

**NAMANGAN MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
PhD.03/30.11.2022.FM/T.66.04 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

FARG‘ONA DAVLAT UNIVERSITETI

YULDASHEV ABROR ABDUVASITOVICH

**SPEKTRNING OPTIK SOHASI UCHUN GENERATOR TIPIDAGI FOTO
QABUL QILGICH ISHLAB CHIQISH**

01.04.10 – Yarimo‘tkazgichlar fizikasi

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

Namangan–2024

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

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

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

Yuldashev Abror Abduvasitovich

Spektrning optik sohasi uchun generator tipidagi foto qabul qilgich ishlab
chiqish 3

Юлдашев Аброр Абдуваситович

Разработка фотоприемника генераторного типа для оптической области
спектра..... 19

Yuldashev Abror Abduvasitovich

Development of a generator-type photodetector for the optical region of the
spectrum 37

E'lon qilingan ishlar ro'yxati

Список опубликованных работ
List of published works 41

**NAMANGAN MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
PhD.03/30.11.2022.FM/T.66.04 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

FARG‘ONA DAVLAT UNIVERSITETI

YULDASHEV ABROR ABDUVASITOVICH

**SPEKTRNING OPTIK SOHASI UCHUN GENERATOR TIPIDAGI FOTO
QABUL QILGICH ISHLAB CHIQISH**

01.04.10 – Yarimo‘tkazgichlar fizikasi

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

Namangan–2024

Fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalari vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2022.I.PhD/T2594 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Farg'ona davlat universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) ilmiy kengash veb-sahifasiga (www.namnti.uz) va Ziyonet Axborot-ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

[Naymanbaev Raxmonali]

Fizika-matematika fanlari nomzodi, dotsent

Rasmiy opponentlar:

Zaynabidinov Sirojiddin Zaynabidinovich

fizika-matematika fanlari doktori, professor,

O'zR FA akademigi

Qo'ldashov Obbozjon Xokimovich

texnika fanlari doktori, professor

Yetakchi tashkilot:

Termiz davlat universiteti

Dissertatsiya himoyasi Namangan muhandislik-texnologiya instituti huzuridagi ilmiy darajalar beruvchi PhD.03/30.11.2022.FM/T.66.04 raqamli ilmiy kengashning 2024 yil 21-sentabr soat 12⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 160115, Namangan shahri, Kosonsoy ko'chasi, 7-uy. Tel./faks: (99869) 225-10-07; (99869) 225-76-75, e-mail: nci_info@edu.uz. Namangan muhandislik-texnologiya instituti 3-bino, 2-qavat, ilmiy kengash xonasi).

Dissertatsiya bilan Namangan muhandislik-texnologiya institutining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin. (№307 raqam bilan ro'yxatga olingan.) Manzil: 160115, Namangan shahri, Kosonsoy ko'chasi, 7-uy Tel: (99869) 225-10-07.

Dissertatsiya avtoreferati 2024 yil 9-sentabrda tarqatildi
(2024-yil 9-sentabrdagi №15 raqamli reestr bayonnomasi.)



U.I. Erkaboev

Ilmiy darajalar beruvchi

Ilmiy kengash raisi, f.-m.f.d., professor

A.A. Abduraimov

Ilmiy darajalar beruvchi

Ilmiy kengash ilmiy kotibi, PhD, dotsent

N.Yu. Sharibayev

Ilmiy darajalar beruvchi

Ilmiy kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi,

f.-m.f.d., professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda muqobil energiya manbalari asosida ishlaydigan, energiya tejamkor elektrostatik maydon hosil qiluvchi texnika va texnologiyalarni yaratish masalalariga alohida e'tibor qaratilmoqda. Hozirgi kunda rivojlangan mamlakatlarda yarimo'tkazgichli materiallar asosidagi yuqori samarali energiya turlarini o'zgartirgichlar olish va ular asosida qurilmalar yaratish asosiy yo'nalishlardan biri hisoblanadi. Quyosh radiatsiyasining yorug'lik va issiqlik ta'sirlaridan foydalanib optoelektron usul bilan elektrostatik maydon hosil qilish va undan xalq xo'jaligida foydalanish ekologik toza va kam xarjli texnologiyalar yaratish belgilangan. Bu borada, jumladan yarimo'tkazgichli fotoelektrik energiya o'zgartirgichlarning samaradorligini oshirish, fotoo'zgartirgich yuzasiga tushayotgan yorug'lik oqimining samarali yutilishini ta'minlash, fotogeneratsiyalangan zaryad tashuvchilarning sirtiy va hajmiy rekombinatsiyasini kamaytirish, yuqori samarali energetik qurilmalar uchun istiqbolli yangi fotoelektrik strukturalar olish, ularning elektrofizik xossalarini o'rganish hamda fotoelektrik energiya manbalaridan foydalanishning o'ziga xos imkoniyatlarini tadqiq etishga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Jahonda yetakchi ilmiy tadqiqot markazlari tadqiqotchilari tomonidan yarimo'tkazgichli mono va polikristallardan yasalgan samaradorligi yuqori, ixcham energiya turlarini o'zgartiruvchi qurilma va asboblari yaratish uchun ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu yo'nalishda, jumladan zamonaviy mikroelektronika asosan kremniy yarimo'tkazgich materiallari asosidagi elementlar bilan chegaralangan bo'lsa, mikrofotoelektronikada ularning keng ko'lamidan foydalanish bo'yicha tadqiqotlar ustuvor hisoblanmoqda. Shu bilan birga, spektral sohaning har bir qismi uchun o'ziga mos yarimo'tkazgich materialdan foydalanish, ba'zi hollarda qo'llanish sohasiga, ya'ni foto qabul qilgichga qo'yiladigan texnik talablar va ishlash sharoitlariga qarab bir nechtasidan foydalaniladi. Bu borada maqsadli tadqiqotlarni amalga oshirish, xususan, yupqa pardalar fizikasi, yupqa pardali mikroelektronika, optoelektron qurilmalar yaratish va boshqa yo'nalishlarda izlanishlar olib borish dolzarb vazifalardan hisoblanmoqda.

Respublikamiz miqyosida ham optik va fotoelektrik qurilmalarning samaradorligini yanada orttirish maqsadida olib borilgan ilmiy tadqiqotlar va izlanishlar natijasida, fan va texnikaning ko'pgina sohalarida inqilobiy o'zgarishlar yasay oladigan mikroelektronika, optoelektronika va geliotexnika kabi istiqbolli sohalar yuzasidan keng qamrovli chora-tadbirlar amalga oshirilib, muayyan natijalarga erishilmoqda. 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..."¹ kabi vazifalar belgilab berilgan. Ushbu vazifalardan kelib chiqqan holda, jumladan, yarimo'tkazgichlar asosida yuqori samaradorlikka ega bo'lgan energiya

¹ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 11-sentabrdagi PF-158-son "«O'zbekiston – 2030» strategiyasi to'g'risida"gi Farmoni

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 9 sentyabrdagi PF-220-son "Energiya tejevchi texnologiyalarni joriy qilish va kichik quvvatli qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirish bo'yicha qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida"gi Farmoni, 2021 yil 9 apreldagi PQ-5063-son "O'zbekiston Respublikasida qayta tiklanuvchi va vodorod energetikasini rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida", 2021 yil 19 martdagi PQ-5032-son "Fizika sohasidagi ta'lim sifatini oshirish va ilmiy tadqiqotlarni rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida" hamda 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'risida"gi qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Dissertatsiya ishi bo'yicha O'zbekiston Respublikasining fan va texnologiyalar rivojlanishining III. "Energetika, energiya va resurs tejamkorligi, transport, mashinasozlik va asbobsozlik; zamonaviy elektronika, mikroelektronika, elektron asbobsozlikni rivojlantirish tani" ustuvor yo'nalishiga muvofiq bajarilgan.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Hozirda optoelektron asboblari va tizimlardan xalq xo'jaligining turli sohalarida keng ko'lamli masalalarni hal qilishda foydalanilmoqda. Optoelektron asboblari va tizimlarni loyihalashda muhim muammolar, ularning asosiy qismlaridan biri bo'lgan optik nurlanishlarni qabul qilgichlarni tanlash hisoblanadi. Yarim o'tkazgichlar va yarimo'tkazgichli asboblari fizikasi, jumladan bir jinsli bo'lmagan strukturalardagi fizikaviy jarayonlarni o'rganishga bo'lgan qiziqish dastlabki p-n o'tishlar asosidagi diod yaratilishidan boshlab jadallashdi. Bunday strukturalar sirasiga yarimo'tkazgich polikristall materiallar ham taalluqli bo'lib, ularda kechadigan fizikaviy jarayonlarni o'rganish, ular asosida turli mikro- opto- termoelektron elementlar va asboblari ishlab chiqish ustida dunyoning yetakchi olimlaridan R.Rozenxaymann, K.Xargrivzom, B.M.Goltsman, V.I.Stafeyev va boshqalar ilmiy tadqiqot ishlarini olib borishgan. Polikristall mikrostrukturasidagi kristalchalararo chegara sohasidagi sirt potentsiali bilan bog'liq holatlar V.M.Jonson, W.K.Schubert, V.Iglessiyas tomonidan o'rganilgan.

O'zbekistondan ushbu sohada bir qator olimlar ilmiy tadqiqot ishlarini olib borishgan. Taniqli akademiklar R.A.Mo'minov, A.T.Mamadalimov, S.Z.Zaynabidinovlarning ilmiy maktablarida yarimo'tkazgichlar fizikasi va texnikasining zamonaviy istiqbolli yo'nalishlari tadqiq qilinmoqda. Shuningdek, yarimo'tkazgichli yupqa pardalar olish texnologiyasini takomillashtirish, ularda kechadigan fotoelektrik, termoelektrik, tenzoelektrik va boshqa hodisalarni tadqiq qilish, qo'llanish sohalarini o'rganish va yuqori samaradorlikka ega bo'lgan elementlar olish hamda qurilmalar yaratish sohasida professorlar X.S.Daliyev,

Sh.B.Utamuradova, N.F.Zikrillayev, R.Ya.Rasulov, B.Raximov, O.Qo‘ldashov, R.Aliyev, A.M.Qosimoxunova, S.M.Otajonov, K.E.Onarqulovlar yuqori natijalarni qayd etishmoqda. Yarimo‘tkazgich materiallardan mikro- optoelektron qurilmalar yaratishda foydalanish mumkinligining ilmiy, texnikaviy va texnologik asoslari ishlab chiqilmoqda.

Biroq xalkogenid yarimo‘tkazgich materiallardan CdTe, CdS yupqa pardalarini olish, xalkogenid yarimo‘tkazgich yupqa pardalarida volt-amper xarakteristikasini, fototermoelektrik hodisalarni tadqiq etish, xalkogenid yarimo‘tkazgich yupqa pardalarida fotomagnitoelektrik, yorug‘lik va qutblangan yorug‘lik intensivligining modulyatsiyasi bilan bog‘liq effektlarni ifodalash, spektrning optik sohasi uchun samaradorligi yuqori bo‘lgan optoelektron qurilmalar 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 ishi Farg‘ona davlat universitetining ilmiy tadqiqot ishlari rejasiga muvofiq ITD-12-56 «Yarim o‘tkazgichlardan termoelektrik materiallar tayyorlash» (2012-2014 yillar) ilmiy loyihasi doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi: nurlanishning optik sohasida sezgir yarimo‘tkazgich yupqa pardalarda kuzatiladigan fotoelektrik hodisalar va ular asosida avtonom rejimda ishlovchi, muqobil energiya manba qurilmalarni yaratishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

yorug‘lik spektrining optik nurlanish sohasida fotovoltaik sezgirligi yuqori bo‘lgan yarimo‘tkazgich yupqa pardalar olish texnikasi va texnologiyasini ishlab chiqish;

bir jinsli bo‘lmagan xalkogenid (CdSe, CdS, CdTe) yarimo‘tkazgich yupqa pardalaridagi fotoelektrik, fotomagnitoelektrik hodisalarni o‘rganish negizida o‘ta ko‘p p-n o‘tishlik mavjudligini aniqlash;

bir jinsli bo‘lmagan xalkogenid yupqa pardalaridan foydalanib, generator tipidagi foto qabul qilgichlar yaratishning ilmiy-texnikaviy asoslarini ishlab chiqish;

spektrning optik sohasi uchun yaratilgan foto qabul qilgich elementlar vositasida ochiq kanali to‘g‘ri bog‘lanishda ishlay oladigan “elementar optron”ni ishlab chiqish va tadqiq etish;

elementar optrondan foydalanib muqobil energiya manbasi hisobiga mustaqil faoliyat ko‘rsata oladigan optoelektron, galvanik ajratilgan elementlarga ega unipolyar optoelektron transformatorni ishlab chiqish.

Tadqiqotning ob‘ekti sifatida nurlanishning optik sohasida sezgir CdSe, CdS yarimo‘tkazgich materiallari asosidagi bir jinsli bo‘lmagan yupqa pardalari tanlangan.

Tadqiqotning predmeti yorug‘lik spektrining optik sohasida sezgir bo‘lgan yarimo‘tkazgich yupqa bir jinsli bo‘lmagan yupqa pardalar olish texnikasi va texnologiyasining fizik asoslarini o‘rnatish, elektrofizik, fotoelektrik, fotomagnit xususiyatlarini o‘rganish, ular asosida generator tipidagi foto qabul qilgichlar texnikasining fizik asoslarini o‘rganish.

Tadqiqotning usullari. Vakuumda bug‘lantirish orqali CdSe, CdS, CdTe asosidagi yarimo‘tkazgichli fotosezgir yupqa pardalar olish usuli, volt-amper

xarakteristikalarini aniqlashda, spektral xarakteristikalarini o'lchash usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

ilk bor, anomal fotokuchlanish vakuumda yarimotkazgich materialni (CdSe, CdS, CdTe) 250°C ga qizdirilganda, molekulyar oqim yo'nalishi burchak ostida joylashgan dielektrik asosga termik bug'latish yo'li bilan olinganda, molekulyar oqim yo'nalishida stolbsimon strukturali polikristal yupqa pardalarda hosil bo'lishi aniqlangan;

bir jinsli bo'lmagan yarimo'tkazgichlarda (CdSe, CdS, CdTe) yupqa pardalarga, kuchsiz yorug'lik kuchlanishi 10-20 kV fotokuchlanish bera oladigan generator yordamida, n-tipidagi yarimo'tkazgichlar (foto qabul qilgichlar) ishlab chiqilgan;

ilk bor, quyosh yorug'ligining issiqlik, yorug'lik va magnit ta'sirlaridan foydalanib 1000V dan ortiq kuchlanish hosil qilish imkoniyatiga ega geliooptron (foto qabul qilgich) qurilmasi ishlab chiqilgan;

ilk bor, yorug'lik nuri ta'sirida yuqori elektr maydoni hosil qiladigan (AFK – elementi) yarimo'tkazgich yupqa plyonkalari asosida ishlaydigan, ikkita elektron konturi va bitta foton bog'lanishli optron zanjiridan iborat opto tok kuchaytirgich ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati quyidagilardan iborat:

qayta tiklanuvchi energiyalardan foydalanib elektr maydoni va optik signallar hosil qiluvchi yarimo'tkazgich polikristall yupqa pardali elementlar olish texnologiyasi takomillashtirilgan;

kichik amplitudali elektr va optik signallarni yordamida katta amplitudali elektr potentsialli elektrostatik va elektromagnit maydonlar hosil qilish imkoniyatlari ko'rsatilgan;

quyosh radiatsiyasidan foydalanib, maxsus tashqi elektr manbasi ishlatilmaydigan elektron-foton bog'lanishli optoelektron qurilmalar yaratish mumkinligi asoslangan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi olib borilgan texnikaviy va eksperimental tadqiqotlarning asoslangan va ishonchliligi uslubiy jihatdan sinalgan usullardan va tajribalar davomida xalqaro tan olingan metodlardan foydalanilganligi, eksperimental natijalarning nazariy tushunchalarga mosligi hamda adabiyotlarda mavjud natijalarga mos tushishi bilan belgilanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarning ilmiy ahamiyati yupqa pardali foto qabul qilgichlar tarkib va tuzilishida klaster tipidagi segregatsiya xususiyatini namoyon qiladigan, bir jinsli bo'lmagan qatlamlardan iborat ekanligi aniqlangani va shu asosda anomal fotokuchlanish tabiati ochib berilgani bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarning amaliy ahamiyati qayta tiklanuvchi energiyalardan foydalanib elektr va optik signallar hosil qiluvchi ixcham, samaradorligi yuqori kichik amplitudali elektr va optik signallarni katta amplitudali elektr potentsialiga aylantirish imkoniyatini beradigan optoelektron qurilmalar yasash mumkinligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi: Yarimo'tkazgichli polikristall yupqa pardalaridan tayyorlangan qayta tiklanuvch energiya manbalari asosida ishlovchi optoelektron qurilmalar yaratish bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

polikristall yarimo‘tkazgichli xalkogenid yupqa pardalarda anomal fotoelektrik va anomal fotomagnitoelektrik hodisalarni o‘rganish natijasida polikristallarning super ko‘p qatlamliligi, anomal fotoelektrik va anomal fotomagnitoelektrik hodisalar faqat bo‘ylama effekt bo‘lib, strukturaning qarshiligi o‘ta katta bo‘lgan ($>10^9$ Om) namunalarda kuzatilishi bo‘yicha olingan ilmiy tadqiqot natijalaridan Namangan muhandistlik – qurilish institutining “Fizika” kafedrasida 2017-2020 yillarga mo‘ljallangan OT-F2-71 “O‘ta yuqori chastotali elektromagnit maydondagi deformatsiyalangan p-n o‘tish volt-amper xarakteristikasiga yorug‘likning ta‘sirini tadqiq etish” mavzusidagi fundamental davlat loyihasida foydalanilgan. (Oliy va o‘rta maxsus ta‘lim vazirligining 2022 yil 21 fevraldagi 3/19-21/02-40 - son ma‘lumotnomasi); Natijada yarimo‘tkazgichli zarrachalar negizida fotoelektrik materiallar olish texnologiyasi va materiallarning termoelektrik xossalari optimallashtirilgan;

gibrid gelioptron yordamida yuqori kuchlanishli elektr maydoni quyosh radiatsiyasi vositasida olinadi. Bu elektr maydonini molekulyar oqimlarni saralash tizimlarida foydalaniladi. Jumladan, rudalarni dastlabki tozalash tizimida, kvant guruhi asboblarni saralash blokida, elektr maydoni manbasi sifatida va meditsina qurilmalari avtonom elektr maydon manbasi vazifasini bajarishi bo‘yicha ishlab chiqilgan tavsiyalar “FOTON” aksiyadorlik jamiyati amaliyotiga joriy etilgan (“O‘zEITexsanoat” AJ uyushmasining 2022-yil 15 fevraldagi 04-3/288 son ma‘lumotnomasi). Natijada tajribaviy na‘munalardagi elektrotexnik asboblarni elektrofizik parametrlarini ~10% yaxshilash imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Dissertatsiya ishining asosiy natijalari 4 ta xalqaro va 2 ta Respublika miqyosidagi ilmiy konferensiyalarda ma‘ruza qilingan va muhokamadan o‘tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e‘lon qilinganligi.

Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha tadqiqot natijalari jami 22 ta ilmiy ishda, ulardan 9 tasi dissertatsiya ishlarining asosiy ilmiy natijalarini nashr etish uchun O‘zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan tavsiya etilgan ilmiy jurnallarda, shu jumladan 5 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 39 ta rasm, 1 ta jadvalni o‘z ichiga olgan holda, 118 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

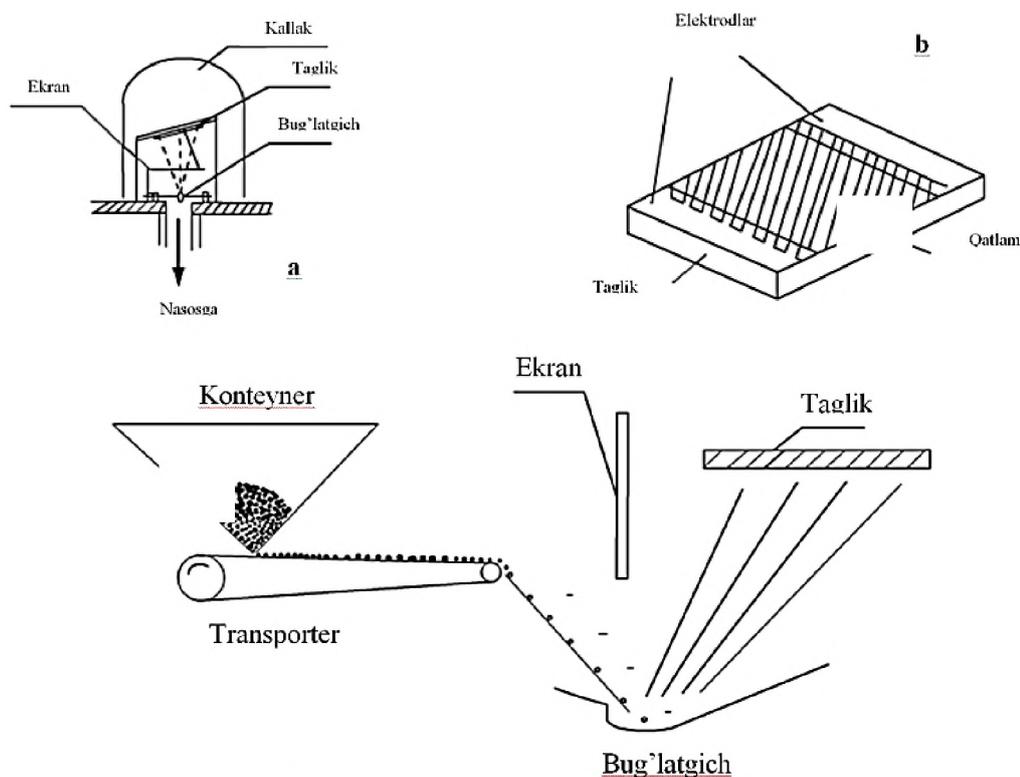
Kirish qismida mavzuning dolzarbligi, uning ilmiy yangiligi va amaliy ahamiyati tahlil qilingan va asoslab berilgan, himoyaga olib chiqilayotgan holatlar keltirilib, ishning qisqacha mazmuni ochib berilgan.

Dissertatsiyaning “**Foto qabul qilgichlarning asosiy xususiyatlari va xarakteristikalari**” deb nomlangan birinchi bobida dissertatsiya mavzusiga oid adabiyotlar sharhi keltirilgan. Jumladan, optoelektronika sohasi uchun foto qabul qilgichlar (FQQ) orasida generator rusumidagi FQQ larning istiqboli yuqori ekanligi, chunki bunday FQQ elektron zanjiri uchun maxsus elektr manbasi zarur bo‘lmasligi asoslab berilgan. Shu bilan birga yarimo‘tkazgichli fotoelektrik qurilmalarni yaratishda

tabiiy manbalardan foydalanish istiqboli va qoʻllanish usullari va ularni spektral mosligini taʼminlash, temperatura oʻzgarishining taʼsiri tahlil qilingan. Anomal fotokuchlanish hosil qiladigan yarimoʻtkazgich yupqa pardalar olishning texnologik xosliklari bayon qilingan. Aniqlangan ilmiy-amaliy muammolar asosida dissertatsiya tadqiqotining maqsadi va vazifalari shakllantirilgan.

Dissertatsiyaning “**Anomal foto kuchlanishli foto qabul qilgich olish texnikasi va texnologiyasi**” deb nomlangan ikkinchi bobida anomal foto kuchlanish namoyon qilish xususiyatiga ega boʻlgan yupqa pardalar olish texnikasi, texnologik jarayonlarning xosliklari (AFK kattaligiga vakuum darajasi, taglik turi va temperaturasi, oʻtqazish burchagi, oʻtqazish tezligi va boshqalarning taʼsiri), elektrofizik va optoelektrik parametrlarini oʻlchash qurilmalari va oʻlchash natijalari bayon qilingan.

AFK–qatlamlar asosan vakuumda yarimoʻtkazgich materialni dielektrik asosga termik bugʻlatish yoʻli bilan olinadi. Bunda yupqa pardalar molekulyar dasta oqimi yoʻnalishida oʻsadi va stolbsimon strukturaga ega boʻladi. Olingan qatlamlar tayyorlanishiga mos holda amorf, polikristall tuzilishlarga ega boʻlishi mumkin. Har qanday yupqa yarimoʻtkazgich qatlamlar olish kabi AFK-qatlamlar olishda ham aniq optimal rejim topish zarur. Buning uchun tajriba yoʻli bilan har bir material uchun bugʻlatish tezligi, taglik temperaturasi, ishchi hajmdagi bosim, bugʻlanayotgan materialning molekulyar oqimining taglikka tushish burchagi kabi parametrlar tanlanishi kerak. Materialni bugʻlantirib taglikka oʻtqazish alohida kamerada amalga oshiriladi. Bunday kamerada yupqa qatlam hosil qilish toʻgʻridan-toʻgʻri bugʻlatish, diskret bugʻlatish (portlash bilan bugʻlatish), bir necha manbadan dispers bugʻlatish bilan amalga oshirilishi mumkin.



1-rasm. Yupqa pardalar olish texnikasi.

1-rasmda taglikka yarimo'tkazgich materialni o'tqazish kamerasi (a), qatlamning umumiy ko'rinishi (b) va turli materiallarning mayda kukunlarini ketma-ket diskret bug'latish usuli (d) bilan yupqa qatlamlar tayyorlash qurilmasi ko'rsatilgan.

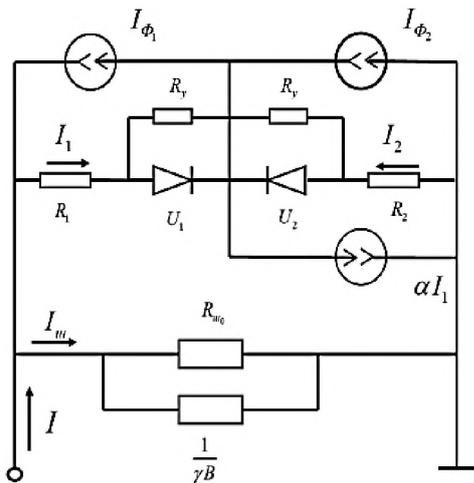
Anizotrop bug'latish yo'li bilan olingan yupqa pardalarda bo'ylama va ko'ndalang yo'nalishda, qo'shni sohalar orasidagi keskin bir jinsli emasliklar keltirib chiqargan potentsial to'siqlar, zaryad tashuvchilar almashinuvini qiyinlashtiradi. Kristallitlarning bo'ylama zanjirining shakllanishida, ketma-ket qatordagi kristallitlararo sohalar ko'payadi va pardaning bo'ylama yo'nalishidagi qarshiligini keskin orttiradi. Ko'ndalang yo'nalishdagi zanjirdagi bir jinsli emasliklarni, xalkogenid yarimo'tkazgich moddasidagi har xil uchuvchanlikka ega bo'lgan atomlar (molekulalar) hosil qiladi. Biroq ko'ndalang bir jinsli emasliklar zanjiridagi sohalar geteroo'tishlar tabiatida bo'lib, ularning soni sanoqli bo'ladi. Shu sababli bu yo'nalishning qarshiligi nisbatan (bo'ylama qarshilik yo'nalishi bilan qiyoslanganda) katta emas ($R_b \gg R_k$).

Katta uchish tezliklarida, kristallitlar zanjirlaridagi alohida elementar kristallitlar o'lchami kichiklashadi. Uchish tezligi va taglik haroratining aniq bir qiymatlari uchun kristallitlar o'lchami, parda qalinligining o'rtacha qiymatlari bilan bog'liq. Taglikka qiyalatib bug'latish yo'li bilan olingan qatlamda, sirtidan har xil chuqurlikda joylashgan p-n va n-p o'tishlar hosil bo'ladi. Bu o'tishlarning asimmetrik yoritilganligi tufayli p-n va n-p o'tishlardagi elementar ($U = kT/q$) fotokuchlanishlar bir-birini kompensatsiyalamaydi. Shu sababli anomal yuqori fotokuchlanish (~ 10000 V/sm) hosil bo'ladi.

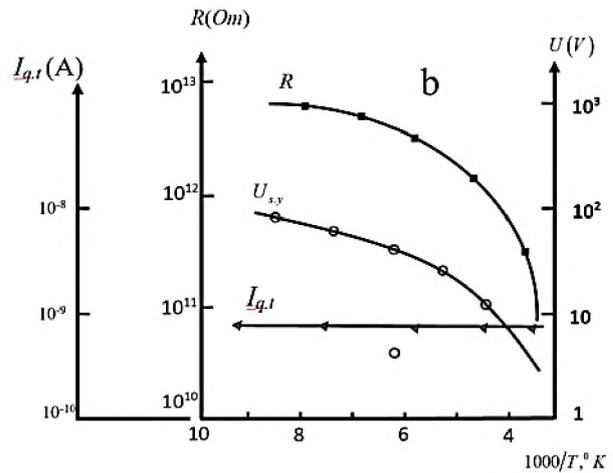
CdTe va Sb_2Se_3 lardan tayyorlangan AFK – qatlamlar bir necha ming mikroskopik p-n o'tishlardan tashkil topgan (qatlamning 1 sm uzunligiga 10^5 p-n o'tish mos keladi). Shu sababli bu qatlamlardagi fotomagnet kuchlanish ham anomal yuqori qiymat berishi mumkin.

AFK-qatlamlarda hodisa tabiati fotodiffuzion xarakterda bo'lib, buni $U_{AFK}(\varphi)$ bog'lanish grafigidagi ishoraning o'zgarishidan bilib olish mumkin. AFK–qatlamning p-n va n-p o'tishlardan va fotoo'tkazuvchan hajmdan iborat fizik modelini ekvivalent sxema (2-rasm) bilan almashtirilsa, AFK–qatlamlarning VAX analitik ifodasini topishga imkon tug'iladi. Bu ekvivalent sxemani tuzishda Prins–Kummerovalarning fotodiodlar umumlashgan modeli asos qilib olindi. Bunday ekvivalent sxema uchun quyidagi tenglamalar sistemasini yozish mumkin:

$$\left. \begin{aligned} U &= (I_1 R_1 + U_1) - (I_2 R_2 + U_2), \\ U_{1,2} &= N \frac{kT}{2q} \ln \left(\frac{I_{per.1,2}}{I_{S.1,2}} + 1 \right), \\ I_1 &= I + I_{F_1} - I_{sh}, \quad I_{F_1} = \alpha_1 B, \quad I_{sh} = \frac{U}{R_{sh}}, \\ I_2 &= I_{F_2} + I_{sh} + \alpha I_1 - I, \quad I_{F_2} = \alpha_2 B \end{aligned} \right\} \quad (1)$$



2 – rasm. AFK qatlamlarining ekvivalent sxemasi



3-rasm. CdTe AFK-qatlamlardagi U_{AFK} , $I_{q,t}$ va R larning temperaturaviy bog‘lanishlari.

Lekin shuni alohida ta’kidlash kerakki, AFK-qatlam fizik modelini taqdim etib, uning uchun analitik ifoda topishda, tanlangan muqobil elektr sxemasida AFK–effektning o‘ziga xos tomonlari, eksperimental va nazariy tadqiqotlardan olingan juda ko‘p sondagi natijalar hisobga olingan. AFK–effektni juda ko‘p yarimo‘tkazgich moddalarning yupqa qatlamlarida o‘rganish natijasida shu narsa ayon bo‘ldiki, yupqa fotosezgir yarimo‘tkazgich qatlamlar hajmining ko‘p qismini fotovoltaik jihatdan aktiv bo‘lmagan qatlam tashkil qilargan.

Temperaturaga bog‘liq o‘lchashlarda asosan $U_{AFK}(T)$, $I_{q,t}(T)$ va $R(T)$ xarakteristikalar tekshirildi. Namunalar havosi 10^{-2} mm.sim.ust. gacha siyraklashtirilgan maxsus kamera (kriostat) larga joylashtirildi. Maxsus kamerada namunaga turli miqdordagi temperatura va yorug‘lik berish imkoniyati bor.

3–rasmda o‘lchash natijalari CdTe AFK-qatlamlari uchun keltirilgan. Rasmdagi $I_{q,t}(T)$ xarakteristikadan ko‘rinadiki CdTe qatlamlaridagi qisqa tutashuv toki temperaturaga qariyb bog‘liq emas ekan. Qatlamda hosil bo‘layotgan fotokuchlanish bilan qatlam qarshiligining temperaturaga bog‘lanishi bir – biriga juda o‘xshaydi.

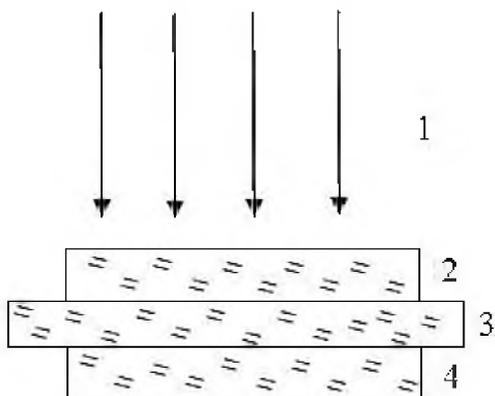
Sb_2Se_3 AFK–qatlamlaridagi temperaturaviy bog‘lanishlar xarakteri kadmiy telluridagiga o‘xshab ketadi.

AFK–qatlamning lyuks–volt xarakteristikalarini tekshirish jarayonida shu narsa ma’lum bo‘ldiki, ba’zi AFK–qatlamlarning lyuks–volt xarakteristikalari koordinata boshidan o‘tmaydi. Bu qatlamlarda 0,1–0,5 V dastlabki kuchlanish borligi ma’lum bo‘ldi. Qorong‘ida shu namunalarni kontaktlarini ochiq saqlab, bir yildan ortiq ushlanganda ham bu kuchlanish o‘zgarishsiz qolgan. Vakuumda bu qatlamlarni $100^{\circ}C$ gacha qizdirilganda ham bu kuchlanish yo‘qolmagan. Bu elektr kuchlanish qatlamni qiya holda o‘tqazish jarayonida qutblovchi maydonsiz vujudga keladi. Bu elektr kuchlanish ishorasi qatlamda vujudga kelayotgan U_{AFK} bilan mos kelishi ham, unga qarama-qarshi ham bo‘lishi mumkin. Ba’zi qatlamlarda $U_{AFK}=0$ bo‘lishiga qaramay U_{el} noldan farqli bo‘ladi.

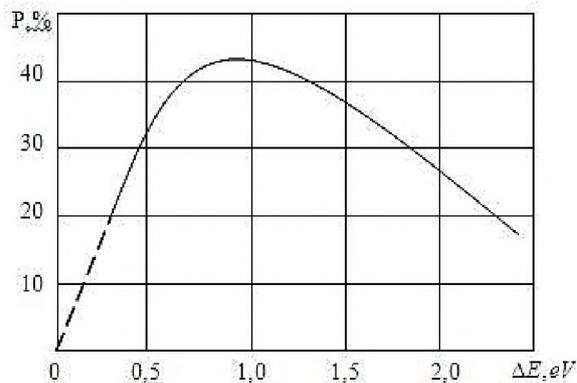
Olingan fotoelektret qatlam o'lchov asbobiga ulandi. So'ng intensivligi taxminan $8 \cdot 10^{-2}$ Vt/sm² bo'lgan yorug'lik bilan bir necha minut davomida yoritilib turilishi natijasida 1 sm uzunlikda 500 V ga yaqin AFK hosil bo'ldi. Yoritishni to'xtatgandan so'ng bir necha sekund AFK – qatlam elektrodleri (uchlari) qisqa tutashtirilib turiladi va AFK ning tamoman yo'qolishiga erishiladi. Undan so'ng qatlam yana o'lchov asbobiga ulanadi. Asbob fotoelektret holatga to'g'ri keluvchi qoldiq kuchlanishni qayd qiladi. Fotoelektret holat kuchlanishi sekin-asta ortib, 2-3 minut vaqt oralig'ida to'yinish qiymatiga erishadi. Bunda o'lgangan fotoelektret kuchlanish 90-100V ga etgan. Bunday fotoelektretlardan optoelektronikada boshqariluvchi xotira elementlarida foydalanish mumkin. Shunday uch qatlamli fotoelektret yupqa parda–taglik katta qarshilikli yarimo'tkazgich kristalli ko'rinishida yig'ildi (4–rasm).

Dissertatsiyaning «Yarimo'tkazgich yupqa pardalar optoelektrik xususiyatlariga strukturaning ta'siri» deb nomlangan uchinchi bobida anomal fotokuchlanish hosil bo'lishini ta'minlovchi, yarimo'tkazgich yupqa pardalar strukturasi bir jinsli emasliklarning hosil bo'lishining texnologik va fizikaviy asoslari ko'rsatib o'tilgan. Shuningdek optoelektron juftliklar asosida ishlaydigan qurilmalarning samaradorligini ta'minlaydigan fizikaviy omillar keltirilgan. Optoelektrik parametrlarning temperaturaviy o'zgarishlari va spektral xarakteristikalarini tadqiqot natijalari yoritilib, ular asosida bir jinsli emaslikdan foydalanib fotoelektron qurilmalar yasash imkoniyatlari ochib berilgan.

Materiallarning bir jinsli emaslik darajasini bilish nafaqat AFK elementlarini ishlab chiqarishda, balki turli yarimo'tkazgich qurilmalarini ishlab chiqarishda, shuningdek, materiallarning o'zini xususiyatlarini o'rganishda ham juda muhimdir. Polikristall yupqa pardalarning xususiyatlari to'liq bir jinsli emaslik darajasi bilan aniqlanadi.



4-rasm. Uch qatlamli fotoelektret yupqa parda (1–yorug'lik oqimi, 2–kadmiy bilan boyitilgan kadmiy tellurid AFK-yupqa pardasi, 3–dielektrik qatlam, 4–katta qarshilikli yarimo'tkazgich kristalli).



5-rasm. Quyosh nurlanish energiyasining elektron-teshik juftlarini hosil qilish effektivligini yarimo'tkazgichning ta'qiqlangan zona kengligiga bog'liqligi.

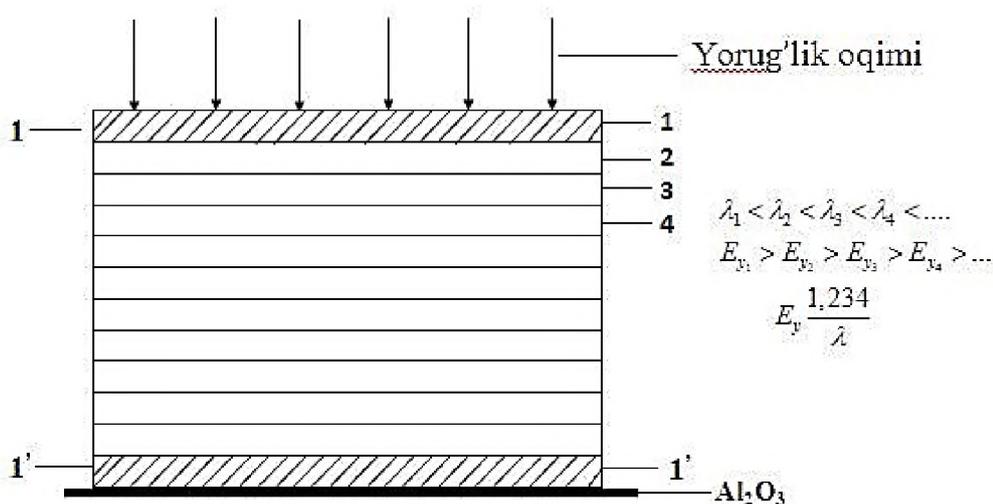
Fotoelement unga tushayotgan yorug'likning bir qisminigina elektr energiyasiga aylantiradi. Chunki, yorug'likning yarimo'tkazgichdan qaytishi, undan o'tib ketishi va yutilgan lekin, elektron teshik jufti hosil qilmagan tashkil etuvchilari bilan bog'liq yorug'lik energiyasining yo'qotishlari mavjud. Bundan tashqari yarimo'tkazgichning

turi bilan bog‘liq energiya yo‘qotishlari ham bor. Bunda elektron-teshik juftini generatsiya qiluvchi yorug‘likning energiyasi va fotoelement foydali ish koeffitsiyentining yarimo‘tkazgich ta‘qiqlangan zonasi kengligi bilan bog‘liqligini hisobga olish kerak (5- rasm).

Optoelektron qurilmaning samaradorli yuqoridagilar bilan bir qatorda, elementar optron elementlari (yorug‘lik manbasi va uning iste‘molchisi) orasidagi optik foton vositasidagi bog‘lanishlardagi yorug‘lik signallarining kam yo‘qotishlar bilan buzilmay foto qabul qilgichga etib kelishi bilan bog‘liq. Mikroelektron tizimda bu muammoni ham tolali optika vositasida amalga oshirish mumkin.

Tekshirilgan materiallarga xos tipik temperaturaviy eksperimental bog‘lanishlar ko‘rsatadiki, AFK-elementlardagi ishlatilgan yupqa pardalarning anomal fotokuchlanishi va parda qarshiligi temperatura ortishi bilan dastlab sekin ($\sim 50^{\circ}\text{C}$ dan boshlab), temperaturaning keyingi o‘shishlarida keskin kamayadi. Temperaturaviy eksperiment natijalari ko‘rsatishicha AFK-elementlarda o‘ta yuqori (dielektriksimon) qarshilikning kuzatilishi ularga xos tipik xususiyat hisoblanib, AFK-effekt shu sababli faqat o‘ta yuqori qarshilikli ($R > 10^{10}\text{Om}$) namunalardagina kuzatildi.

Yarimo‘tkazgich bilan yorug‘likning ta‘siridagi monoxromatik selektivlikka asoslanib, har xil ta‘qiqlangan zonali yarimo‘tkazgichlardan iborat ko‘ndalang ko‘p qatlamli geteroo‘tishli elementlardan (GFE) iborat batareya yaratish mumkin. Ko‘p qatlamli GFE lar tizimini amalda ro‘yobga chiqarish (yasash) uchun namuna sifatida quyidagi yarimo‘tkazgichlar xalkogenid qatorini tanlash mumkin: ZnS, CdS, CdSe, CdTe yoki PbTe, PbSe, PbS. Qatlamlarning monoxromatik selektivlikka va qatlam yarimo‘tkazgich ta‘qiqlangan zona kengligiga mos joylashuvi 6-rasmda ifodalangan.



6-rasm. Ko‘p qatlamli GFElar batareyasi.

Optik nurlar sohasidagi ($5 \cdot 10^{-4} - 10^{-9}$ m, $6 \cdot 10^{11} - 3 \cdot 10^{17}$ Gts) yorug‘lik oqimi shaffof metall elektrod orqali (1) ta‘qiqlangan zonasi keng (2) yarimo‘tkazgich qatlamiga tushadi. Unga spektral mos keluvchi qisqa to‘lqinli nurlar (λ_1) yutilib, qolgan nisbatan uzunroq to‘lqinli ($\lambda_2, \lambda_3, \lambda_4 \dots$) nurlar navbatdagi qatlamga (3) o‘tadi. Shu tariqa yorug‘lik to‘lqinlarining monoxromatik seleksiyasi sodir bo‘ladi. Buning natijasida yorug‘lik oqimining spektridagi ($\sim I_0$) ko‘proq nurlarning fotoelektrik jarayonda

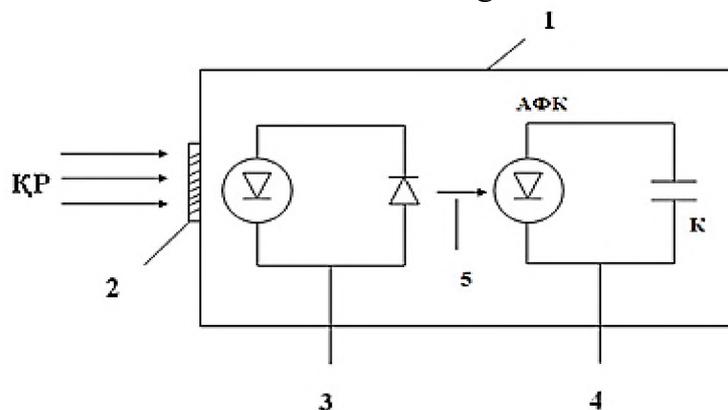
ishtiroki ta'minlanadi. Hozirgacha ko'p qatlamli fotoelementdagi qatlamlarning optimal sonini aniqlashning nazariy usuli ilmiy jihatdan asoslanmagan, lekin 3-4 qatlamli fotoelementlar modeli uchun kuchlanishning maksimal qiymatini ($E_m=U$) va qisqa tutashuv tokini ($I_{q.t.}$) hisoblab topilgan, ular mos ravishda $U_{e_m} = 2,25 \div 3V$; $I_{q.t.} = 40 - 45 \text{ mA/sm}^2$. Bunday fotoelement uchun F.I.K. 36,4 % ga etadi.

«Polikristall yupqa pardalarni optoelektron qurilmalar yaratishda qo'llanilishi» nomli yakuniy to'rtinchi bobda AFKli optronlarni optoelektronikaning ma'lum sohasida ishlatishga tavsiya qilinadigan asosiy kattaliklari, ya'ni tezkorligi, chiqish kuchlanishi kabilar, ko'p jihatdan yorug'lik diodiga va AFK-qatlam imkoniyatlariga bog'liqligi aniqlangan. Optoelektron sxemalarda keng qo'llanilayotgan yorug'lik diodlarining impulsli rejimda nurlanish quvvatini o'lchash natijalari, tayyor optronlarni tekshirish, sinash usullarini bayon qilingan.

Optoelektron qurilmalarning optronlariga quyosh radiatsiyasi spektral tarkibidagi nurlardan ultrabinafsha (300÷400 nm) qismi FQQ larga ionlashtiruvchi ta'sir ko'rsatib uning muhim parametrlarini o'zgartirib yuboradi. Bu holatni baholash uchun geliiopto qurilmalarda foydalaniladigan fotogenerator va AFK–FQQ larning yupqa parda namunalari ultra binafsha nurlar intensivligi yuqori bo'lgan muhitda (baland tog' sharoitda) tadqiq qilindi. Ultra binafsha nurlarining (UBN) ta'sirida CdTe yupqa pardalarida AFK – effekt kuzatilmadi. Ammo AFK pardalar oq yorug'lik bilan yoritilib, unga bir vaqtning o'zida UBN ta'sir etilgan holatda fotokuchlanishning keskin kamayishi kuzatildi. Bu o'zgarish UBN ning intensivligiga bog'liq holda vujudga keladi. AFK yupqa pardalarining qarshiligi ham fotokuchlanishga monand ravishda kamaygan.

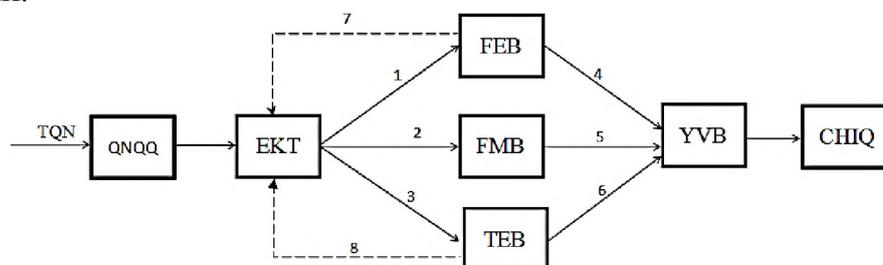
Quyosh radiatsiyasining issiqlik ta'sirini baholash maqsadida foto qabul qilgichlarning yupqa pardali namunalari havoda har xil gazlar muhitida va vakuumda qizdirib tekshirildi. Tekshirilgan (CdTe, Sb₂Se₃, PbS, PbSe) hamma namunalarda qizdirish natijasida fotokuchlanishning keskin kamayishi kuzatilgan (30°C, 50°C da 3 soat qizdirilgan).

Optoelektron qurilmalarga quyosh radiatsiyasining ultrabinafsha va issiqlik ta'sirlarining salbiy oqibatlarini minimallashtirish maqsadida, maxsus optoelektron tizim taklif etilmoqda, u optoelektron geliotexnik qurilmalarining samaradorligini ta'minlaydi. Uning blok sxemasi 7 - rasmda keltirilgan.



7-rasm. Maxsus optoelektron tizim. QE – Quyosh elementi, YD – yorug'lik diodi, AFK – anomal kuchlanish hosil qiluvchi element, K – dielektrik yuklama.

Geliooptron sifatida taklif qilinayotgan qurilma katta elektrostatik maydonlarni quyosh yorug‘ligi energiyasini elektr energiyasiga aylantirish orqali amalga oshirishga mo‘ljallangan. Qurilma bir vaqtning o‘zida quyosh nurining yorug‘lik, issiqlik, magnit nurlanishlaridan elektr maydoni olish imkonini beradi. 8 - rasmda universal, masofaviy boshqariladigan geliooptronning blok-sxemasi keltirilgan. Blok-sxemaga optoelektron va elektron zanjirlari yordamida fotoelektr, fotomagnit va termoelektrik bloklar joylashtirilgan.



8-rasm. Geliooptronning blok-sxemasi. 1,2,3 – optoelektron zanjirlar, 4,5,6 – elektron zanjirlar, 7,8 – qayta aloqa elektr konturlari, TQN – Tabiiy quyosh nuri. QNQQ – Quyosh nurini qabul qilgich. EKT – elektron kommutatsiya tizimi, FEB – fotoelektr bloki, FMB – fotomagnitoelektrik blok, TEB – termoelektrik blok, YVB – geliooptronning yuqori voltli blok, ChIQ – chiqish ishchi qurilmasi.

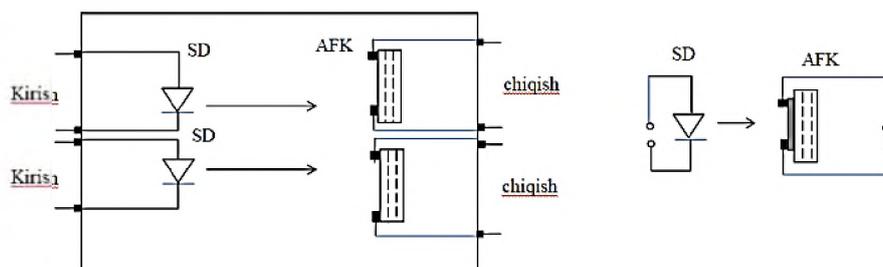
Quyoshdan kelayotgan yorug‘lik oqimi (TQN) nurni qabul qilgich (QNQQ)ga tushadi. Fotoelektrik konsentrator yordamida yuqori konsentratsiyalangan quyosh nurlanishi hosil qilinadi. Konsentratsiyalangan yorug‘lik oqimi elektron kommutatsiya tizimiga (EKB) uzatiladi va geliooptronning ishlash rejimi aniqlanadi. Agar qurilma fotovoltaik rejimda ishlashi zarur bo‘lsa, yorug‘lik oqimi optik kanal orqali fotoelektrik blokga yo‘naltiriladi. Fotoelektrik blok yupqa pardali yassi parallel geterofotoelementlardan tuzilgan bo‘ladi. U erda foto EYuK hosil bo‘ladi.

Agar termoelektrik rejim tanlansa berilgan issiqlik oqimi (3-kanal orqali) natijasida TEBda termo EYuK hosil bo‘ladi. Termoelektrik blok yupqa pardali termoelementlardan tashkil topgan. Tushayotgan yorug‘lik oqimi zichligini ortishi bilan o‘zgartirgich bloklardan (FEB, FMB va TEB) chiqish kuchlanishi ortadi.

Geliooptronning 1;2;3 optoelektron zanjirlarida asosiy energiya tashuvchilari bo‘lib quyosh nuri fotonlari hisoblanadi. Geliooptronning elektr konturlari (4,5,6) da energiya tashuvchilari elektronlar hisoblanadi. Geliooptron qurilmasining ishlash rejimi va alohida qismlari ishlashining mosligini nazorat qilish uchun maxsus qayta aloqa (7,8) elektr konturlari xizmat qiladi. Zarur hollarda elektr qayta aloqa konturini optoelektron konturga almashtirish mumkin.

Elektro energetik blokda (FEB, FMB, TEB) hosil bo‘lgan EYuK elektr konturlari orqali geliooptronning yuqori voltli bloki (YVB) ga beriladi. Qurilmaning YVB qismi yupqa pardali elementar maxsus optronlardan tashkil topgan (8-rasm).

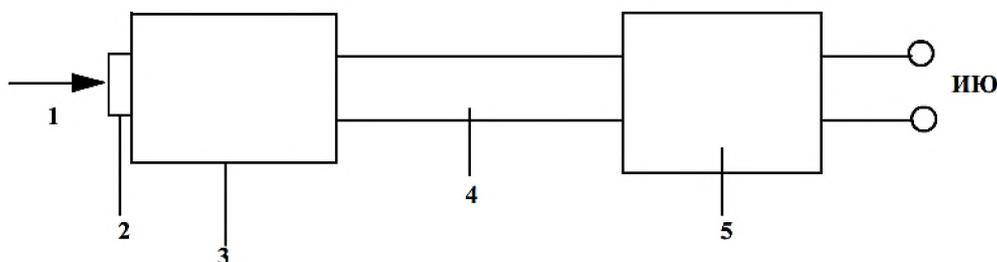
Mikro maxsus optotransformatorlarda SD va AFK yupqa parda uchun alohida tashqi energiya manbai talab qilinmaydi. SDga kuchlanish birlamchi foto qabul qilgich (quyosh elementi) hosil qilgan elektr energiyasi orqali beriladi (9-rasm).



9 - rasm. Yupqa pardali elementar mikro maxsus optronning variantlaridan biri. SD-svetodiod, AFK-generator tipidagi foto qabul qilgich.

Optotransformatorlar yordamida tabiiy tashqi ta'sirlar vositasida kuchli elektr maydoni olish, ularni MDYa-tranzistorlar bilan birga turli sohalarida ishlatish mumkin. Optotransformator vositasida ishlovchi optoelektron qurilmalarning barchasida maxsus tashqi elektr manbasiga ehtiyoj yo'q. Ular tabiiy tashqi ta'sirlardan foydalanib, mustaqil ishlay oladi. Samarador, energiya tejamkor optoelektron qurilma hisoblanadi.

Elektr manbasi generator tipidagi FQQ bo'lib, u nurlanish manbasini elektr kuchlanishi bilan ta'minlaydi. ELYa elektr ta'minotli foton generatoridir (10-rasm).



10-rasm. 1-tabiiy tashqi yorug'lik, 2-parallel nurlar dastasi hosil qiluvchi qurilma optik-sistema, 3-tabiiy yorug'likning parallel dastasidan uning issiqlik ta'sirini yo'qotish amalga oshiriladi, undan chiqqan nur generator tipidagi foto qabul qilgichga tushsa uni qizitmaydi. 4-issiqlik ta'siridan tozalangan nurni chiqish blokiga uzatuvchi shisha tolali optik nur uzatgich (ShTONU), 5-optotransformatorning yuqori kuchlanishli bloki.

Yoritgichdan (ELYa) chiqqan nurlanish ikkilamchi konturning generator tipidagi foto qabul qilgichiga eng kam yo'qotishlar bilan etib kelishi uchun maxsus shisha tolali nur uzatgich ishlatiladi. Shisha tolali nur uzatgichning yuqori samarador bo'lishini ta'minlash uchun, tayyorlashda ELYa va ikkilamchi konturdagi generator tipidagi FQQda ishlatilgan yarimo'tkazgich materialning nur sindirish ko'rsatgichlari bir-biriga yaqin qilib tanlanishi kerak. Bu maqsadda shisha tolali nur uzatgichlarda qo'rg'oshinli maxsus shishalardan ($n=1.8\div 1.9$) va selenli shishalardan ($n=2.4\div 2.6$) foydalanish mumkin.

Generator tipidagi foto qabul qilgich asosida yuqori aniqlikli bir moddaning boshqa modda tarkibidagi miqdorini aniqlash uchun qurilma va yarim shaffof suyuqliklarning rang analizatorini yaratildi.

XULOSALAR

1. Tabiiy tashqi ta'sirlar (masalan, quyosh yorug'ligi) va muqobil energiya manbalari vositasida elektr maydoni hosil qiluvchi va uni kuchaytirib yetarli darajada

katta elektr maydoniga aylantiruvchi elektron va foton bog‘lanishli murakkab gibrid optoelektron konturlar tizimini yaratishning ilmiy, texnikaviy asoslari ko‘rsatildi;

2. Generator tipidagi foto qabul qilgich polikristall yarimo‘tkazgich yupqa pardalari yuqori darajadagi qarshilik anizotropiyasiga, tarkib va tuzilishida klaster tipidagi segregatsiya xususiyatini namoyon qiladigan bir jinsli bo‘lmagan tizimlardan iborat ekanligi isbotlandi;

3. Foto qabul qilgich yupqa pardalaridagi mikro kristalchalar qatorining kristalchalararo chegara sohalarda (bu sohalar etarli ko‘p bo‘lib, taqriban 1sm uzunlikda 10^5 dona va unda ko‘p) yarimo‘tkazgich – dielektrik – yarimo‘tkazgich (YaDYa) yacheykalari mavjud bo‘lib, YaDYadagi dielektrik potentsial to‘siq (p – n – o‘tish kabi) ni hosil qilishi asosida AFK tabiati tushuntirildi;

4. AFK va AFMK hodisalar faqat bo‘ylama effekt bo‘lib, struktura qarshiligi o‘ta katta bo‘lgan ($> 10^9$ Om) namunalardagina kuzatilishi aniqlangan. Ularni yuqori kuchlanish manbasi sifatida dielektrik yuklamalarga moslashib ishlashi ko‘rsatildi.

5. Quyosh radiatsiyasining yorug‘lik, issiqlik va boshqa ta’sirlaridan birgalikda foydalanib ishlaydigan optoelektron gibrid, ko‘p kanalli, universal mikroelektron, geliooptron yaratishning ilmiy, fizikaviy asoslari aniqlandi.

6. Geliooptronning chiqish elektr signallarini buzmasdan kuchaytira oladigan, yuqori stabil optotransformator loyihasi asoslandi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ PhD.03/30.11.2022.FM/T.66.04 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ НАМАНГАНСКОМ
ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**

ФЕРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЮЛДАШЕВ АБРОР АБДУВАСИТОВИЧ

**РАЗРАБОТКА ФОТОПРИЕМНИКА ГЕНЕРАТОРНОГО ТИПА ДЛЯ
ОПТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА**

01.04.10 – Физика полупроводников

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

Наманган – 2024

Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за № В2022.1.PhD/T2594

Диссертация выполнена в Ферганский государственный университет

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

Научный руководитель: [Найманбаев Рахмонали]
Кандидат физико-математических наук, доцент

Официальные оппоненты: Зайнабидинов Сирожиддин Зайнабидинович
академик АН РУз, доктор физико – математических наук, профессор

Колдашов Оббожон Хокимович
доктор технических наук, профессор

Ведущая организация: Термезский государственный университет

Защита диссертации состоится « 21 » 09 2024 года в 12⁰⁰ часов на заседании Научного совета PhD.03/30.11.2022 FM/T.66.04 при Наманганском инженерно - технологическом институте по адресу: 160115, г Наманган, ул Касансайская 7, Административное здание Наманганского инженерно – технологического института, 3-здания, 2-этаж, малый зал совещаний, Тел./факс. (99869) 225-10-07; (99869) 225-76-75, e-mail: niei_info@edu.uz.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Наманганского инженерно – технологического института (зарегистрирована за № 307) по адресу: 160115, г Наманган, ул. Касансайская -7, Тел./факс: (99869) 225-10-07, (99869) 225-76-75.

Автореферат диссертации разослан « 9 » 09 2024 г.
(протокол рассылки № 15 от « 9 » 09 2024 г.)



У.Н. Эркабоев,

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

А. А. Абдукаримов,

ученый секретарь Научного совета
по присуждению ученых степеней, PhD, доцент

Н. Ю. Шарибаяв,

Председатель научного семинара
при Научном совете по присуждению
ученых степеней, д.ф-м.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии(PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. Во всем мире особое внимание уделяется созданию техники и технологий, работающих на основе альтернативных источников энергии и создающих энергосберегающее электростатическое поле. В настоящее время в развитых странах одним из основных направлений является получение высокоэффективных преобразователей энергии на основе полупроводниковых материалов и создание устройств на их основе. Создание электростатического поля с использованием светового и теплового воздействия солнечного излучения оптоэлектронным методом и использование его в народном хозяйстве для создания экологически чистых и малозатратных технологий. В связи с этим, в том числе повышение эффективности полупроводниковых фотоэлектрических преобразователей энергии, обеспечение эффективного поглощения светового потока, падающего на поверхность фотопреобразователя, уменьшение поверхностной и объемной рекомбинации фотогенерированных носителей заряда, получение перспективных новых фотоэлектрических структур для высокоэффективной энергетики. устройствах особое внимание уделяется изучению их электрофизических свойств и исследованию уникальных возможностей использования фотоэлектрических источников энергии.

Ученые ведущих научно-исследовательских центров мира проводят научные исследования по созданию высокоэффективных, компактных энергопреобразующих устройств и устройств из полупроводниковых моно- и поликристаллов. В этом направлении, хотя современная микроэлектроника в основном ограничивается элементами на основе кремниевых полупроводниковых материалов, исследования по их широкому использованию в микрофотоэлектронике считаются приоритетными. При этом использование подходящего полупроводникового материала для каждой части спектрального поля, в некоторых случаях применяется несколько в зависимости от области применения, то есть технических требований и условий эксплуатации фотоприемника. В связи с этим актуальной задачей считается проведение целевых исследований, в частности проведение исследований в области физики тонких пленок, тонкопленочной микроэлектроники, создания оптоэлектронных устройств и других направлений.

В нашей республике широко проводятся научные исследования, направленные на создание перспективных направлений, в частности энергосберегающих фотоэлементов, фотогенераторов, термогенераторов, оптоэлектронных устройств, работающих на основе альтернативных источников энергии. 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”¹. Исхода 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.

Данная диссертация служит выполнению задач прописанные в указах Президента Республики Узбекистан №УП-60 от 28.01.2022 года «О стратегии Узбекистан на 2022-2026 годах», №УП-4422 от 22.01.2019. «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии» и №УП-4779 от 10.07.2020. «О дополнительных мерах по сокращению зависимости отраслей экономики от топливно-энергетической продукции путем повышения энергоэффективности экономики и задействования имеющихся ресурсов», и другими нормативными актами РУз.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан III “ Развитие энергетики, энерго и ресурсосбережение, транспорт, машиностроение и приборостроение; современная электроника, микроэлектроника, электронного приборостроения”.

Степень изученности проблемы. В настоящее время оптоэлектронные приборы и системы широко применяется при решение широкого круга задач в различных отраслях народного хозяйства. В проектировании оптоэлектронных приборов и систем основной проблемой является выбор приемников оптического излучения, которые считается их основной частью. Интерес к изучению полупроводников и полупроводниковых приборов, в том числе физических процессов в неоднородных структурах возрос с момента создания первых диодов на основе p-n переходов.

К таким структурам относятся полупроводниковые поликристаллические материалы и проводились научные исследования по изучению физических процессов, разработка различных микроэлектронных элементов и устройств ведущими мировыми учеными как Р. Розенхайманом, К. Харгривзом, Б. М. Гольцманом, В. И. Стафеевым и др. Случаи, связанные с поверхностным потенциалом в области межкристаллитной границы в поликристаллической микроструктуре, изучались В.М.Джонсоном, В.К.Шубердом, В.Иглессиясом.

В Узбекистане в этой области проведены научные исследования многими учеными, в научных школах известных академиков Р.А.Муминова, А.Т.Мамадалимова, С.З.Зайнабидинова проводится перспективные исследования в области физики и техники полупроводников. Также хорошие результаты в области усовершенствования технологии получения полупроводниковых пленок, исследование фотоэлектрических, термоэлектрических, тензоэлектрических и других явлений, изучение областей

¹ Указ Президента Республики Узбекистан от 11 сентября 2023 года № УП-158 о стратегии «Узбекистан – 2030»

их применения и получение высокоэффективных элементов, также разработке устройств, получены профессорами Х.С.Далиевым, Ш.Б.Утамурадовой, Н.Ш.Зикриллаевым, Р.Я.Расуловым, Б.Н.Рахимовым, О.Х.Кулдашов, Р.Алиевым, А.Касимохуновой, С.М.Отажоновым и К.Э.Онаркуловым. В настоящее время разрабатывается научно-техническая и технологическая база их использования при создании микрооптоэлектронных устройств.

Однако получение тонких пленок CdTe, CdS из халькогенидных полупроводниковых материалов, исследование вольт-амперных характеристик тонких халькогенидных полупроводниковых пленок, фототермоэлектрические явления, выражающие эффекты, связанные с фотомагнитоэлектричеством, модуляцией интенсивности света и поляризованного света в тонких халькогенидных полупроводниковых пленках, генераторо- тип фотоприема оптического поля спектра Разработка генератора и создание оптоэлектронного устройства имеют важное научное и практическое значение.

Связь темы диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего учебного заведения, где выполнена диссертация. Диссертационная работа выполнено в рамках научных исследований Ферганского государственного университета, в частности ИТД-12-56 «Изготовление термоэлектрических материалов из полупроводников» в 2012-2014 годы.

Целью исследования является: создание фотоэлектрических явлений, наблюдаемых в чувствительных тонких полупроводниковых пленках в оптическом поле излучения, и создание на их основе устройств альтернативных источников энергии, работающих в автономном режиме.

Задачи исследования:

совершенствование техники и технологии получения тонких полупроводниковых пленок с высокой фотовольтаической чувствительностью в оптической области спектра светового излучения;

определение наличия p-n переходов на основе изучения фотоэлектрических, фотомагнитоэлектрических явлений в неоднородных халькогенидных (CdSe, CdS, CdTe) тонких полупроводниковых пленках;

разработка научно-технических основ создания автономно работающих фотоприемников генераторного типа, с применением неоднородных халькогенидных тонких полупроводниковых плёнок;

разработка и исследование «элементарного оптрона», способного работать с открытым каналом при прямом подключении для оптического спектрального диапазона;

разработка униполярного оптоэлектронного трансформатора, имеющего гальванически развязанные элементы, автономным питанием за счет альтернативных источников энергии с использованием «элементарного оптрона».

Объектом исследования выбраны неоднородные тонкие пленки полупроводниковых материалов CdSe, CdTe и CdS чувствительные в оптической области излучения.

Предметом исследования являются установление техники и технологии получения неоднородных полупроводниковых тонких пленок чувствительных в оптической области спектра света, изучение электрофизических, фотоэлектрических, фотомагнитных свойств, создание на их основе фотоприемников генераторного типа.

Методы исследования. Решение задач: Получение полупроводниковых фоточувствительных тонких пленок CdSe, CdS, CdTe методом вакуумного испарения. Определить вольт – амперные характеристики полученных тонких пленок вольтметр типа С20, спектральные характеристики и изучить фотоэлектрические параметры использовался комплекс измерительных приборов спектрофотометра СФД-2.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

впервые определена, что аномальные фотонапряжения наблюдаются в тонких поликристаллических пленках со столбчатой структурой в направлении молекулярного потока, полученных на диэлектрические подложки, нагретые около 250°С, установленные под углом в направлении молекулярного потока путем термического испарения полупроводникового материала (CdSe, CdS, CdTe);

в гетерогенных полупроводниках (CdSe, CdS, CdTe) были разработаны полупроводники n-типа (фотоприемники) с помощью генератора, способного подавать на тонкие пленки слабое световое напряжение 10-20 кВ;

впервые разработано гелиоптронное (фотоприемник) устройство, способное генерировать напряжение более 1000В с использованием теплового, светового и магнитного воздействия солнечного света;

впервые разработан усилитель опотока, состоящий из двух электронных схем и схемы оптопары с одной фотонной связью, работающий на основе тонких полупроводниковых пленок, генерирующих под действием света сильное электрическое поле (АФК - элемент).

Практическая значимость результатов исследований:

усовершенствована технология получения полупроводниковых поликристаллических тонкопленочных элементов, генерирующие электрические и оптические сигналы на основе возобновляемых источников энергий;

показаны возможности получения электростатические и электромагнитные поля с большой амплитудой электрического потенциала от малоамплитудных электрических и оптических сигналов;

обоснована, возможности создания оптоэлектронных устройств с электрон-фотонной связью, работающих с помощью солнечных радиаций, не требующих специальных внешних источников.

Надежность результатов исследования определяется использованием в ходе проведения технических и экспериментальных исследований методологически проверенных, международно-признанных методов, соответствием экспериментальных результатов с теоретическими понятиями и результатами, имеющимися в литературе.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследований заключается в определении, что полупроводниковые пленочные фотоприемники по составу и структуре неоднородные слои, обладающих сегрегационными свойствами кластерного типа и объяснением на этой основе природы АФН.

Практическая значимость результатов исследований заключается в обосновании возможности создания оптоэлектронных устройств, преобразующих малоамплитудных электрических и оптических сигналов в электрические потенциалы большой амплитуды с помощью миниатюрных, высокоэффективных АФН элементов, создающие электрические и оптические сигналы с использованием возобновляемых энергий.

Внедрение результатов исследований: На основе полученных результатов научных исследований по созданию оптоэлектронных устройств, работающих на возобновляемых источниках энергий из полупроводниковых поликристаллических пленок:

В результате исследования аномальных фотоэлектрических и аномальных фотомагнитоэлектрических явлений в тонких пленках поликристаллических полупроводниковых халькогенидов установлено, что поликристаллы являются сверхмногослойными, аномальные фотоэлектрические и аномальные фотомагнитоэлектрические явления представляют собой только продольные эффекты, а сопротивление структуры чрезвычайно велико. ($>10^9$ Ом) по результатам научных исследований, полученных при наблюдении образцов на кафедре «Физика» Наманганского инженерно-строительного института за 2017-2020 годы ОТ-Ф2-71 «О вольт-амперной характеристике деформированный р-п-переход в электромагнитном поле крайне высокой частоты был использован в фундаментальном государственном проекте по исследованию действия света. (Обращение Министерства высшего и среднего специального образования № 3/19-21/02-40 от 21 февраля 2022 года); В результате оптимизирована технология получения фотоэлектрических материалов на основе полупроводниковых частиц и термоэлектрические свойства материалов;

с помощью гибридного гелиоптрона с помощью солнечного излучения получают электрическое поле высокого напряжения. Это электрическое поле используется в системах сортировки молекулярного тока. В частности: в практику совместного предприятия «ФОТОН» внедрены рекомендации, разработанные в системе предварительной очистки руд, в сортировочной установке квантовых групповых устройств, как источника электрического поля, и медицинских приборов, как автономного источника электрического поля. - акционерное общество (АО «Ассоциация «УзЭлТехсаноат», 15 февраля 2022 года, № 04-3/288 от февраля). В результате удалось улучшить электрофизические параметры электротехнических устройств на экспериментальных образцах на ~10%.

Апробация результатов исследования.

Основные результаты диссертации были представлены и обсуждены на 4 международных и 2 республиканских научных конференциях.

Публикации результатов исследований. Результаты исследований по теме диссертации опубликованы в 22 научных работах, из них 12 в научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертационных работ, в том числе 5 статей в зарубежных международных журналах.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертационной работы, включая 39 рисунков и 1 таблицы составляет 118 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы, ее научная новизна и практическая значимость, приводятся положения, вынесенные на защиту, изложены краткое содержание работы.

В первой главе диссертационной работы **«Основные особенности и характеристики фотоприемников»** приведен обзор литературы по теме диссертации. В частности, обоснованы высокие перспективы фотоприемников генераторного типа для оптоэлектронной промышленности, поскольку для такой электронной схемы фотоприемников не требуются специальные источники питания. При этом были проанализированы перспективы использования естественных ресурсов при создании полупроводниковых фотоэлектрических устройств и способы применения и обеспечения их спектральной совместимости, влияние температурных изменений. Описаны технологические особенности получения полупроводниковых тонких пленок, создающих аномальные фотонапряжения. На основе выявленных научных и практических проблем сформулированы цели и задачи диссертационного исследования.

Во второй главе диссертации, под названием **«Техника и технология получения аномальных фотоэлектрических фотоприемников»** описаны особенности техники и технологии получения фотоэлектрических фотоприемников обладающей характерной чертой аномального фото напряжения (влияние типа и температуры подложки, угол осаждения, скорость осаждения, степени вакуума и др. на величину АФН), измерительные приборы электрофизических и оптоэлектрических параметров и результаты измерения.

АФН-пленки в основном получают термическим напылением полупроводникового материала на диэлектрическую основу в вакууме. В этом случае тонкие пленки растут в направлении потока молекулярных пучков и имеют столбчатую структуру. Полученные пленки могут иметь аморфную поликристаллическую структуру в зависимости от технологии получения. Как и при производстве любых тонких полупроводниковых слоев, необходимо найти четкий оптимальный режим пленок АФН-слоев. Для каждого материала экспериментально должны быть подобраны такие параметры, как скорость испарения, температура подложки, давление в рабочем объеме, угол молекулярного потока испаряемого материала на подложку. Осаждение материала испарением на подложку, осуществляется в отдельной камере.

Формирование тонкой пленки в такой камере может осуществляться прямым испарением, дискретным испарением (взрывное испарение), дисперсионным испарением из нескольких источников.

На рис. 1 представлены камера для осаждения полупроводникового материала (а), общий вид пленки (б) и метод последовательного дискретного испарения измельченных порошков разных материалов (д).

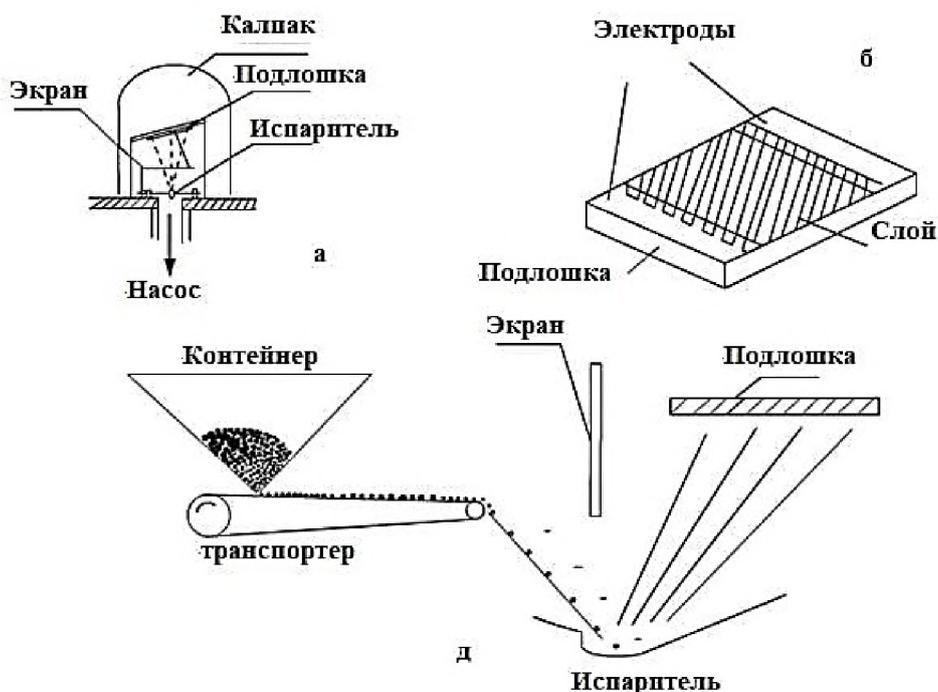


Рис.1. Техника получения тонких пленок.

В тонких пленках полученных анизотропным испарением в продольном и поперечном направлении, потенциальные барьеры за счет создаваемых резкие неоднородностей между соседними областями, затрудняют обмен носителей заряда. При образовании продольной цепочки кристаллитов межкристаллитные области в ряду увеличиваются и резко увеличивают их сопротивление в продольном направлении. В цепочке поперечных направлений неоднородности образуются, атомами (молекулами), обладающими разной летучестью в халкогенидном полупроводниковом материале. Однако, неоднородности в поперечном направлении будут иметь область гетеропереходов, их количество будет незначительной. По этой причине сопротивление этого направления невелико (по сравнению с направлением продольного сопротивления) ($R_{пр} \gg R_{пш}$).

При больших скоростях испарения размер отдельных элементарных кристаллитов в цепочке становится меньше. Средние значения толщины пленки, для определенного значения скорости испарения и температуры подложки, связаны с размерами кристаллитов. В слое, полученном испарением с наклоном к подложке, образуются p-n и n-p переходы, которые расположены на разной глубине от поверхности. Из-за асимметричной освещенности p-n и n-p переходов элементарные ($U = kT/q$) фотонапряжения друг друга не

компенсируют. По этой причине образуется аномально высокое фотонапряжение (~ 10000 В/см).

АФН – слои, изготовленные из CdTe и Sb_2Se_3 , состоят из нескольких тысяч микроскопических р–п переходов (1 см длины слоя подходит до 10^5 р–п перехода). Следовательно, фотомагнитное напряжение в этих слоях также может давать аномально высокое значение.

Природа явления в АФН-слоях носит фотодифузионный характер, об этом можно узнать из изменения знака в соединительном графе $U_{АФН}(\varphi)$. Если физическую модель АФН-слоя, состоящих из р–п и п–р переходов и фотоэлектрических объемов, заменить эквивалентной схемой (рис. 2), можно найти аналитическое выражение ВАХ для АФН-слоев.

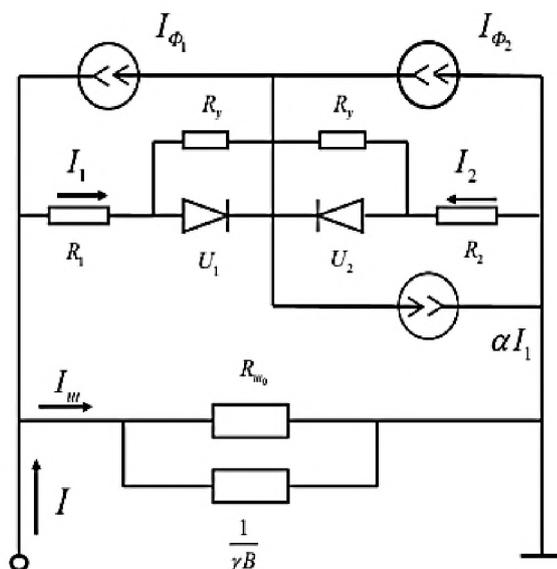


Рис.2. Эквивалентная схема АФН слоев

При составлении этой эквивалентной схемы за основу была взята обобщенная модель фотодиодов Принс–Куммерова. Для такой эквивалентной схемы можно записать следующую систему уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} U = (I_1 R_1 + U_1) - (I_2 R_2 + U_2), \\ U_{1,2} = N \frac{kT}{2q} \ln \left(\frac{I_{nep.1,2}}{I_{S.1,2}} + 1 \right), \\ I_1 = I + I_{\Phi_1} - I_{m_0}, \quad I_{\Phi_1} = \alpha_1 B, \quad I_{m_0} = \frac{U}{R_{m_0}}, \\ I_1 = I_{\Phi_2} + I_{m_0} + \alpha I_1 - I, \quad I_{\Phi_2} = \alpha_2 B \end{array} \right.$$

Но следует также отметить, что при представлении физической модели АФН-слоя и нахождении аналитического выражения для нее в выбранной альтернативной электрической схеме были учтены специфические аспекты АФН-эффекта, множества результатов экспериментальных и теоретических исследований. В результате исследования АФН-эффекта в тонких слоях большого количества полупроводниковых материалов выяснялось, что большую

часть объема тонкой фотоэлектрической пленки занимает фотовольтаически неактивные слои.

При измерениях, связанных с температурой, в основном проверялись $U_{\text{АФК}}(T)$, $I_{\text{к.т}}(T)$ и $R(T)$ характеристики.

Образцы помещали в специальную камеру (криостат) вакуумированную 10^{-2} мм.рт.стб. В специальной камере имеется возможность управлять температурой и освещенностью образца.

На рис. 3 представлены результаты измерений для CdTe АФН-слоев. Из характеристики $I_{\text{кз}}(T)$ в рисунке видно, что для CdTe слоев токи короткого замыкания практически не зависят от температуры. Температурные зависимости фотонапряжения и сопротивление пленки очень похожи друг на друга.

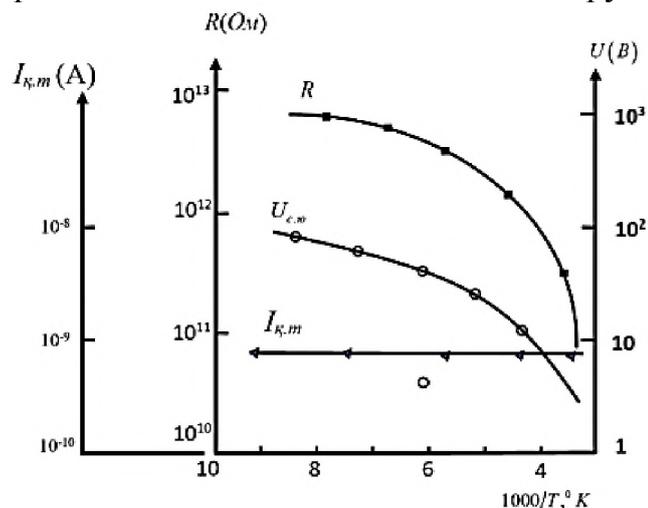


Рис.3. Температурные зависимости $U_{\text{АФН}}$, $I_{\text{к.т}}$ и R CdTe в АФН слоях.

Характер температурных зависимостей в АФН – слоях Sb_2Se_3 аналогичен характеру зависимости теллурида кадмия.

В процессе изучения люкс–вольтовых характеристик АФН–пленок выяснилось, что люкс–вольтовые характеристики некоторых АФН–пленок не проходят через начало координат. Выявлено, что в этих пленках существует начальное напряжение 0,1 – 0,5 В. При открытом сохранение контактов в темноте одних и тех же образцов, эти напряжения оставались неизменными. При нагревание пленок до $100^\circ C$ в вакууме эти напряжения не исчезали. Это электретное напряжение возникает без поляризующего поля в процессе осаждения пленки под углом. Знак этого электретного напряжения может совпадать с возникающим $U_{\text{АФН}}$, а может быть и напротив. В некоторых пленках несмотря на то, что $U_{\text{АФН}}=0$, $U_{\text{эл}}$ будет отличаться от нуля.

Полученная фотоэлектретная пленка присоединялся к измерительному прибору. Затем в результате освещения несколько минут светом с интенсивностью примерно $8 \cdot 10^{-2}$ Вт/см², появлялся АФН близким к напряжению 500 В на длину около 1 см. После прекращения освещения несколько секунд электроды (концы) АФН пленок замыкаются коротким замыканием, и достигается полное исчезновение АФН. После этого слои опять соединяются к измерительному прибору. Прибор регистрирует остаточное напряжение,

соответствующее фотоэлектрическому состоянию. Напряжение фотоэлектрического состояния постепенно увеличивается, достигая значения насыщения в интервале времени 2-3 минуты. В этом случае фотоэлектрическое напряжение достигает 90-100В. Такие фотоэлектрические элементы могут быть использованы в управляемых оптоэлектронных элементах памяти.

Такая трехслойная фотоэлектрическая тонкая пленка-диэлектрический слой-высокоомной полупроводниковый кристалл собирается в виде приведенной на рис.4.

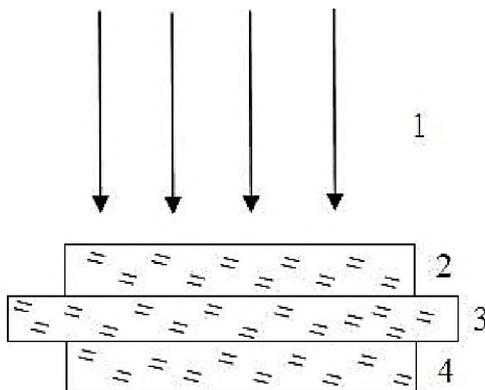


Рис.4. Трёхслойная фотоэлектрическая тонкая пленка (1-поток излучения, 2-тонкая АФК-пленка, обогащенная кадмием теллуром, 3-диэлектрический слой, 4-полупроводниковый слой с большим сопротивлением).

Во третьей главе диссертации, под названием «Влияние структуры на оптоэлектрические свойства полупроводниковых тонких пленок» приведены технологические и физические основы формирования неоднородностей в структурах полупроводниковых тонких пленок, обеспечивающие формирование аномальных фотонапряжений. Также приводятся физические факторы, обеспечивающие эффективность устройств, работающих на основе оптоэлектронных пар. Представлены результаты исследований изменений температурных и спектральных характеристик, оптоэлектрических параметров, а также выявлена возможность изготовления фотоэлектрических устройств с использованием неоднородностей.

Изучение степени неоднородностей материалов очень важно не только при производстве элементов АФН, но и при производстве различных полупроводниковых приборов, а также при изучении свойств самих материалов. Свойства поликристаллических тонких пленок определяются степенью полной неоднородности.

Фотоэлемент преобразует только часть падающего на него света, в электрическую энергию. Потому что, имеются потери энергии света отражением, прохождением и поглощением излучения полупроводником связанная не образующих электрон-дырочных пар. Существуют также потери энергии, связанные с типом полупроводников. Следует учитывать связь энергии света генерирующей электрон-дырочную пару и коэффициента полезного действия фотоэлемента с шириной запрещенной зоны полупроводника (рис.5).

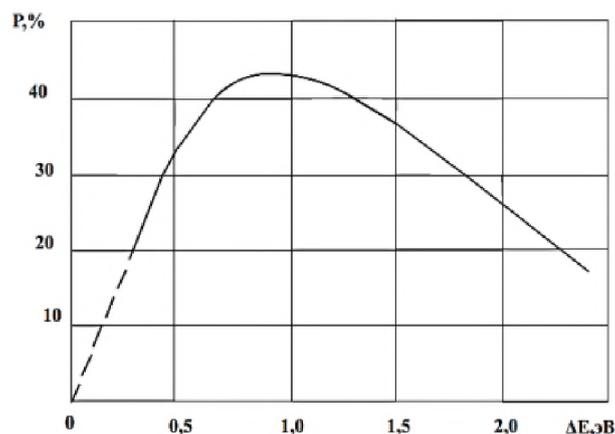


Рис.5. Зависимость ширины запрещенной зоны полупроводника на эффективность образования электронно-дырочных пар энергии солнечного излучения.

В дополнение к вышесказанному эффективность оптоэлектронного устройства связана с тем, что, в оптико фотонной среде световые сигналы в каналах связи между элементами оптрона (источником света и его потребителем) фотоприемника достигаются с малыми потерями. В микроэлектронной системе эта проблема, также может быть решена с помощью волоконной оптики.

Типичные температурные зависимости исследованных материалов, показали, что аномальная фотопроводимость и сопротивление тонких пленок, используемых в АФН-элементах, с начало медленно уменьшаются (начиная с $\sim 50^{\circ}\text{C}$), при последующем повышении температуры резко снижается. Результаты температурных экспериментов показали, что наблюдение чрезвычайно высокого (диэлектрического) сопротивления в АФН-элементах считалось их типичной особенностью, и поэтому АФН-эффект наблюдается только в образцах с чрезвычайно высоким сопротивлением ($R > 10^{10}\text{ Ом}$).

Основываясь на монохроматической селективности при воздействии света на полупроводник, можно создать батарею, состоящую из поперечных многослойных гетеропереходных элементов (ГФЭ), состоящих с различными запрещенными зонами полупроводников. В качестве примера для практической реализации (изготовления) системы многослойных изделий из ГФЭ можно выбрать следующую ряд халькогенидных полупроводников: ZnS, CdS, CdSe, CdTe или PbTe, PbSe, PbS. Расположение слоев, соответствующих монохроматической селективности и ширины запрещенной зоны полупроводников представлены на рис. 6.

В области оптических лучей ($5 \cdot 10^{-4} - 10^{-9}$ м, $6 \cdot 10^{11} - 3 \cdot 10^{17}$ Гц) поток света падает через прозрачный металлический электрод (1) в полупроводниковый слой (2) с широкой запрещенной зоной. Коротковолновые лучи (λ_1), соответствующие его спектру, поглощаются, а остальные относительно длинноволновые ($\lambda_2, \lambda_3, \lambda_4 \dots$) лучи проходят в следующие ряды (3). Таким образом, происходит монохроматический отбор световых волн. Это приводит к участию большего количества лучей в спектре светового потока ($\sim I_0$) в фотоэлектрическом процессе.

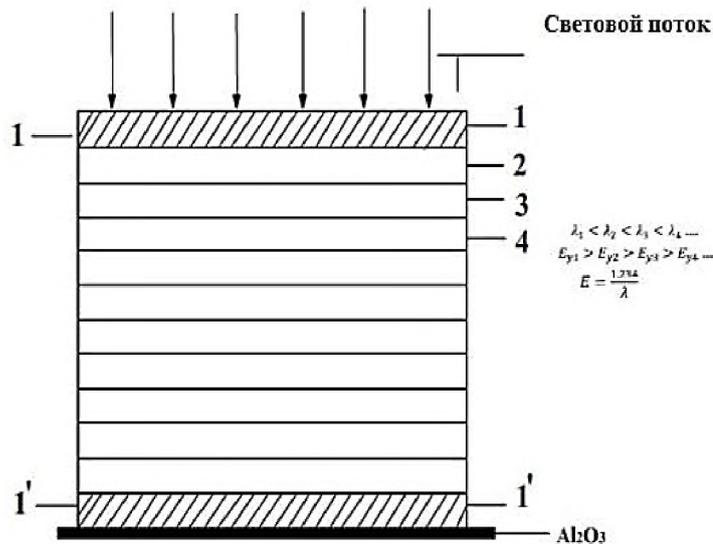


Рис.6. ГФЭ многослойная батарея.

До сих пор теоретический метод определения оптимального количества слоев в многослойном фотоэлементе не был научно обоснован, но для модели 3-4-слойных фотоэлементов вычислены максимальное значение напряжения ($E_m=U$) и тока короткого замыкания ($I_{к.з.}$), и они соответственно $E_m = 2,25 \div 3В$; $I_{к.з.} = 40 - 45 \text{ мА/см}^2$.

В этом случае К.П.Д. фотоэлемента достигается 36,4 %.

В заключительной четвертой главе диссертации, под названием «**Применение поликристаллических тонких пленок в создании оптоэлектронных устройств**» определены, что зависимости основных параметров АФН оптронов рекомендуемых для применения в оптоэлектронике, такие как быстродействие, выходное напряжение во многих отношениях связаны с возможностями светодиодов и АФН-пленок. Приведены результаты измерения мощности излучения светодиодов в импульсном режиме, широко используемых в оптоэлектронных схемах, описаны методы проверки и испытания готовых оптронов.

В оптронах оптоэлектронных устройств ультрафиолетовая (300÷400 нм) часть солнечного излучения, оказывая ионизирующее действие, изменяет их важные параметры. Чтобы оценить эту ситуацию, фотогенератор и фотоприемные АФН образцы тонких пленок, используемые при гелиооптоустройствах, были исследованы в среде с высокой интенсивностью ультрафиолетовых лучей (в горных условиях). При воздействии ультрафиолетовых лучей (УФЛ) на тонкие пленки CdTe АФН – эффект не наблюдалось. Однако АФН пленки при одновременном освещении белым светом и воздействии УФЛ наблюдалось резкое снижение фотонапряжения. Это изменение зависит от интенсивности УФЛ. Сопротивление тонких АФН пленок, также уменьшалось схожей фотонапряжением.

Для оценки теплового воздействия солнечного излучения тонкопленочные образцы фотоприемников были исследованы путем нагрева на воздухе в среде различных газов и в вакууме. Во всех образцах (CdTe, Sb₂Se₃, PbS, PbSe)

наблюдалось резкое уменьшение фотопроводимости в результате нагрева (нагревали при 30°C, 50°C в течение 3 часа).

С целью минимизации негативного воздействия ультрафиолетового и теплового воздействия солнечного излучения на оптоэлектронные устройства, предложена специальная оптоэлектронная система, обеспечивающая эффективность работы оптоэлектронных гелиотехнических устройств. Её блок схема приведена на рис.7.

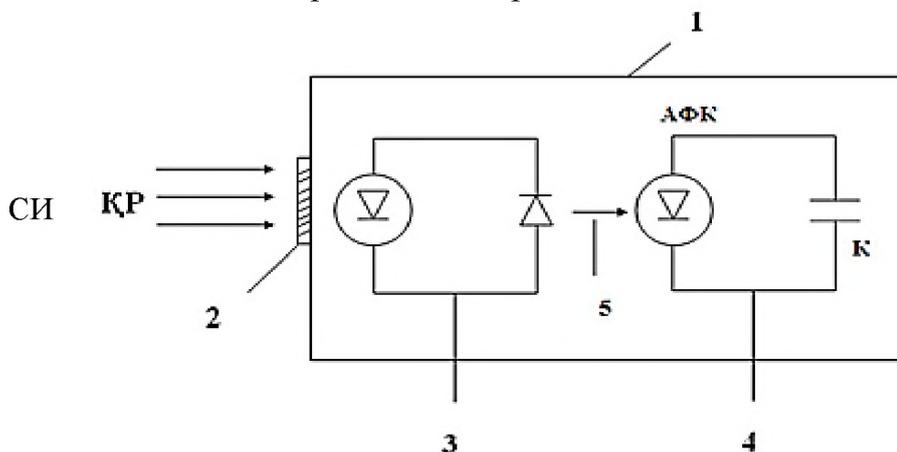


Рис.7. Специальная оптоэлектронная система. СИ – солнечный элемент, СД – светодиод, АФН – элемент, создающий anomальное напряжение, К – диэлектрическая нагрузка.

Предлагаемое в виде гелиооптрона устройство предназначено для создания больших электростатических полей путем преобразования энергии солнечных лучей в электрическую энергию. Устройство одновременно позволяет получать электрическое поле от лучей солнечного света, тепла, магнитного излучения. На рис.8 показана блок-схема универсального гелиооптрона с дистанционным управлением. В блок-схеме фотоэлектрические, фотомагнитные и термоэлектрические блоки размещены с помощью оптоэлектронных и электронных цепей.

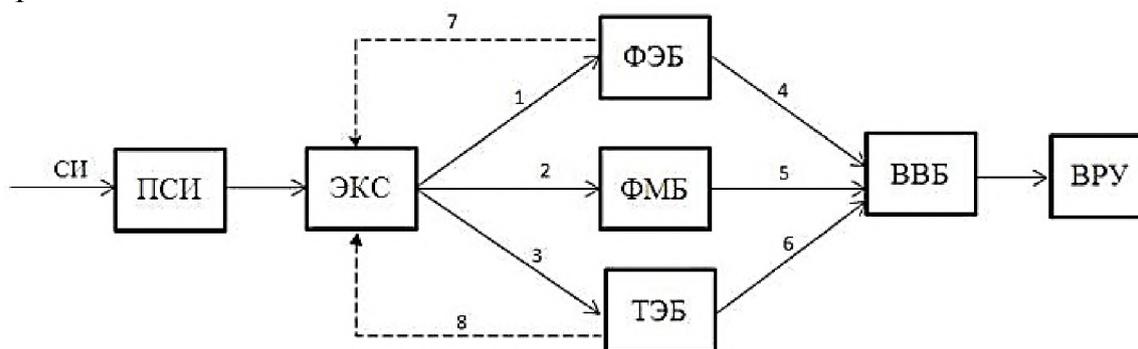


Рис.8. Блок схема гелиооптрона. 1,2,3 – оптоэлектронные цепи, 4,5,6 – электронные цепи, 7,8 – Контуры обратной связи, СИ – естественный солнечный луч, ПСИ - приемник солнечного излучения, ЭКС – Электронно коммутационная система, ФЭБ – Фотоэлектрический блок, ФМБ – Фотомагнитоэлектрический блок, ТЭБ – термоэлектрический блок, ВВБ – высоковольтный блок гелиооптрона, ВРУ – выходное рабочее устройство.

Поток света, исходящий от солнца (СИ), попадает в фотоприемник солнечного излучения (ПСИ). С помощью фотоэлектрического концентратора генерируется высококонцентрированное солнечное излучение. Концентрированный световой поток передается в электронную систему коммутации (ЭКС) и определяется режим работы гелиооптрона.

Если устройству необходимо работать в фотоэлектрическом режиме, световой поток направляется по оптическому каналу на фотоэлектрический блок. Фотоэлектрический блок выполнен из тонкопленочных плоских параллельных гетерофотоэлементов. Там формируется фото-ЭДС.

Если выбран термоэлектрический режим в результате заданного теплового потока (через 3-канал), в ТЭБ, образуется термо ЭДС. Термоэлектрический блок состоит из тонко пленочных термоэлементов. С увеличением интенсивности входящего светового потока выходное напряжение блоков преобразователя (ФЭБ, ФМБ и ТЭБ) увеличивается.

Основными носителями энергии в 1;2;3 оптоэлектронных цепях гелиооптрона являются фотоны солнечного света. В электрических контурах гелиооптрона (4,5,6) носителями энергии являются электроны.

Для контроля совместимости режима работы гелиооптронного устройства и работы отдельных частей служит специальная обратная связь (7,8). При необходимости контуры электрической обратной связи могут быть заменены оптоэлектронным контуром.

ЭДС генерируемый в электроэнергетическом блоке (ФЭБ, ФМБ, ТЭБ), подается в высоковольтный блок (ВВБ) гелиооптрона с помощью электрических контуров. Часть устройства ВВБ состоит из элементарных специальных оптронов с тонкими пленками (рис. 9).

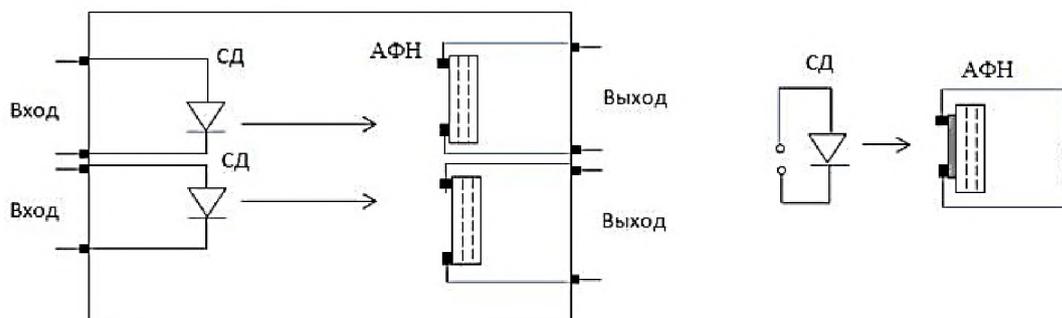


Рис.9. Один из вариантов специального тонкопленочного элементарного микрооптрона. СД – светодиод, АФК – фотоприемник генераторного типа.

В специальных микро оптронах для СД и АФН-пленок не требуется отдельный внешний источник питания. Напряжение на СД подается с помощью электрических цепей от блока питания. Оптотрансформаторы могут использоваться в различных областях вместе с МДП-транзисторами для получения электрического поля с помощью естественных внешних воздействий. Во всех оптоэлектронных устройствах, работающих с помощью оптотрансформатора, нет необходимости в специальном внешнем источнике

питания. Они могут работать независимо, используя естественные внешние воздействия. Это является энергоэффективным оптоэлектронным устройством.

Источником питания является ФП генераторного типа, который обеспечивает источник излучения электрическим напряжением. ЭЛЯ - это фотонный генератор с электроснабжением (рис. 10).

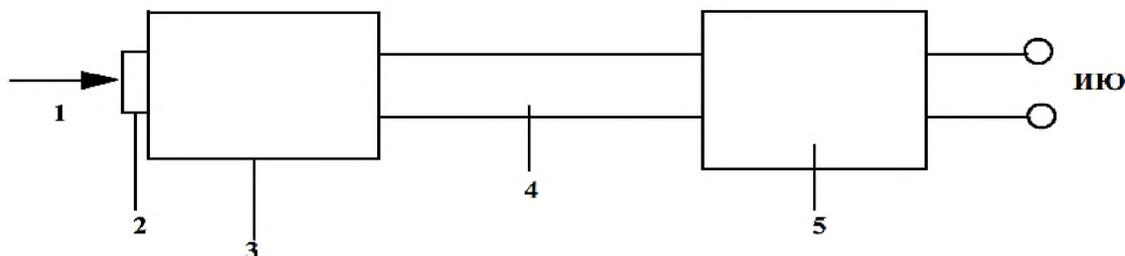


Рис.10. 1 – естественный внешний свет, 2 – оптическая система, которая создает поток параллельных лучей, 3– исключает тепловые воздействия потока параллельных лучей, исходящие лучи не нагревает ФП генераторного типа, 4- оптико волоконный переходник (передает лучей без тепловых воздействий), 5 – высоковольтный блок оптотрансформатора.

Для того чтобы излучение, испускаемое световым лучом (ЭЛЯ), достигало фотоприемника генераторного типа вторичного контура с наименьшими потерями, используется специальный светопередатчик из стекловолокна. Чтобы светопередатчик из стекловолокна был высокоэффективным, показатели преломления света полупроводникового материала, используемого в генераторе типа ФП, в волоконном и вторичном контурах должны быть выбраны таким образом, чтобы они находились близко друг к другу. Для этой цели в светопередатчиках из стекловолокна можно использовать специальные стекла содержащие свинец ($n=1,8\div 1,9$) и стекло с селеном ($n=2,4\div 2,6$).

На основе фотоприемника генераторного типа разработаны высоко точный анализатор цвета полупрозрачных жидкостей и устройство для определения содержания одного вещества в другом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Показаны научно-технические основы разработки сложных гибридных оптоэлектронных контурных систем с фотонно-электронной связью генерирующий электрическое поле за счет естественных внешних воздействий (например, солнечного света) и альтернативных источников энергии и её усилением преобразующий в достаточно большое электрическое поле.

2. Доказано, что тонкие поликристаллические полупроводниковые пленки фотоприемника генераторного типа состоят из неоднородных структур, обладающих кластерными сегрегационными свойствами по составу и структуре с высокой анизотропией сопротивления.

3. Установлено, что в межкристаллитных областях микрокристаллов в тонких пленках фотоприемника (эти участки достаточно велики, около 10^5 и более при длине около 1 см) располагаются ячейки полупроводник-диэлектрик-

полупроводник (ПДП), диэлектрический потенциальный барьер (как p-n переход) в ПДП объясняет природу АФН.

4. Установлено, что АФН и АФМН явления являются продольным эффектом только в образцах с очень высоким структурным сопротивлением ($> 10^9$ Ом) и показано, что они адаптируются к диэлектрическим нагрузкам в качестве источника высокого напряжения.

5. Определены физические основы оптоэлектронного гибридного, многоканального универсального микроэлектронного гелиооптрона работающий на совместном использовании светового, теплового и других воздействий Солнечного излучения.

6. Обоснован проект высокостабильного оптотрансформатора, усиливающий без изменения выходных электрических сигналов гелиооптрона.

**SCIENTIFIC COUNCIL PhD.03/30.11.2022.FM/T.66.04 ON AWARDING
SCIENTIFIC DEGREES AT THE NAMANGAN INSTITUTE OF
ENGINEERING AND TECHNOLOGY**

FERGANA STATE UNIVERSITY

YULDASHEV ABROR ABDUVASITOVICH

**DEVELOPMENT OF A GENERATOR-TYPE PHOTODETECTOR FOR
THE OPTICAL REGION OF THE SPECTRUM**

01.04.10 – Physics of semiconductors

**ABSTRACT OF DISSERTATION DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
ON TECHNICAL SCIENCES**

Namangan – 2024

INTRODUCTION (abstract of doctoral (PhD) dissertation)

The aim of research work is to creation of photoelectric phenomena observed in sensitive thin semiconductor films in an optical radiation field, and creation on their basis of devices of alternative energy sources operating in an autonomous mode.

The object of research work is non-homogeneous thin curtains based on sensitive CdSe and CdS semiconductor materials in the optical field of radiation.

The scientific novelty of the research are as follows:

for the first time, It has been determined that anomalous photovoltages are observed in thin polycrystalline veils with a columnar structure in the direction of the molecular flow, obtained on dielectric substrates heated at about 250°C by thermal evaporation of a semiconductor material (CdSe, CdS, CdTe);

In heterogeneous semiconductors (CdSe, CdS, CdTe), n-type semiconductors (photodetectors) have been developed using a generator capable of applying a weak light voltage of 10-20 kV to thin films;

for the first time, a helioptron (photodetector) device was developed that is capable of generating voltages of more than 1000V using the thermal, light and magnetic effects of sunlight;

for the first time, an optocurrent amplifier has been developed, consisting of two electronic circuits and an optocoupler circuit with one photonic coupling, operating on the basis of thin semiconductor films that generate a strong electric field (AFC element) under the influence of light.

Implementation of research results: Based on the scientific results obtained on the creation of optoelectronic devices based on renewable energy sources made of semiconducting polycrystalline thin curtains:

as a result of the study of anomalous photoelectric and anomalous photomagnetolectric phenomena in polycrystalline semiconductor chalcogenide thin films, it was found that polycrystals are super-multilayered, anomalous photoelectric and anomalous photomagnetolectric phenomena are only longitudinal effects, and the resistance of the structure is extremely large ($>10^9$ Ohm) from the results of the scientific research obtained on the observation of the samples in the "Physics" department of the Namangan Institute of Engineering and Construction for 2017-2020 OT-F2-71 "On the volt-ampere characteristic of the deformed p-n transition in an extremely high frequency electromagnetic field was used in the fundamental state project on the research of the effect of light. (Reference No. 3/19-21/02-40 of the Ministry of Higher and Secondary Special Education dated February 21, 2022); As a result, the technology of obtaining photoelectric materials based on semiconductor particles and the thermoelectric properties of materials have been optimized;

using a hybrid helioptron, a high-voltage electric field is obtained by means of solar radiation. This electric field is used in molecular current sorting systems. In particular: the recommendations developed in the system of preliminary cleaning of ores, in the sorting unit of quantum group devices, as an electric field source, and medical devices as an autonomous electric field source have been implemented into the practice of "FOTON" joint-stock company ("UzElTeksanoat" JSC Association, 15, 2022 Reference No. 04-3/288 of February). As a result, it was possible to improve

electrophysical parameters of electrotechnical devices in experimental samples by ~10%.

The structure and scope 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 39 figures and 1 tables, is 118 pages.

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

I bo'lim (I часть, I part)

1. Onarkulov K.E., Yuldashev Sh.A., Yuldashev A.A., Yuldashev Sh.A. Determination of Microparameters of Halcogenide Thin Movies. // Journal of optoelectronics laser. China. 2022. Volume 41, Issue 5, p.523-530 (№3 Scopus, IF = 1.003, Q4; <https://www.scopus.com/sourceid/29685>)
2. Онаркулов К.Э., Юлдашев А.А., Юлдашева Ш.А. Гелиооптронный источник напряжения. // Наманган давлат университети илмий ахборотномаси. 2023. 8-сон, 30-35-б (01.00.00; №14)
3. Онаркулов К.Э., Юлдашев А.А., Юлдашев Ш.А. Оптоэлектрон тунда кўриш мосламаси // Наманган давлат университети илмий ахборотномаси. 2022. 2-сон, 56-61 б (01.00.00; №14)
4. Yuldashev A.A. Preparation of photo elements. // Harvard Educational and Scientific Review. 2022. p.131-138 (05.00.00; №4)
5. Yuldashev A.A. Chalcogenide thin films with micro-transitions. // Science and world. 2022, № 10 (110), p.34-37. (№5 GIF:0.325)
6. Онаркулов К.Э., Юлдашев А.А., Ёўлдош Қори Ш.А. Влияние структуры тензорезистивных пленок на физические механизмы переноса носителей заряда. // ФарПИ Илмий-техника журнали. 2019. Т.23.№3. с.124-127 (05.00.00; №20).
7. Бурхонов Р.Б., Найманбоев Р., Мирзамахмудов Т.М., Юлдашев А.А. Фотоприёмники генераторного типа на тонких плёнках сульфида свинца. Монография. Фергана. 1995 г. 32 С.
8. Рахимов Н.Р., Хайдаров А.Х., Юлдашев А.А. Ўзбекистон Республикаси фан ва техника давлат комитети Давлат патент идораси дастлабки патенти. Ярим шаффоф суюкликларнинг ранг анализатори. 31.03.2000. Uz IDP 05057.
9. Тожиёв Р.Ж., Рахимов Н.Р., Хайдаров А.Х., Бутаёв Т.Б., Юлдашев А.А. Ўзбекистон Республикаси фан ва техника давлат комитети Давлат патент идораси дастлабки патенти. Бир модданинг бошқа модда таркибидаги микдорини аниқлаш учун қурилма. 24.05.2000. Uz IDP 05056.

II bo'lim (II часть, part II)

10. Onarkulov K.E., Yuldashev A.A., Yuldasheva Sh.A., Zaynolobidinova S.M. Spektarning optik sohasi uchun generator tipidagi foto qabul qilgich tayyorlash va ularning ba'zi qo'llanishlari. // Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risidagi Guvohnoma. O'zbekiston Respublikasi adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi. № DGU 13060. Toshkent 18.05.2021.
11. Онаркулов К.Э., Юлдашев А.А., Азимов Т.М., Ёўлдош Қори Ш.А. Висмут-сурма теллурид юпка пардаларнинг электрофизик хоссаларига технологик жараённинг таъсири. // ФарДУ Илмий хабарлар журнали. 2017. №2. 9-12 б.

12. Юлдашев А.А., Омонов Б.У., Хошимов Х.А. Оптроналар яратишнинг хосликлари. // Scientific Progress.2022, volume-3, issue-2, 827-832-б.
13. Yuldashev A.A. Optotransformator. // Science and innovation. international scientific journal. 2022, Volume 1, Issue 6, p.876-882
14. Найманбаев Р., Юлдашев А.А. Исследование оптической анизотропии в АФН-плёнках Sb_2Se_3 // Материалы международной конференции молодых физиков по «Твердотельной электронике» 1994. с.40-42.
15. Бурхонов Р.Б., Найманбоев Р. Юлдашев А.А. О возможностях использования АФН – плёнок в оптика управляемых роботах. // Решение проблемных вопросов теории механизмов и машин. Тезисы докладов международной научно–практической конференции посвященной 75-летию академика Х.Х.Усмонходжаева, 1994, с.11-12.
16. Atakulov Sh.B., Dilshodov A., Esonov K., Yulchiev I., Yuldashev A.A. About Behavior of Oxygen in the bulk of lead Telluride. / 23- International Symposium on Fine Chemistry and Functional Polymers (FCFP-XXIII). Shangai, China. 2013. p.17-22.
17. Онаркулов К.Э., Юлдашев А.А., Йўлдош Қори Ш.А., Хусанов А.Ж. Влияние структурных особенностей поликристаллических пленок полупроводников на формирование эффекта аномального фотонапряжения // “Конденсатланган мухитлар физикаси ва материалшуносликнинг долзарб масалалари” Республика илмий-техникавий анжумани материаллари. 2014. 115-116 б.
18. Юлдашев А.А. Влияние границ кристаллитов на кинетические коэффициенты в поликристаллах полупроводников. Физика фанининг ривожиди истеъдодли ёшларни ўрни” РИАК-ХП-2019 Республика илмий анжумани материаллари. 2019, 18-май, с.292-294
19. Юлдашев А.А., Юлдашев Ш.А., Юлдашева Ш.А., Носиров К. Устройство для получения электрических полей. // Ўзбекистон физик-талабалари ва ёш олимлар ассоциацияси “Ёш олимлар ва физик талабаларнинг I Республика илмий анжумани” (ЁОФТРИА-I) материаллари, 2021, 109-110-б.
20. Юлдашев А.А., Юлдашев Ш.А., Юлдашева Ш.А., Орифжонов Х.М. Бир жинсли бўлмаган юпка пардалар олиш Материалы Международной научно-практической конференции “Тенденции развития физики конденсированных сред”, 25 май 2021, с.207-209.
21. Найманбаев Р., Юлдашев А.А., Юлдашев Ш.А., Хомидов А.К., Юлдашева Н.О., Орифжонов Х.М., Юлдашева Ш.А. Гелиооптрон. // Международный сертификат на авторское произведение № ЕС-01-003297 Interoco, European Depositori Germany, Berlin, The Berne Convention for the protection of Literary and Artistic Works. 2021, 19-July
22. Найманбаев Р., Юлдашев А.А., Онаркулов К.Э., Юлдашева Ш.А. Оптотрансформатор. // Международный сертификат на авторское произведение № ЕС-01-003369, Interoco, European Depositori Germany, Berlin, The Berne Convention for the protection of Literary and Artistic Works. 2021, 24-September

Avtoreferat Namangan shahar Mashrab nashriyotida tahrirdan o'tkazildi va o'zbek,
rus, ingliz tillaridagi matnlari mosligini tekshirildi (07.09.2024)

Bosishga ruxsat etildi 07.09.2024 y.
Bichimi 60X84 1/16, "Times New Roman"
Garniturada raqamli bosma usulida bosildi.
Shartli bosma tobog'i 3. Adadi: 100. Buyurtma: № 31

“FAZILAT ORGTEX SERVIS”
xususiy korxonasi bosmaxonasida chop etildi.
Manzil: Namangan sh. Amir Temur ko'chasi 97 uy.
Tel: (+998) 91-346-44-43, (+998) 99-608-69-44

