-2768 dated November 3, 2022). As a result, by improving the radiation technology of films, it was possible to increase efficiency by 12%;

the possibility of increasing thermopower by increasing the metallic conductivity of binary chalcogenide compounds by introducing metal additives into them, recommendations for obtaining an electric field using heat, light, magnetic fluxes and mechanical influences in semiconductor chalcogenide materials have been applied in the practice of the joint stock company "FOTON" (Certificate of use in the work process of JSC "UzElTehsanoat № 04-1/1060 dated April 18, 2022"). It is shown that the electrophysical parameters, photoelectric and photomagnetic properties of experimental samples obtained on the basis of scientific results and recommendations of the dissertation are at the level of samples produced in the world.

**Approbation of the research results.**

The main results of the dissertation work were reported and discussed at 7 international and 4 republican scientific and practical conferences.

**Publication of the research results.**

The results of research on the topic of the dissertation were published in 25 scientific papers, of which 8 in scientific journals recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for the publication of the main scientific results of dissertations, including 6 articles in foreign international journals.

**The structure and volume of the dissertation.** The dissertation work consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation work, including 49 figures and 2 tables, 115 pages.

**E'LON QILINGAN ILMIY ISHLAR RO'YXATI**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**  
**I bo'lim ( I часть, part I)**

1. Онаркулов К.Э., Юлдашев Ш.А. Тонкопленочный полупроводниковый оптоэлектронный измеритель механических напряжений // Физика полупроводников и микроэлектроника. 2021, Том 3, Выпуск 6, с.62-67. (01.00.00; №16)

2. Онаркулов К.Э., Юлдашев Ш.А. Оптоэлектрон тунда кўриш курилмаси // ФарПИИ-Илмий-техника журнали. 2022, Том 26, № 4, 163-166-б. (05.00.00; №20)

3. Yuldashev Sh.A. AFK-effect in chalcogenide thin films // Science and innovation international scientific journal. 2022, Том 1, № 6, p.530-535. (№23 SJIF; IF:5.608)

4. Онаркулов К.Э., Нуриддинова Р., Юлдашев Ш.А., Юлдашев А.А. Разработка теплопреобразователя на основе анамального фотовольтаического эффекта // Сибирский Физический Журнал. 2022, Том 17, № 3, с.53-60. (01.00.00; №14)

5. Onarkulov K.E., Naymanbayev R., Yuldashev A.A., Yuldashev Sh.A. Studies on chalcogenide compounds // Eurasian journal of academic research. 2021, Том 1, № 8, p.136-137. (№14 ResearchBib; IF:7.4)

6. Onarkulov K.E., Yuldashev Sh.A., Yuldashev A.A. Photomagnetic converter // Science and innovation international scientific journal. 2022, Том 1, №4, p.47-51. (№ 23 SJIF; IF:5.608)

7. Onarkulov K.E., Yuldashev Sh.A., Yuldashev A.A. Optoelectronic method for determining pressure and mechanical stresses // Central Asian Research Journal For Interdisciplinary Studies (Carjis). 2022, Том 2, №3, p.427-434. (№23 SJIF; IF:5.968)

8. Onarkulov K.E., Yuldashev Sh.A., Yuldashev A.A., Yuldasheva Sh.A. Photomagnetic converter // Galaxy international interdisciplinary research journal (GIIRJ). 2022, Volume 10, Issue 4, 2022, p.434-438. (№23 SJIF; IF:7.71)

**II bo'lim (II часть, part II)**

9. Naymanbayev R., Yuldashev Sh.A., Yuldashev A.A., Xomidov A. Q., Yuldasheva Sh.A. Optoelektronic converter // International certificate for author's work №EC-01-002993, INTEROCO, EUROPEAN DEPOSITORI Germany, Berlin, The Berne Convention for the protection of Literary and Artistic Works. 2020, 19-October

10. Naymanbayev R., Yuldashev A.A., Yuldashev Sh.A., Xomidov A Q., Yuldasheva N.O., Orifjonov X.M., Yuldasheva Sh.A., Kamchiyev A.R. Measuring strain gauge transducer // International certificate for author's work № EC-01-003304, INTEROCO, EUROPEAN DEPOSITORI Germany, Berlin, The Berne Convention for the protection of Literary and Artistic Works. 2021, 23-July

11. Naymanbayev R., Yuldashev A.A., Yuldashev Sh.A., Xomidov A.Q., Yuldasheva N.O., Orifjonov X.M., Yuldasheva Sh.A., Askarov.N.X. Heat Converter // International certificate for author's work № EC-01-003305, INTEROCO, EUROPEAN DEPOSITORI Germany, Berlin, The Berne Convention for the protection of Literary and Artistic Works. 2021, 23-July

12. Юлдашев Ш.А., Хомидов А.Қ., Юлдашев А.А., Орифжонов Х.М., Юлдашева Ш.А., Носиров К.Х., Юлдашева Н.О. Калта очик тигелда термоэлектрик материални олиш ва текшириш дастури // Электрон ҳисоблаш машиналари учун яратилган дастурнинг расмий рўйхатдан ўтказилганлиги тўғрисидаги гувоҳнома. Ўзбекистон Республикаси адлия вазирлиги ҳузуридаги интеллектуал мулк агентлиги № DGU 11060. 18.05.2021

13. Юлдашев Ш.А., Хомидов А.Қ., Юлдашев А.А., Орифжонов Х.М., Юлдашева Ш.А., Носиров К.Х., Юлдашева Н.О. Қўрғошин ва висмут халкогенидлари асосида юпқа пардалар олиш ва уларнинг электрофизик хусусиятларини ўрганиш дастури // Электрон ҳисоблаш машиналари учун яратилган дастурнинг расмий рўйхатдан ўтказилганлиги тўғрисидаги гувоҳнома. Ўзбекистон Республикаси адлия вазирлиги ҳузуридаги интеллектуал мулк агентлиги № DGU 11279. 3.06.2021

14. Онаркулов К.Э., Юлдашев Ш.А., Юлдашев А.А., Рузалиев М.Б. Влияние радиационных облучений на кинетические параметры фоточувствительных пленок PbS // “Оптическим и фотоэлектрическим явлениям в полупроводниковых микро- и наноструктурах” Материалы международной конференции. 2020, 13-14-ноябрь, с.234-236

15. Найманбаев Р., Юлдашев А.А., Юлдашев Ш.А., Юлдашева Ш.А. Исследование влияние неоднородностей на свойства АФН-элементов // Международная научно-онлайн конференция по инновациям в современной системе образования. 2021, №3, с.303-306

16. Юлдашев А.А., Юлдашев Ш.А., Юлдашева Ш.А., Тохиров М.Қ., Орифжонов Х.М. Тана хароратини ёруғликга айлантирувчи оптоэлектрон қурилма // “Энергетика соҳасини ривожлантиришда муқобил энергия манбаларининг роли” мавзусида халқаро миқёсида илмий-амалий конференция материаллари тўплами. 2021, 333-336-б.

17. Юлдашев А.А., Юлдашев Ш.А., Юлдашева Ш.А., Қамчиев А.Р., Юлдашева Н.О. Халкогенид юпқа пардаларида АФН-эффект // “Энергетика соҳасини ривожлантиришда муқобил энергия манбаларининг роли” мавзусида халқаро миқёсида илмий-амалий конференция материаллари тўплами. 2021, 336-339-б.

18. Юлдашев А.А., Юлдашев Ш.А., Юлдашева Ш.А., Қамчиев А.Р. Халкогенид юпқа пардаларидаги электрон жараёнлар // Халқаро илмий конференция. Конденсацияланган моддалар физикасининг ривожланиш тенденциялари. 2021, 25 май, 205-207-б.

19. Онаркулов К.Э., Юлдашев Ш.А., Юлдашев А.А. Теплопреобразователь // Сборник трудов международной конференции

«Энерго- и ресурсосбережение: новые исследования, технологии и инновационные подходы». 2021, 24-25 сентябрь, с.186-188

20. Онаркулов К.Э., Юлдашев Ш.А. Оптоэлектронный измеритель механических напряжений на основе тонкопленочных полупроводников // Материалы 1-международной конференции «Физика полупроводников, фундаментальные и практические проблемы микро- и нанoeлектроники». 28-29 октябрь, 2021, с.105-107

21. Онаркулов К.Э., Юлдашев А.А., Йулдошкори Ш.А., Хусанов А.Ж. Влияние структурных особенностей поликристаллических пленок полупроводников на формирование эффекта аномального фотонапряжения // Актуальные вопросы физики конденсированных сред и материаловедения. Материалы Республиканской научно-технической конференции. 2014, с.115-116

22. Юлдашев А.А., Собирова М., Файназарова Қ.И., Йўлдошқори Ш.А. Қўрғошин теллур материалини олиниши ва қўлланилиши // “Конденсатланган мухитлар физикаси ва физика ўқитишнинг долзарб муаммолари” мавзусидаги республика илмий-амалий семинари. 2015, 119-121-б.

23. Найманбаев Р., Хомидов А.К., Юлдашев А.А., Юлдашев Ш.А., Юлдашева Ш.А. Разработка и исследование оптоэлектронных приборов на основе возобновляемых видов энергии // «Возобновляемые источники энергии: научные исследования, инновационные технологии и разработки» Сборник материалов республиканской научно-практической конференции. 2020, 16-17-октябрь, с.63-64

24. Юлдашев А.А., Юлдашев Ш.А., Юлдашева Ш.А., Орифжонов Х.М. Поликристаллические слои CdHg (Te) // Материалы 1-Республиканской научной конференции молодых ученых и студентов-физиков Ассоциации студентов-физиков и молодых ученых Узбекистана. 2021, с.106-108

25. Онаркулов К.Э., Юлдашев Ш.А. Оптомагнитоэлектрон ўзгартиргич // Яримўтказгичлар ва полимерлар физикасининг долзарб муаммолари мавзусидаги хорижий олимлар иштирокида республика илмий-амалий анжумани материаллари. 2022, 1 февраль, 250-252-б.



Avtoreferat “Til va adabiyot ta’limi” jurnali taxririya-tida taxrirdan o‘tkazildi va o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlarini mosligi tekshirildi (19.12.2023-yil).

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

Shartli bosma tabog’i: 3. Adadi 60. Buyurtma № 54.

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.

