

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ, АНДИЖОН
ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР
БЕРУВЧИ DSc.31.01.2019.FM/Т.03.05 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

АНДИЖОН МАШИНАСОЗЛИК ИНСТИТУТИ

АЛИЖАНОВ ДОНЁРБЕК ДИЛШОДОВИЧ

**ОПТОЭЛЕКТРОН АХБОРОТ-ЎЛЧОВ ТИЗИМЛАРИ УЧУН АФК
ҚАБУЛ ҚИЛГИЧ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

01.04.10 – Яримўтказгичлар физикаси

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD) ДИССЕРТАЦИЯСИ
АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2019

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)
диссертацияси автореферати мундарижаси**

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

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

Алижанов Донёрбек Дилшодович Оптоэлектрон ахборот-ўлчов тизимлари учун АФК қабул қилгич ишлаб чиқиш.....	3
Алижанов Донёрбек Дилшодович Разработка АФН – приемника для оптоэлектронной информационно – измерительной системы.....	21
Alizhanov Donerbek Dilshodovich Development of APV - receiver for optoelectronic information - measuring system.....	41
Эълон қилинган ишлар рўйхати Список опубликованных работ List of published works	43

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ, АНДИЖОН
ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР
БЕРУВЧИ DSc.31.01.2019.FM/T.03.05 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

АНДИЖОН МАШИНАСОЗЛИК ИНСТИТУТИ

АЛИЖАНОВ ДОНЁРБЕК ДИЛШОДОВИЧ

**ОПТОЭЛЕКТРОН АХБОРОТ-ЎЛЧОВ ТИЗИМЛАРИ УЧУН АФК
ҚАБУЛ ҚИЛГИЧ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

01.04.10 – Яримўтказгичлар физикаси

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD) ДИССЕРТАЦИЯСИ
АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2019

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2019.2.PhD/Т1043. рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертацияси Андижон машинасозлик институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз(резюме)) Илмий кенгаш вебсаҳифасида (tdtu.uz) ва “ZiyoNet” ахборот-таълим порталида (www.ziyounet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Рахимов Неъматжон

техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Рахматов Аҳмад Зайниддинович

техника фанлари доктори, профессор

Тачилин Станислав Анатольевич

техника фанлари номзоди, доцент

Етакчи ташкилот:

Қарақалпоқ давлат университети

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.31.01.2019.FM/Т.03.05 рақамли Илмий кенгашнинг 2019 йил “___” _____соат ___ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2-уй. Тел. (71) 246-46-00, факс (71) 227-10-32; e-mail:tstu_info@edu.uz, ТДТУ «Электроника ва автоматика» факультети 232-хона).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (___ рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2-уй. Тел. (71) 246-03-41.

Диссертация автореферати 2019 йил «___» _____ да тарқатилди.
(2019 йил «___» _____ даги ___ рақамли реестр баённомаси).

М.К.Баҳадирханов

Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш раиси
ф.-м.ф.д., профессор, академик

Б.Э.Эгамбердиев

Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш
илмий котиби ф.-м.ф.д., профессор

Н.Ф.Зикриллаев

Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш
қошидаги илмий семинар раиси ф.-м.ф.д.,
профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда ҳозирги кунда яримўтказгичлар физикаси соҳасининг жадал равишда ривожланишида юқори фотосезгир оптик нур қабул қилгичлар муҳим ўрин эгаллайди. Аномал фотокучланишли (АФК) юпқа пардалар олиш жараёнини бошқариш орқали АФК эффектга асосланган оптик нур қабул қилгичлар яратиш жадал ривожланмоқда. Очiq каналли оптрон қурилмалар яратишда икки ва уч таркибли яримўтказгич асосли АФК қабул қилгичларни тадқиқ қилиш, очiq каналли оптрон қурилмалар яратишнинг физик механизмларини ҳамда техник ечимларини аниқлаш орқали уларнинг самарадорлигини ошириш муҳим вазифалардан бири бўлиб келмоқда.

Бугунги кунда яримўтказгичли оптик нур қабул қилгичларнинг фотосезгирлик самарадорлигини ошириш борасида мақсадли илмий тадқиқотларни олиб боришга катта аҳамият берилмоқда. Жумладан, нурлатгич ва оптик нур қабул қилгичлар базасида оптрон яратишнинг мавжуд методларини аниқлаш; оптоэлектрон тизим орқали суяқ моддаларнинг технологик параметрларини белгилаш; оптоэлектрон қурилмаларни математик ҳисоблаш модели орқали модда ва материалларнинг ноэлектрик физик катталикларини назорат қилиш; АФК қабул қилгичларнинг фотоэлектрик хусусиятларини тадқиқ қилиш орқали электромагнит нурларга сезгир оптоэлектрон қурилмалар яратиш ва уларнинг физик механизмларини ишлаб чиқиш долзарб аҳамиятга эга. Юқорида келтирилган тадқиқот йўналишида илмий изланишларни амалга ошириш муҳим вазифалардан ҳисобланади.

Мамлакатимизда фундаментал тадқиқотларга катта эътибор қаратилиб, хусусан, яримўтказгич материаллар асосидаги фотоўзгартиргичларнинг самарадорлигини ошириш бўйича илмий изланишлар олиб борилмоқда. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ–4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармонида «илмий-тадқиқот ва инновация фаолиятини рағбатлантириш, илмий ва инновация ютуқларини амалиётга жорий этишнинг самарали механизмларини яратиш, олий ўқув юртлари ва илмий-тадқиқот институтлари ҳузурида ихтисослаштирилган илмий-экспериментал лабораториялар, юқори технология марказлари ва технопаркларни ташкил этиш» вазифалари белгилаб берилган¹. Бу борада яримўтказгич асосли материаллардан юқори фотосезгирли ва кенг диапазонли АФК эффектга асосланган оптик нур қабул қилгичлар яратиш ҳамда уларнинг самарадорлигини ошириш ва ишлаб чиқаришга жорий этилиши муҳим аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ 4947-сонли «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича

¹ [Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ–4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони](#) // ЎзР ҚХТ Ўзбекистон Республикаси конун ҳужжатлари тўплами, 2017 й., 6-сон, 70-модда, 20-сон, 354-модда, 23-сон, 448-модда, 37-сон, 982-модда.

Харакатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2017 йил 13 февралдаги ПҚ-2772-сонли «2017-2021 йилларда Электротехника саноатини ривожлантиришнинг устувор йўналишлари тўғрисида»ги ва 2017 йил 17 февралдаги ПҚ-2789-сонли «Фанлар академияси фаолияти, илмий-тадқиқот ишларини ташкил этиш, бошқариш ва молиялаштиришни янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг III. “Энергетика, энергоресурс тежамкорлиги, асбобсозлик, замонавий электроника, микроэлектроника, электрон асбобсозликнинг ривожлантиришнинг устувор йўналиши” доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Турли яримўтказгич асосли қатламларда АФК эффект самарадорлигини ошириш бўйича тадқиқотлар жаҳоннинг илғор мамлакатларидаги илмий тадқиқот марказлари ва университетларида олиб борилмоқда. Хусусан, П.Кришна (Индия), Аян Рой Чаудхури (Ҳиндистон), Дитрих Гессен и Marin Alexe (Великобритания) юқори фотокучланишли пардалар олиш ва улар асосида юқори самарадор фотоўзгартиргичлар яратиш бўйича тадқиқотларни амалга оширган. Шунингдек, Н. Kallmann, U.Pal, G.J. Russell, S. Saha, B.G. Caswell, J.I.Pankove, J. Woods, Н. R. Johnson, R.H. Williams, J.R. Cutter ва бошқаларнинг илмий ва назарий тадқиқотларида турли яримўтказгичлар асосида юқори фотокучланишли юпқа пардалар олиш усуллари, уларда АФК эффект самарадорлигини ошириш имкониятлари, ҳамда уларнинг электрофизик ва фотоэлектрик хусусиятлари ўрганилган. Ҳозирги пайтда турли яримўтказгич қатламлар асосида АФК қабул қилгичлар яратилган бўлиб, улар асосида фотоўзгартиргичларни янада такомиллаштириш истиқболли ҳамда долзарб масала сифатида сақланиб қолмоқда.

Ўзбек олимлари академик Э.И. Адировичнинг илмий ишларида аномал юқори фотокучланишлар ҳосил бўлиш сабаблари кўрсатиб ўтилган. С.Х.Шамирзаев, Н.Р.Рахимов, Т.Мирзамахмудов, А.Қосимохунова, С.Отажонов ва бошқа олимларнинг ишларида турли яримўтказгич материаллардан АФК пардалар олиш ва уларнинг фотоэлектрик хусусиятларини ўрганиш бўйича изланишлар олиб борилмоқда. Тадқиқот натижалари асосида АФК эффектга асосланган яримўтказгичли юпқа пардалар олиш ва уларнинг электрофизик ва фотоэлектрик хоссаларини тушунтиришнинг ўзига хос механизм ва моделлари таклиф этилган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасаси илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация иши Андижон машинасозлик институти илмий-тадқиқот ишлари режасининг БФЗ-003-сонли «Киришмали волтаик эффектга асосланган яримўтказгич негизли микро ва наноўлчамли ноанъанавий ва

муқобил энергия манбаларини яратиш» (2017-2020-йй.) мавзусидаги фундаментал тадқиқот лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади оптоэлектрон ахборот-ўлчов тизимлари учун аномал фотокучланишли қабул қилгич ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

нурлатгич ва оптик нур қабул қилгичлар базасида оптрон яратишнинг мавжуд методларини таҳлил қилиш ва аномал фотокучланишли қабул қилгич асосида очиқ каналли оптрон ишлаб чиқиш;

суяқ моддаларнинг оптик параметрларини оптоэлектрон тизим орқали доимий назорат қилиш;

модда ва материалларни ноэлектрик физик катталикларини бошқариш орқали аномал фотокучланишли эффектга асосланган юқори сезгир оптоэлектрон қурилмаларни математик ҳисоблаш моделини ишлаб чиқиш;

аномал фотокучланишли эффектга асосланган юпқа пардаларни рентген ва ультрабинафша нурларига таъсирчанлигини ҳамда фотоэлектрик хусусиятларини тадқиқ қилиш орқали электромагнит нурларга сезгир оптоэлектрон қурилма яратиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида таркиби 2 ва 3 хил бирикмали яримўтказгич аномал фотокучланишли парда ва аномал фотокучланишли қабулқилгич асосида очиқ каналли оптрон олинган.

Тадқиқотнинг предмети аномал фотокучланишли эффект асосида фотоўзгартиргичларда фотоэлектрик жараёнлар ва улар асосида юқори сезгирли оптоэлектрон қурилмалар яратишдан иборат.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида яримўтказгич асосли юпқа қатламли пардаларда аномал фотокучланишларнинг ҳосил бўлиш жараёнлари ва спектрал характеристикаларини ўрганиш методлари, оптоэлектрон ўлчов тизимларга аномал фотокучланишли қабул қилгичларни қўллаш, очиқ каналли оптрон ишлаб чиқиш каби технологик усуллар қўлланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

оптоэлектрон ахборот-ўлчов тизимлари учун аномал фотокучланишли қабул қилгич асосида очиқ каналли оптрон қурилма ишлаб чиқилган;

кўп параметрли оптоэлектрон колориметр яратилган;

модда ва материалларнинг ноэлектрик катталикларини ҳисоблашнинг математик модели ишлаб чиқилган;

рентген ва ультрабинафша нурлари учун автоном қабул қилгич яратилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари:

- ишлаб чиқилган аномал фотокучланишли қабул қилгич асосидаги очиқ каналли оптрон қурилма оптоэлектрон асбопсозлик ривожланишида муҳим аҳамият касб этган;

- яратилган кўп параметрли оптоэлектрон колориметр суяқ моддаларнинг технологик параметрларини доимий назорат қилиш имконини берган;

- рентген ва ультрабинафша нурлари учун ишлаб чиқилган автоном қабул қилгич оптик нур қабул қилгичларнинг ишлаш соҳасини электромагнит нурлар соҳасигача кенгайтириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги олинган натижаларни тадқиқ қилишда ўлчаш аниқлиги юқори бўлган асбоблардан ва оптоэлектрон мосламаларнинг характеристикалари ва параметрларини текширишда стандарт ва кенг қўлланиладиган замонавий лаборатор ва технологик усуллардан фойдаланилган, шунингдек, илмий хулосалар ва техник ечимлари фундаментал физикавий ва математик тушунчаларга мослиги асосланган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти яримўтказгич юпқа қатламли пардаларда аномал фотокучланишли эффект асосида кам ёритилган соҳаларда ҳам ёруғлик энергиясини электр энергиясига самарали ўзгартириш жараёнларини кенгроқ тасаввур этиш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти шундан иборатки, яратилган ва таклиф этилган конструкция ҳамда усуллар янги ишончли, юқори сезгирли ва автоном типли оптоэлектрон фотоўзгартиргичлар ясаш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Оптоэлектрон ахборот-ўлчов тизимлари учун автоном типдаги аномал фотокучланишли қабул қилгични ишлаб чиқиш асосида:

суяқ моддаларнинг оптик параметрларини оптоэлектрон тизим орқали доимий назорат қилишда нурлантиргич ва қабул қилгич яратиш бўйича «Оптоэлектрон кўп параметрли колориметр»га Россия Федерацияси Интеллектуал мулк агентлигининг ихтирога патенти олинган (№2485484, 2013 й.). Ишлаб чиқилган конструкция суяқ моддаларнинг технологик параметрларини аниқлаш имконини берган;

аномал фотокучланишли эффектга асосланган юпқа пардаларни рентген ва ультрабинафша нурларига таъсирчанлигини ҳамда фотоэлектрик хусусиятларини аниқлаш бўйича «Рентген ва ультрабинафша нурлари учун автоном қабул қилгич»га Россия Федерацияси Интеллектуал мулк агентлигининг ихтирога патенти олинган (№2522737, 2014 й.). Яратилган автоном қабул қилгич оптик нурлар соҳасида ишловчи оптик нур қабул қилгичларнинг ишлаш соҳасини электромагнит нурлар соҳасигача кенгайтириш имконини берган;

яримўтказгич материаллар асосида оптик нур қабул қилгичлар олиш бўйича А5-003 рақамли «Алоқанинг юқори тезликли телекоммуникацион тармоғи спектрал характеристикаларини мукаммаллаштиришнинг усулларини ишлаб чиқиш» (2012–2013 йй.) ва ЕФ4-ФК-0-72548Е А5-003 рақамли «Оптик-толали кенг доирали алоқа тармоқларини текшириш методларини ишлаб чиқиш» (2014–2016 йй.) амалий лойихасида юқори фотосезгирли оптик нур қабул қилгичлар олишда фойдаланилган (Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 2019 йил 25 мартдаги 89-03-1127-сон маълумотномаси). Илмий натижалардан фойдаланиш оптоэлектрон

тизимларда материаллар ва моддаларнинг турли параметрларини доимий назорат қилиш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси 5 та халқаро конференцияларда маъруза қилинган ва муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 16 та илмий иш чоп этилган, шулардан 1 та мақола Ўзбекистон Республикаси ОАКнинг диссертация ишларини асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларида, 8 таси хорижий илмий нашрларда чоп этилган. 2 та ихтирога Россия Федерацияси патенти олинган.

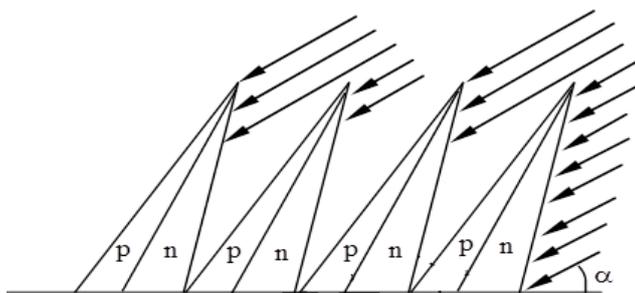
Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация матни 120 бетда ифодаланган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, мавзу бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи, муаммонинг ўрганилганлик даражаси келтирилган, тадқиқот мақсади, вазифалари, объекти ва предмети тавсифланган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар берилган.

Диссертациянинг **«Икки ва уч брикмалар асосидаги яримўтказгичли пардаларда АФК эффект»** деб номланган биринчи бобида аномал юқори кучланишларнинг ҳосил бўлиш жараёни, икки ва уч брикмалар яримўтказгич АФК пардаларда фотоэлектрик хусусиятлар, эффектив АФК парда тайёрлаш усули ва технологияси, юпқа қатламли яримўтказгич пардаларда аномал юқори фотокучланишни янада ошириш имкониятлари ўрганилган. Хусусан, кадмий, теллурид, кумуш, цинк, селен брикмалар структуралар асосидаги фотоэлектрик энергия ўзгартиргичларнинг аҳамияти, улар ишлашининг физик асослари келтириб ўтилган. Тадқиқотнинг вазифалари шакллантирилган.

Диссертациянинг **«АФК қабул қилгич асосида оптрон ва қурилма тузилмасини ишлаб чиқиш»** деб номланган иккинчи бобида оптик нур манбалари ва уларни асосий тавсифлари таҳлил этилди. Аномал фотокучланишли юқори сезгир пардалар олиш хусусиятлари ўрганилди. Тадқиқотлар натижасида яримўтказгич юпқа қатламли пардаларнинг самарадорлиги материал таркиби, юпқа парда қалинлиги, тагликнинг ҳарорати, буғлатиш тезлиги, буғлатиш бурчаги каби бир неча омилларга боғлиқлиги ўрганилди.

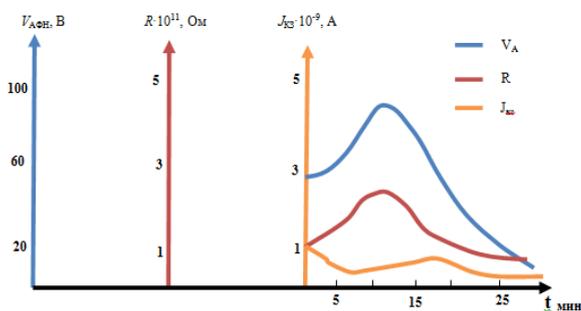


1-расм. p-n-ўтишли АФК парданинг структуравий кўриниши.

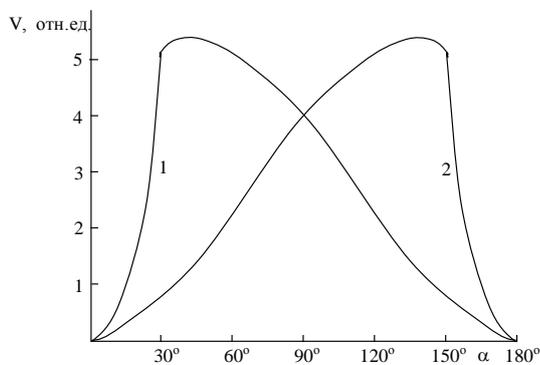
Жадвал-1

Юпқа қатламли пардаларнинг айрим асосий параметрлари:

Намуна рақами	П1	П2	П 5	П 11	П16	П21	П23	П25	П29	П32	П36
Тағлик ҳарорати	100	150	150	200	200	250	250	300	300	350	400
Буғлатиш тезлиги, мг/мин	3	3	0,5	5	3	1	5	0,5	6	5	3
Наъмуна қаршилиги, Ом	10^5	10^5	5×10^5	10^5	10^6	5×10^6	10^6	10^7	10^6	10^6	10^7



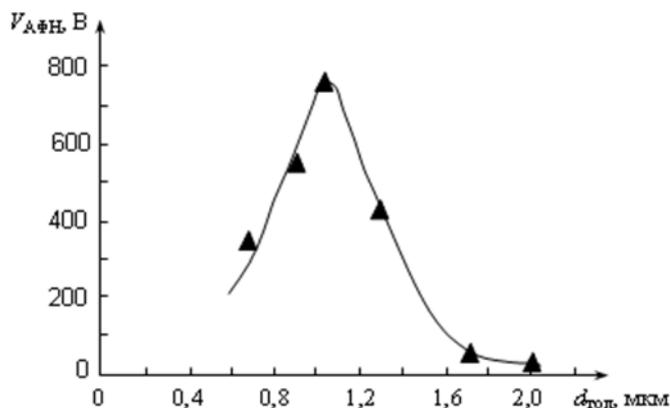
2-расм. $V_{АФН}$, R ва $J_{кз}$ катталиқларининг буғлатиш вақтига боғлиқ равишда ўзгариши.



$\beta_1 = 60^\circ$, $\beta_2 = 30^\circ$ (1), $\beta_1 = 150^\circ$, $\beta_2 = 120^\circ$ (2)

3-расм. p-n ўтишли яримўтказгичли юпқа пардаларда АФК эффектнинг буғлатиш бурчагига боғлиқлиги.

Тадқиқотлар яна шуни кўрсатдики, яримўтказгич юпка пардаларнинг қалинлиги 1 мкм бўлганда ҳосил бўлаётган АФН эффект максимал қийматга эришади(4-рам).



4-расм. $V_{АФН}$ нинг яримўтказгич юпка парда қалинлигига боғлиқлиги.

Умумий ҳолда ҳозирги кунда АФК эффектни намуналарда кўплаб сондаги потенциал тўсиқлар кетма-кетлигида ҳосил бўладиган фотокучланишларнинг йиғиндиси сифатида изоҳлаб келинмоқда. Лекин бу ҳар қандай вазиятда АФК эффектини ҳосил бўлишини тўлиқ тушунтириб бера олмайди. Яримўтказгич юпка қатламли пардаларда юқори аномал кучланишнинг ҳосил бўлиш жараёни куйидагича уч босқичли модел билан тушинтирилади:

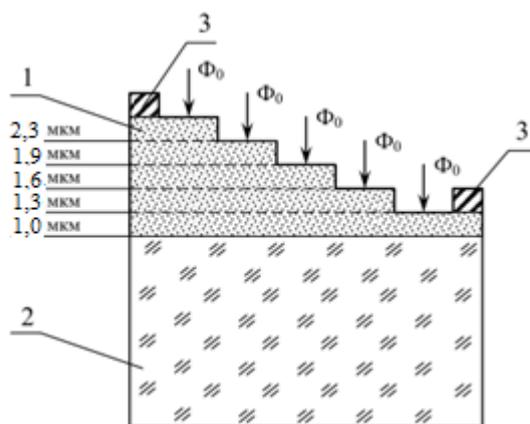
Биринчидан, фототок $I_{ф0}$ ҳосил бўлиш натижасида фотогенерация ва фазода ҳар бир микро-р-п ўтишда ташувчиларнинг номувозанат ҳолатда тақсимланиши.

Иккинчидан, микро-р-п ўтишда элементар кучланишларнинг пайдо бўлиш босқичида, ҳажмий зарядларнинг тўпланиш натижасида фототокнинг ҳосил бўлиши.

Учинчидан, р-п ўтишда элементар кучланишларнинг йиғилишида аномал юқори фотокучланишни ҳосил бўлиши.

Шунингдек, ишда қалинлиги 1 мкм дан бошланиб босқичма-босқич ортиб боровчи яримўтказгич бирикмалардан поғонасимон шаклдаги АФК парда асосида Х ва Y ўқлари бўйлаб нурланувчи объектнинг йўналиши ва ўзгариш катталиги тўғрисидаги маълумотларни ўз ичига олган икки ўлчовли координатно-сезгир автоном оптик нур қабул қилгич кўриб чиқилган (5-расм).

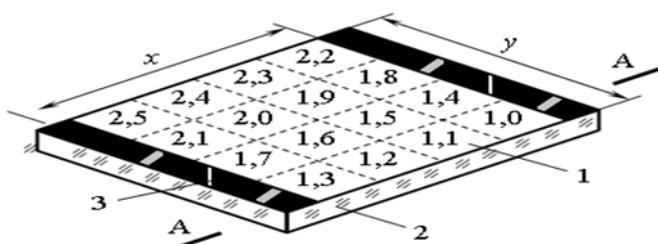
4-расмдаги графикда фотокучланиш $V_{АФК}$ парда қалинлигига боғлиқлигини таҳлил қилган ҳолда кадмий, теллурид типидagi пардаларда гексагонал ва кубиксимон фаза чегараларида микро-р-п ўтишда элементар кучланишларнинг пайдо бўлиш босқичида, ҳажмий зарядларнинг тўпланиш натижасида АФК эффект ҳосил бўлади деб ҳисоблаш мумкин. Бу типдаги 1 мкм қалинликдаги юпка қатламли пардалар ўзида энг юқори АФК эффектни ҳосил қилади.



5-расм. Координатно-сезгир АФК-парда:

1 – поғонасимон фотосезгир қатлам; 2 – ойнали таглик, 3 – металл контактлар, Φ_0 – монохроматик нур оқими.

АФК-пардага тушаётган Φ_0 нур оқими фотокучланишни ҳосил қилади. Монохроматик Φ_0 нур 1 мкм қалинликдаги поғонадан 2,3 мкм қалинликдаги поғонагача ўзгариш ҳолатига боғлиқ ҳолда ҳосил бўлаётган фотокучланиш $V_{\text{АФК}}$ қалинлик ортишига пропорциональ равишда камайиб боради.



6-расм. Икки ўлчамли поғонасимон фотосезгир АФН-парда:

1 – икки ўлчамли поғонасимон фотосезгир қатлам; 2 – ойнали таглик; 3 – металл контактлар;

Ёруғлик манбалари ва қабул қилгичлар асосида ишлайдиган оптоэлектрон қурилмаларда АФК (аномал юқори фотокучланиш) фотоқабул қилгич оптик сигналларни электрик сигналларга ўзгартирувчи бирламчи элемент сифатида фойдаланилади. Ҳосил бўлган электр сигнали кучланиш кўринишида регистрация бўлиб ёки электрон схемага тушиб, белгиланган параметрларни ажратиб ва қайта ишланиб ўлчанаётган катталик ҳақидаги маълумотни узатади. Шундай қилиб ўзгарган сигнал ўлчанаётган катталиклар билан даражаланган ҳисобловчи қурилмага тушади.

Агар АФК қабул қилгичнинг математик моделига қарасак, у кўп ўзгарувчи функция ҳисобланади ва бу функция ёруғлик оқими Φ , оптик нурланишнинг спектрал таркиби L , ҳарорат T ва намлик B , кўринишида намоён бўлади:

$$U_{\phi} = f(\Phi, T, L, B)$$

АФК қабул қилгичларнинг ёруғлик манбаларини (нурланувчи диод, лазерли диод) оптик нурланишининг ўзгариш коэффициенти:

$$K = \frac{\int_0^{\infty} \varphi_{e,\lambda}(\lambda) S_{\text{отн}}(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} \varphi_{e,\lambda}(\lambda) d\lambda} \quad (1)$$

$\varphi_{e,\lambda}(\lambda)$ – манбадан чиқаётган нур оқимининг нисбий тарқалиш спектри; $S_{\text{отн}}(\lambda)$ – АФК қабул қилгич сезгирлигининг нисбий спектрал характеристикаси.

АФК қабул қилгичнинг интеграл сезгирлиги билан нур оқимининг спектрал боғлиқлиги:

$$S_{\text{интФе}} = S_{\lambda,\text{Фе,max}} K, \quad (2)$$

$S_{\lambda,\text{Фе,max}}$ – АФК қабул қилгичнинг ёруғлик оқимиға максимал спектрал сезгирлиги.

АФК қабул қилгичнинг нисбий спектрал сезгирлиги:

$$S_{\lambda,\text{отн}} = S_{\lambda,\text{абс}} / S_{\lambda,\text{max}}, \quad (3)$$

$S_{\lambda,\text{абс}}$ – АФК қабул қилгичнинг абсолют спектрал сезгирлиги; $S_{\lambda,\text{max}}$ – АФК қабул қилгичнинг максимал спектрал сезгирлиги.

АФК қабул қилгичнинг дастлабки частота берилгандаги сезгирлиги:

$$\Phi_n = \frac{S_{\text{отн}}(\lambda)}{S_{\text{I,инт}}} = \frac{U_{\text{ш}}}{U_{\text{и,инт}}}, \quad (4)$$

$U_{\text{ш}}$ – шовқин кучланиш; $S_{\text{I,инт}}$, $S_{\text{и,инт}}$ – АФК қабул қилгичнинг ток ва кучланишли интеграл сезгирлиги.

АФК қабул қилгичнинг дастлабки солиштира сезгирлиги:

$$\Phi_n^* = \Phi_n \sqrt{A \Delta f} = \Phi_{n,I} \sqrt{A}, \quad (5)$$

$\Phi_{n,I}$ – АФК қабул қилгичнинг бошланғич бирлик частота кенглиги сезгирлиги; A – АФК қабул қилгичнинг юзаси; Δf – кучайтирилган соҳанинги частота кенглиги.

АФК фотоқабул қилгични паспортлаштиришдаги ўлчанаётган соҳа учун таклиф қилинаётган частота кенглиги:

$$\Delta f = 0,2 f_M, \quad (6)$$

f_M – паспортлаштиришдаги частота модуляцияси.

АФК қабул қилгичнинг солиштира аниқлаш қобилияти.

$$D^* = \frac{1}{\Phi_n^*}, \quad (7)$$

Φ_n^* – АФК қабул қилгичнинг дастлабки солиштира сезгирлиги.

АФК қабул қилгичнинг ёруғлик оқимиға спектрал сезгирликни нурланиш оқимиға спектрал сезгирлигига қайта ҳисоблаш:

$$S_{\lambda,\text{Фе}} = S_{\lambda,\text{Фv}} K_{\text{max}} V(\lambda), \quad (8)$$

$S_{\lambda,\text{Фе}}$, $S_{\lambda,\text{Фv}}$ – нур оқимиға ва ёруғлик оқимиға спектрал сезгирлик; K_{max} – монохроматик нурланишнинг спектрал максимал самарадорлиги; $V(\lambda)$ – кундузги ёруғлик учун монохроматик нурланишнинг спектрал нисбий ёруғлик самарадорлиги (1-жадвал).

Монохроматик нурланишнинг кундузги кўриш учун спектрал нисбий ёруғлик самарадорлиги

λ , нм	300	400	500	600	700
0	-	0.004	0.323	0.631	0.0041
10	-	0012	503	503	0021
20	-	0040	710	381	00105
30	-	0116	862	265	00052
40	-	023	954	175	00012
50	-	038	995	107	00006
60	-	060	995	061	00003
70	-	091	952	032	00001
80	0.00003	139	870	017	0
90	9 0.00012	208	757	0082	-

АФК қабул қилгичнинг параметрларини берилган ёруғлик ФМК(фотометрик катталиқ)да, энергетик ФМК параметрларда қайта ҳисоблаш:

$$S_{\text{инт.Фе}} = S_{\text{инт.Фв}} K_{\text{max}} k_{\Gamma}; \quad (9)$$

$$\Phi_{\text{н.е}} = \frac{\Phi_{\text{н.в}}}{K_{\text{max}} k_{\Gamma}}, \quad \text{Вм}, \quad (10)$$

$S_{\text{инт.Фе}}$, $S_{\text{инт.Фв}}$ – АФК қабул қилгичнинг ёруғлик оқимига ва нурланиш оқимига интеграл сезгирлиги; k_{Γ} – кўз билан фойдаланилган нурланиш коэффиценти; $\Phi_{\text{н.е}}$, $\Phi_{\text{н.в}}$ – АФК қабул қилгичнинг берилган чизиқ частотада энергетик ва ёруғлик ФМКга дастлабки сезгирлиги.

Нурланишининг битта манбаси учун АФК қабул қилгичнинг энергетик ФМКларда берилган параметрларини нурланишининг бошқа манбаси учун энергетик ФМКлардаги параметрларга қайта ҳисоблаш:

$$S''_{\text{инт.Фе}} = \frac{S'_{\text{инт.Фв}} K''}{k'}; \quad (11)$$

$$\Phi''_{\text{н.Фе}} = \frac{\Phi'_{\text{н.Фв}} K''}{k''}, \quad (12)$$

$S'_{\text{инт.Фв}}$, $S''_{\text{инт.Фе}}$ – АФК қабул қилгичнинг биринчи ва иккинчи манба нурланиши учун нурланиш оқимига интеграл сезгирлиги; $\Phi'_{\text{н.Фв}}$, $\Phi''_{\text{н.Фе}}$ – АФК қабул қилгичнинг берилган энергетик ФМКда частота кенглигига биринчи ва иккинчи манба учун дастлабки сезгирлиги.

АФК қабул қилгич сезгирлигининг кучланиш ва токка ўзаро боғлиқлиги:

$$S_U \approx S_1 R_H, \quad (13)$$

R_H – юкламанинг қаршилиги.

$$U_{\Phi} \approx S_1 \Phi, \quad (14)$$

S_1 - АФК қабул қилгичнинг сезгирлиги.

АФК қабул қилгичнинг кучланиш фотосигнали:

$$U_c = S_U \Phi, \quad (15)$$

S_U - АФК қабул қилгичнинг кучланишкучланишга сезгирлиги.

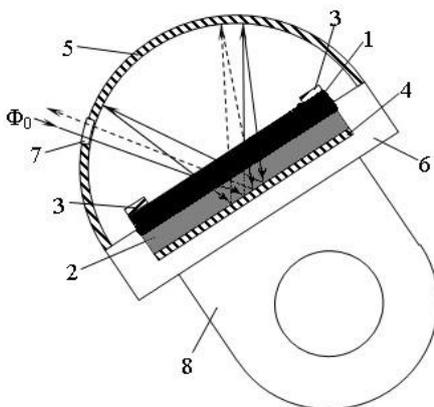
АФК фотоқабул қилгичнинг математик модели ўзгарувчи катталикларнинг функцияси ҳисобланади: ёруғлик оқими, оптик нурларнинг спектрал таркиби, ҳарорат ва намлик.

Хулоса қилиб айтилганда, оптоэлектрон қурилмаларда АФК қабул қилгичларни кўллаб назорат-ўлчов техникасида ноэлектрик катталикларнинг параметрларини ўлчашда фойдаланиш мумкин, мисол учун зичлик, қалинлик, намлик, ҳаракатланаётган объектнинг кординатаси, ранг, концентрация, юза сатҳи ва бошқалар. АФК қабул қилгичларни автоном оптик нур қабул қилгичлар сифатида оптик толали тизимларда фойдаланиш соҳа йўналишларида истиқболли ҳисобланади.

Диссертациянинг «**Биринчи ўзгартиргичлар яратиш учун АФК қабул қилгичларни тадбиқ этиш асослари**» деб номланган учинчи бобида очиқ каналли оптик жуфтликларни ҳисоблаш ҳамда яримўтказгичли АФК парда асосида оптик нурларни қабул қилувчи қабул қилгичлар устида амалий тадқиқотлар ўтказилди. Рентген ва ультрабинафша нурлари учун юқори сезгирликдаги автоном ишлайдиган қабул қилгич яратилди².

АФК парда асосли автоном қабул қилгич герметик берк акслантирувчи ярим сферик қоққоқ билан ёпилган. Рентген ёки ультрабинафша нурлари фотосезгир қатламдан ўтади ва тагликдан аксланиб акслантирувчи қоққоққа тушади, қоққоқдан аксланган нур яна қайтиб фотосезгир қатламга тушади. Шундай қилиб АФК парданинг самарадорлиги 50% гача ортади.

Оптик нурланишларни қабул қилгичлар интеграл-сезгир қабул қилгичлар таркибига киради, лекин уларни рентген ва ультрабинафша нурларини қайд этиш учун биринчи элемент сифатида регистраторларда фойдаланиш мумкин. Бундан ташқари улар оптоэлектрон ва робототехника қурилмаларида турли нурланиш оқимларини қабул қилиш учун фойдаланилади.

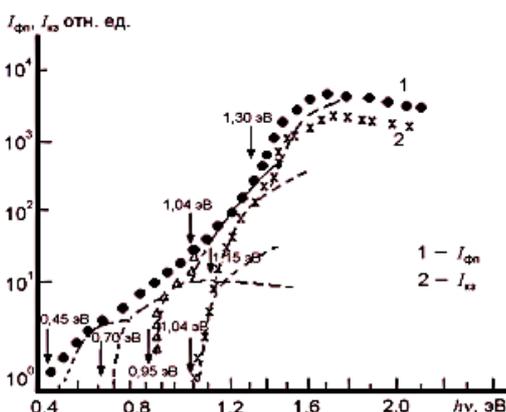


7-расм. Рентген ва ультрабинафша нурлари учун автоном қабул қилгич.

²Автономный приёмник для регистрации рентгеновского и ультрафиолетового излучения / Д.Д. Алижанов, Н.Р. Рахимов, В.А. Жмудь, Ш.И. Мадумаров // НИТУ – патент № 2522737 Опубликовано: 20.07.2014 Бюл. № 20.

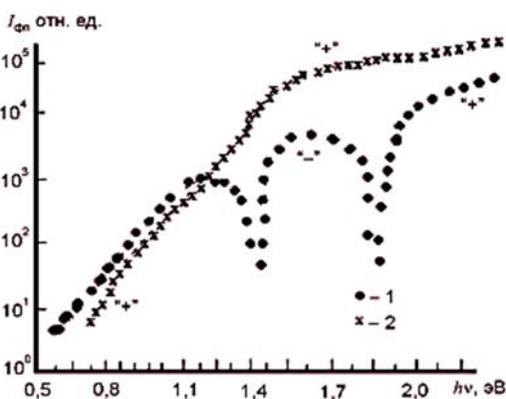
Расмда рентген ва ультрабинафша нурлари учун автоном қабул қилгичнинг тузилиши берилган бўлиб: 1-кристал теллурид кадмийли АФК пардадан иборат фотосезгир қатлам; 2-ойнали пластинка; 3-метал контактлар; 4-осмий-кремний ёки осмий-скандий-кремнийли акслантирувчи қоплама; 5-ярим сферик шаклидаги қопқоқ (осмий-кремний ёки осмий-скандий-кремнийли); 6-метал корпус; 7-туйнук; 8-махкамлаш учун таянч.

Ушбу рентген ва ультрабинафша нурлари учун автоном қабул қилгичнинг устунлиги бошқа қабул қилгичларга нисбатан юқори сезгирликка эга эканлиги ва ишлаш жараёнида ток манбаисиз ишлай олишидадир.



8-расм. Олд томондан ёритилганда CdTe-ZnSe гетеротузилмали АФК пардада $I_{\text{фп}}$, $I_{\text{кз}}$ спектри.

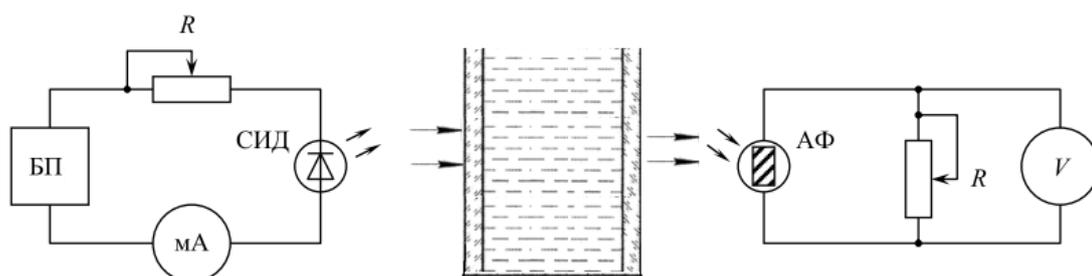
Ишлаб чиқилган автоном қабул қилгич куйидагича ишлайди: туйнук орқали монохроматик ёки бошқа нур оқими Φ_0 манбадан тушади, рентген ва ультрабинафша нурлари фотосезгир қатламдан (1) ўтиб осмий-кремний ёки осмий-скандий-кремнийли акслантирувчи қопламага (5) тушади ва аксланиб ярим сферик шаклидаги қопқоқга тушади. Қопқоқдан аксланган нур яна қайтиб фотосезгир қатламга тушади. Тушаётган нур фотосезгир қатламни кўп маротаба кесиб ўтиши натижасида нурнинг фотокучланишга ўзгариш самарадорлиги ортади.



9-расм. Олд томондан ёритилганда CdTe-ZnSe гетеротузилмали АФК пардада $I_{\text{фп}}$ спектри: 1– киритилаётган майдон кутбланиши АФК кутбланишига мос тушганда ва қарама қарши жойлашганда – 2. $U_{\text{вн}} = 14 \text{ В}$.

Шундай қилиб АФК миқдорининг самарадорлиги амалиётда 50% гача ортиши белгиланди.

Диссертациянинг «Оптоэлектрон ахборот-ўлчов тизимлари учун АФК қабул қилгичларни тадбиқ этиш» деб номланган тўртинчи бобда яримўтказгич бирикмалардан олинган АФК пардалар асосида оптоэлектрон датчиклар ишлаб чиқилди. Оптоэлектрон кўппараметрли колориметр яратилиб³, суяқ моддаларнинг физико-кимёвий таркибини аниқлаш учун АФК қабул қилгичлардан фойдаланиш кўриб чиқилган. Шунингдек АФК қабул қилгичларни ахборот-ўлчов системалари учун истиқболли қўлланилиши белгилаб берилди.



10-расм. АФК-қабул қилгич ёрдамида суяқ моддаларнинг физико-кимёвий таркибини аниқлаш усули.

Суяқликларнинг рангини текшириш учун текшириляётган объект иккита тўлқин узунлигидаги λ_1 (яшил) ва λ_2 (қизил) нурлантирувчи диод нур оқими билан нурлантирилади.

Ламберт-Бер қонунига мувофиқ текшириляётган суяқлик қатламидан ўтаётган λ_1 ва λ_2 тўлқин узунлигидаги нур оқими қуйидагича кўринишга эга:

$$\Phi_{\lambda_1} = \Phi_{0\lambda_1} e^{-k_1 d}; \quad (16)$$

$$\Phi_{\lambda_2} = \Phi_{0\lambda_2} e^{-(k_1+k_2)d} = \Phi_{0\lambda_2} e^{-k_1 d} + \Phi_{0\lambda_2} e^{-k_2 d} \quad (17)$$

$\Phi_{0\lambda_1}$, $\Phi_{0\lambda_2}$ - нурлантирувчи диодлардан тушаётган нур оқими; Φ_{λ_1} , Φ_{λ_2} – текшириляётган суяқлик қатламидан ўтган нур оқими; k_1 – ютилиш коэффициенти; k_2 -рангга боғлиқ ютилиш коэффициенти; d - текшириляётган суяқлик қатламининг қалинлиги.

Бошланғич нур оқимларини тенглаб $\Phi_{0\lambda_1} = \Phi_{0\lambda_2}$, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\frac{\Phi_{\lambda_1}}{\Phi_{\lambda_2}} = \frac{\Phi_{0\lambda_1} \cdot e^{-k_1 d}}{\Phi_{0\lambda_1} \cdot e^{-k_1 d} \cdot e^{-k_2 d}} = e^{k_2 d} \quad (18)$$

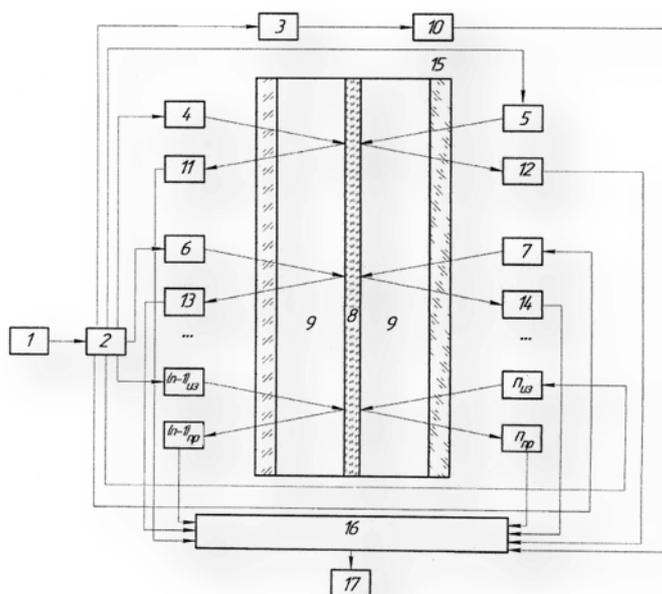
³Оптоэлектронный многопараметровый колориметр /Б.Н Рахимов, Е.Ю. Кутенкова, Д.Д. Алижанов, Ш.И. Мадумаров. // СГГА - патент № 2485484 Опубликовано: 20.06.2013 Бюл. № 17.

Ушбу ифодадан кўришиб турибдики, $d = \text{const}$ бўлганда, берилган нур оқимлари λ_1 ва λ_2 тўлқин узунлиги назорат қилинаётган модданинг рангига пропорционал бўлади. Ишлаб чиқилган таркибий схемадан фойдаланиб, қурилма суюқ муҳит рангини автоматик равишда назорат қилади.

Оптоэлектрон асбобларнинг ишлаб чиқаришдаги вазифаси маҳсулот ва технологик жараёнларни физик-кимёвий параметрлари ҳақида маълумот билан таъминлашда уларга қўйилган қатор талаблар билан боғлиқ: симсиз бошқарув, юқори сезгирлик ва аниқлик, тезкорлик, кичик ҳажмлилик, оддийлик ва ишончлилик.

Оптоэлектрон назоратнинг моҳияти шундан иборатки, ҳар қандай модда нур чиқаради ёки ютади ёки қайтаради. Шунинг учун модданинг физик-кимёвий таркиби ва унинг таркибий элементларининг миқдорий нисбати ёритилганлик, ёруғлик ютилиши, қайтиш бурчаги ва моддалар билан ёруғлик нурининг бошқа ўзаро таъсир хусусиятларининг ўзгаришига боғлиқ.

Оптоэлектрон кўп параметрли колориметр узатувчи генератор, диодлар, ўлчовчи фотоқабул қилгичлар, диодлар билан оптик боғланиш, фотоэлектрик сигналларни қайта ишловчи блок, текширувчи прибор билан боғланиш учун чиқиш жойи, ёпиш учун кран ва варонкани боғловчи ва таҳлил қилинаётган суюқликни ўтказиб турувчи кювета, коммутатор битта оптик жуфтликдан нурланишни қайта ёқиш учун, кювета иккита ярим цилиндрли бир бирига ўхшаш цилиндрсимон кварцдан қилинган, икки акслантирувчи юзали ясси ойнага икки томонлама маҳкамланган, лазерли диодлардан фойдаланиб мужассамлаштирилган ва олдиндан маълум бўлган ярим шаффоф суюқликнинг n параметрли спектрал характеристикалари танлаб олинади. Бундан ташқари, таянч оптик жуфтлик: лазерли диод-фотоқабул қилгич ўлчов натижалари ишончлилигини таъминлаш мақсадида синаб олинади.



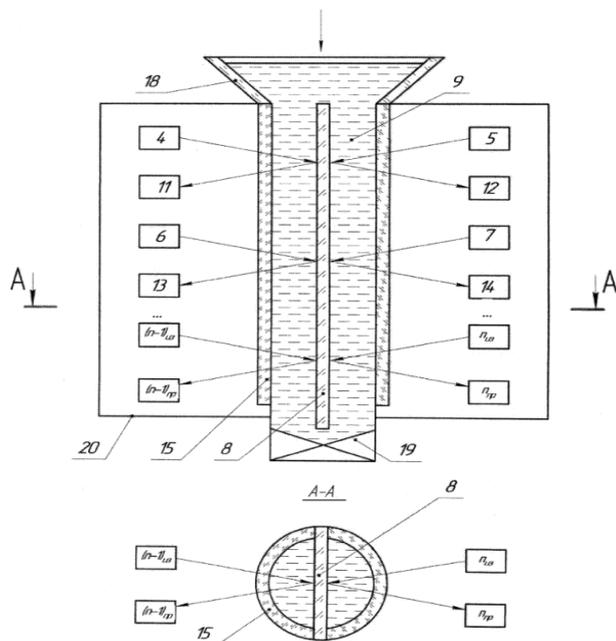
12-расм. Оптоэлектрон кўп параметрли колориметр блок-схемаси.

Блок схемада 1 узатувчи генератор (импульсли манба таъминоти), 2 коммутатор, 3 таянч лазер диоди, 4;5;6;7; (n-1) лазерли диодлар, 8 иккала

юзаси акслантирувчи ясси ойна, 9 таҳлил қилинаётган объект (суюқлик), 10 таянч фотоқабулқилгич, 11;12;13;14; (n-1) ўлчовчи фотоқабулқилгичлар, 16 фотоэлектрик сигнални қайта ишловчи блок, 17 таҳлил қилувчи прибор(мисол учун ЭХМ), кювета иккита ярим цилиндрли бир-бирига ўхшаш цилиндрсимон кварцдан қилинган, икки акслантирувчи юзали ясси ойнага икки томонлама маҳкамланган.

Конструктив ясалган оптоэлектронли кўп параметрли колориметр датчиги 15 кювета, 8 икки акслантирувчи юзали ясси ойна ҳамда кюветага уланган ўлчов ойнали воронка, 9 воронкага қуйилган таҳлил қилиниши керак бўлган суюқлик, 19 текширилаётган суюқлик оқимини очиб ёпиб туриш учун кран ва 20 датчикнинг корпус қисмидан иборат.

Қурилма қуйидагича ишлайди: узатувчи генератор (1) ёқилганида ўзидан 8-10 Гц импульс ишлаб чиқаради. Коммутатор-оптик жуфтликларни (2) ёқиб-ўчирувчи орқали импульслар бўлиниб навбат билан лазерли светодиодларга (4,5,6,7),(n-1) спектрал характеристикалари аниқ бўлган n параметрли спектрал характеристикаларга мос келувчи ярим шаффоф суюқликга тушади. Шунинг учун оптик жуфтликларни бирма-бир ишга тушириш мумкин.



13-расм. Конструктив ясалган оптоэлектрон кўп параметрли колориметр.

Қурилмага ўрнатилган лазерли диод (3) ва ўлчовчи фотоқабул қилгич (10) таянч оптик жуфтликни ташкил қилади, бу ўлчанаётган сигналларни таянч канал сигнали билан солиштириш ва ўлчов натижаларини ишончлилигини таъминлаш имконини беради. Цилиндрсимон кювета (15) бўшлиғи текширилаётган суюқлик (9) билан тўлдирилиб лазерли светодиод нурлантирилади. Биринчи ҳолатда нур оқимини ёқиб ўчиргич лазер диодини (4) фокуслантириб, текширилаётган суюқлик (9) орқали ўтиб, икки

акслантирувчи юзали ясси ойнадан (8) қайтади, ва яна текширилаётган суюқликдан ўтиб фотоқабул қилгичга (11) тушади. Сўнгра сигналлар фотоэлектрик сигналларни қайта ишловчи блокка (16) тушади.

Сигнал суюқ модданинг ёки шаффоф каттик жисмнинг оптик зичлигига ва ўтказувчанлик коэффициенти катталигига пропорционал боғлиқ, шунингдек аралашмадаги модда концентрациясини олдиндан ўлчанган характеристикалар ёрдамида ҳам ўлчаш мумкин.

Натижалар суюқ модда параметрларини таҳлил қилувчи ўлчов прибори ёки ЭХМга (17) таҳлил учун узатилади. ЭХМ автоматик тарзда аналог-рақамли ўлчовларни ўзгартириш, ҳисоблаш жараёни, қабул қилинган маълумотни жўнатиш, буйруқ ва бошқа ишчи маълумотларни, зарурий функциялашган оптоэлектрон кўп функцияли автоматик бошқарув-ўлчов системаларни тартибга келтиришни таъминлайди. 2-расмда кўрсатилганидек барча конструкция корпусга (20) жойланади, қурилманинг ўзини технологик жараёндаги тармоққа ўрнатиб, стрелкада йўналтирилган труба орқали оқаётган суюқликни доимий таҳлил қилиш мумкин.

ХУЛОСА

Ўтказилган кўп мартабали адабиётлар таҳлили ва амалий ишлар шуни кўрсатадики, АФК қабул қилгич очик каналли оптронларда автоном оптик нур қабул қилгич сифатида истиқболли элемент ҳисобланади.

Олинган натижалар таҳлилларидан қуйидагича хулоса қилинади:

Оптоэлектрон ахборот-ўлчов тизимлари учун нурлатгич ва оптик нур қабул қилгичлар базасида оптрон яратишнинг мавжуд методлари таҳлил қилиниб, очик каналли оптрон ишлаб чиқиш учун аномал фотоқабул қилгич асосида оптрон ишлаб чиқилди;

Аномал фотоқабул қилгичли очик каналли оптронларнинг оптик хусусиятларини таҳлил қилиш натижасида суюқ моддаларнинг технологик параметрларини назорат қилувчи оптоэлектрон кўп параметрлик колориметр яратилди (ихтирога РФ патенти олинган (№ 2485484, 20.06.2013 й.);

Аномал фотокучланишли қабулқилгичларнинг спектрал харатеристикасига асосланган ҳолда модда ва материалларнинг ноэлектрик катталикларини ҳисоблашнинг математик модели ишлаб чиқилди ва уларнинг ноэлектрик катталикларини ўлчаш ҳамда доимий назорат қилиш имконияти яратилди;

Яримўтказгичли аномал фотокучланишли пардаларнинг фотоэлектрик хусусиятларини таҳлил қилиш натижасида рентген ва ультрабинафша нурларида ишлашга мўлжалланган юқори сезгирли оптоэлектрон қурилма яратилди (ихтирога РФдан 2522737-сон патент олинди, 20.07.2014 й.).

Яримўтказгичли аномал фотокучланишли пардага асосланган оптрон асосида нефть ва нефть маҳсулотларини технологик параметрларини бузмасдан оптоэлектрон назорат қилиш усули ишлаб чиқилди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.31.01.2019.FM/Т.03.05 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ, АНДИЖАНСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ УЗБЕКИСТАНА**

АНДИЖАНСКИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

АЛИЖАНОВ ДОНЁРБЕК ДИЛШОДОВИЧ

**РАЗРАБОТКА АФН-ПРИЕМНИКА ДЛЯ ОПТОЭЛЕКТРОННОЙ
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**

01.04.10 – Физика полупроводников

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

Ташкент–2019

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована № В2019.2.PhD/T1043 в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан.

Докторская диссертация выполнена в Андижанском машиностроительном институте.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекском, русском, английском (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (tdtu.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyo.net.uz).

Научный руководитель: **Рахимов Нейматжон,**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Рахматов Ахмад Зайниддинович,**
доктор технических наук, профессор

Тачилин Станислав Анатольевич,
кандидат технических наук, доцент

Ведущая организация: **Каракалпакский государственный университет**

Защита диссертации состоится «__» _____ 2019 года в ____ часов на заседании Научного совета DSc.31.01.2019.FM/T.03.05 при Ташкентском государственном техническом университете, Национальном университете Узбекистана (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, дом 2. Здание факультета «Электроника и автоматика» ТГТУ, аудитория № 232. Тел. (71) 246–46–00, факс (71) 227–10–32, e-mail: tstu_info@edu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрирована за № ____). Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, дом 2. Тел. (71) 246–03–41.

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2019 года.
(Реестр протокола рассылки № ____ от «__» _____ 2019 г.).

М.К.Бахадирханов,
председатель Научного совета по
присуждению ученых степеней, академик
АН РУз, д.ф.-м.н., профессор

Б.Э. Эгамбердиев,
ученый секретарь Научного совета по
присуждению ученых степеней, д.ф.-м.н.,
профессор

Н.Ф. Зикриллаев,
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. В настоящее время одной из важных проблем в мире в сфере физики полупроводников, развивающихся ускоренными темпами, считаются фоточувствительные приемники оптического излучения. Применение приемников с аномально высоким фотонапряжением (АФН) как приемников оптического излучения (ПОИ) в оптоэлектронных измерительных системах всё больше привлекают внимание специалистов. Одной из важных задач является изучение оптических АФН-приемников на основе двойных и тройных полупроводниковых соединений для разработки оптрона открытого канала и повышение их эффективности путем изучения физических механизмов, а также определения технических свойств оптрона открытого канала.

В настоящее время особое внимание уделяется проведению целенаправленных исследований по повышению эффективности фоточувствительности полупроводниковых приемников оптического излучения, в том числе изучению методов создания оптрона на основе излучателя и приемника оптического излучения, методов контроля оптических параметров жидких сред в оптоэлектронных системах; исследованию расчета математической модели оптоэлектронного устройства на основе АФН-эффекта путем контроля физической величины вещества и материалов; обнаружению чувствительных оптоэлектронных устройств к электромагнитному излучению и их физических механизмов путем исследования фотоэлектрических свойств АФН-приемников. Отмеченные выше научные исследования считаются важными задачами.

В нашей стране большое внимание уделяется фундаментальным исследованиям, в частности научным исследованиям по повышению эффективности фотоэлектрических преобразователей на основе полупроводников. Стратегия развития Республики Узбекистан на 2017–2021 годы⁴ основана на «... стимулировании научных исследований и инноваций, создании эффективных механизмов внедрения научных достижений и инновационной практики, высших учебных заведений и профильных научно-исследовательских институтов, экспериментальных лабораторий, высокотехнологичных центров и технопарков организаций». В связи с этим важно создавать высокочувствительные и широкодиапазонные приемники оптического излучения из полупроводниковых материалов на основе АФН-эффекта, повышать их эффективность и внедрять в производство.

Данное диссертационное исследование в определённой степени служит выполнению задач, определённых в Постановлении Президента Республики Узбекистан № ПФ-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», Указе № УП-2772 от 13 февраля 2017 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию

⁴Указ Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 г. «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

управления, ускоренному развитию и диверсификации электротехнической промышленности на 2017-2021 гг.» и Указе №УП-2789 от 17 февраля 2017 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию организации, руководства и финансирования деятельности и научно-исследовательской работы Академии наук», а также в других нормативно-правовых актах, касающихся данной деятельности.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данная исследовательская работа выполнена в рамках приоритетных направлений развития науки и технологий Республики Узбекистан – ППИ-3. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение, транспорт, машино- и приборостроение, развитие современной электроники, микроэлектроники, электронного приборостроения.

Степень изученности проблемы. Исследования по повышению эффективности АФН-эффекта на основе различных полупроводниковых соединений ведутся во многих научно-исследовательских центрах и университетах передовых стран мира. В частности, П. Кришна (Индия), Аян Рой Чаудхури (Индия), Дитрикс Гессен и Марин Алексей (Великобритания) работали над получением пленки высокого фотонапряжения и созданием высокоэффективных фотопреобразователей на их основе. Также Н. Kallmann, U.Pal, G.J. Russell, S. Saha, B.G. Caswell, J.I.Pankove, J. Woods, H.R. Johnson, R.H. Williams, J.R. Каттер и другие зарубежные исследователи вели исследовательские работы по получению АФН-пленок и созданию на их основе эффективных фотопреобразователей. В результате исследований учёным удалось получить фотопреобразователи на основе АФН-эффекта. В настоящее время были созданы АФН-пленки из различных полупроводников, разработанные на их основе приемники оптического излучения до сих пор остаются перспективными и актуальными.

В этой области проводятся исследования и узбекскими учеными. В научных работах академика Е.И.Адировича показаны причины явления аномального фотонапряжения. С.Х.Шамирзаев Н.Р.Рахимов, Т.Мирзамахмудов, А.Косимохунова, С.Отаджонов и другие ученые изучают возможность получения АФН-пленки из различных полупроводниковых материалов и исследуют их фотоэлектрические свойства. На основании результатов исследования предлагается использовать полупроводниковые пленки на основе АФН-эффекта, а также специфические механизмы и модели для объяснения их электрофизических и фотоэлектрических свойств.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационная работа выполнена в рамках фундаментального исследовательского проекта № БФ3-003 «Создание нетрадиционных и альтернативных источников энергии на основе примесных вольтаических эффектов в микро- и наноразмерных

полупроводниках» по плану научно-исследовательских работ Андижанского машиностроительного института (2017–2020 гг.).

Целью исследования является разработка АФН-приемника для оптоэлектронной информационно-измерительной системы.

Задачи исследования:

изучение методов создания оптрона на базе излучателя и приемников оптического излучения, разработка оптрона открытого канала на основе АФН-приемника;

контроль оптических параметров жидких средств в оптоэлектронной системе;

разработка расчета математической модели оптоэлектронного устройства на основе АФН-эффекта путем контроля физических величин вещества и материалов;

исследование чувствительности тонких пленок на основе АФН-эффекта к рентгеновскому и ультрафиолетовому излучению, а также создание высокочувствительных оптоэлектронных устройств к электромагнитному излучению.

Объектом исследования являются АФН-пленки на основе двойных и тройных полупроводниковых соединений и оптрон открытого канала на основе АФН-приемников.

Предметом исследования являются создание высокочувствительных оптоэлектронных устройств и характер фотоэлектрических процессов, наблюдаемых в фотопреобразователях на основе АФН-эффектов.

Методы исследования. В ходе исследований использовались комплексные методы экспериментальной физики: методы изучения процессов и спектральных характеристик аномального фотонапряжения в тонких слоях на основе полупроводников, применение АФН-приемников в оптоэлектронных измерительных системах, а также разработка оптрона открытого канала.

Научная новизна исследования:

разработан оптрон открытого канала на основе приемника аномального фотонапряжения для оптоэлектронной информационно-измерительной системы;

создан оптоэлектронный многопараметровый колориметр;

разработана модель математического расчета физических величин вещества и материалов;

создан автономный приёмник для регистрации рентгеновского и ультрафиолетового излучения.

Практические результаты исследования:

– разработанный оптрон открытого канала на основе АФН-приемника имеет важное значение для разработки оптоэлектронного приборостроения;

– созданный оптоэлектронный многопараметровый колориметр дал возможность контролировать технологические параметры жидких сред;

– созданный автономный АФН-приемник для регистрации рентгеновского и ультрафиолетового излучения расширил сферу оптоэлектронных датчиков, работающих в поле зрения, до области электромагнитного излучения.

Достоверность результатов исследования обеспечена использованием стандартных и широко применяемых высокоточных оптоэлектронных приборов, лабораторных и технологических методов при определении характеристик источников и приемников излучения, а также соответствием научных выводов и технических решений понятиям фундаментальной физики полупроводников и математики.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования заключается в более широком представлении процессов высокоэффективного преобразования световой энергии в электрическую даже при малой освещенности в полупроводниковых пленках на основе АФН-эффекта.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что предложенные конструкции и разработанные новые методы позволили создать высокочувствительные, надежные и автономные оптоэлектронные преобразователи.

Внедрение результатов исследования. На основе исследования по разработке АФН-приемника для оптоэлектронной информационно-измерительной системы:

в оптоэлектронной системе для контроля оптических параметров жидких средств на основе излучателя и приемника получен **патент** Агентства интеллектуальной собственности Российской Федерации на изобретение «Оптоэлектронный многопараметровый колориметр». Разработанная конструкция позволила определить и контролировать технологические параметры жидких средств (№ 2485484, 20.06.2013.);

в результате исследования фотоэлектрических свойства тонких пленок на основе АФН-эффекта и изучения чувствительности к электромагнитному излучению получен **патент** Агентства интеллектуальной собственности Российской Федерации на изобретение «Автономный приёмник рентгеновского и ультрафиолетового излучения» (№ 2522737, 20.07.2014) на основе АФН-эффекта. Сфера оптоэлектронных датчиков, работающих в поле зрения, расширена до области электромагнитного излучения;

по реализации приемники оптического излучения на основе полупроводниковых материалов в рамках **прикладного исследовательского проекта А5-003 «Разработка методов улучшения спектральных характеристик высокоскоростной телекоммуникационной сети связи»** (2012–2013 гг.) и ЕФ4-ФК-0-72548Е А5-003 «Разработка методов проверки волоконно-оптических широкополосных сетей» (2014–2016 гг.) использовались для получения высокочувствительных приемников оптического излучения (Справка Министерства высшего и среднего

специального образования Республики Узбекистан №89-03-1127 от 25.03.2019 года).

Использование научных результатов позволило осуществлять непрерывный контроль данных о различных параметрах материалов и веществ в оптоэлектронных измерительных системах.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 5 международных конференциях.

Публикация результатов исследования: по теме диссертации опубликовано 16 научных работ, из них 8 статей в зарубежных научных журналах и 1 статья в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных результатов диссертационных работ. Получены патенты Российской Федерации на 2 изобретения.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, выводов, списка использованной литературы и приложений. Текст диссертации изложен на 120 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении диссертации обоснованы актуальность и востребованность исследования; определены цель и задачи, а также объект и предмет исследования; указано соответствие приоритетным направлениям развития науки и техники республики, изложена научная новизна, практические результаты; раскрыта теоретическая и практическая значимость результатов; приведены сведения о внедрении результатов исследования, опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«АФН-эффект в полупроводниковых плёнках на основе двойных и тройных полупроводниковых соединений»** изучено возникновение аномального фотонапряжения, показаны технологические особенности изготовления и некоторые фотоэлектрические свойства АФН-плёнок на основе двойных и тройных полупроводниковых соединений, физические особенности изготовления эффективных АФН-плёнок и увеличение аномального фотонапряжения в плёночных структурах. В частности, важны фотоэлектрические преобразователи энергии на основе кадмия, теллурида, серебра, цинка, селеновых соединений и физические основы их работы. Сформулированы задачи исследования.

Во второй главе диссертации **«Оптон на основе АФН-приемника и создание приборных структур»** были проанализированы оптические источники света и их основные характеристики. Изучены особенности получения высокочувствительных пленок с аномальным фотонапряжением. Исследования показали, что эффективность полупроводниковых пленок зависит от нескольких факторов, таких как состав материала, толщина тонкой пленки, температура подложки, скорость испарения, угол испарения.

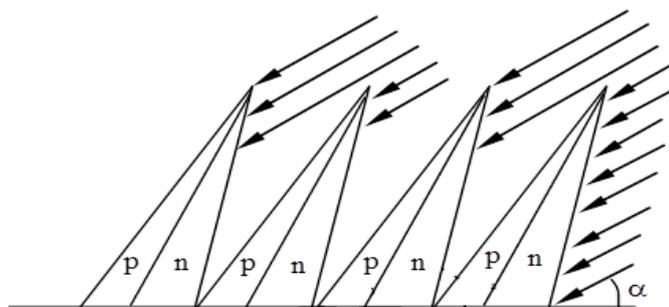


Рис. 1. Структурный вид освещения пленки с *p-n*-переходами

В целом в настоящее время АФН-эффект объясняется как общая сумма фотонапряжения, сформированного в серии потенциальных барьеров. Однако это не объясняет процесса появления АФН-эффекта в любой ситуации.

Таблица 1
Некоторые основные параметры АФН-пленок

Номер образца	Температура подложки, °С	Скорость испарения, мг/мин	Сопротивление образца, Ом
П1	100	3	10^5
П2	150	3	10^5
П5	150	0,5	5×10^5
П11	200	5	10^5
П16	200	3	10^6
П21	250	1	5×10^6
П23	250	5	10^6
П25	300	0,5	10^7
П29	300	6	10^6
П32	350	5	10^6
П36	400	3	10^7

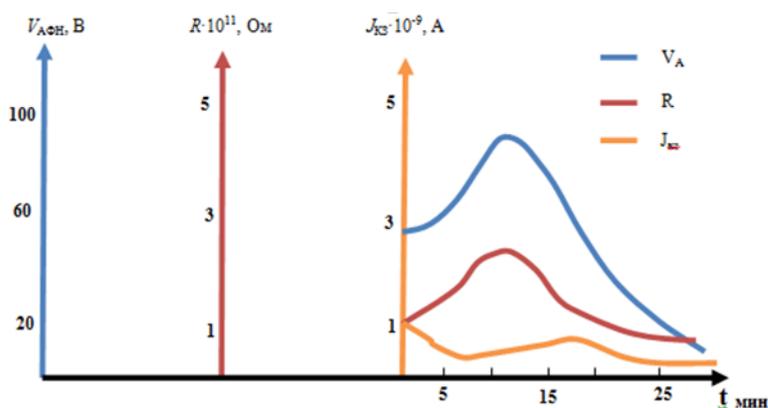


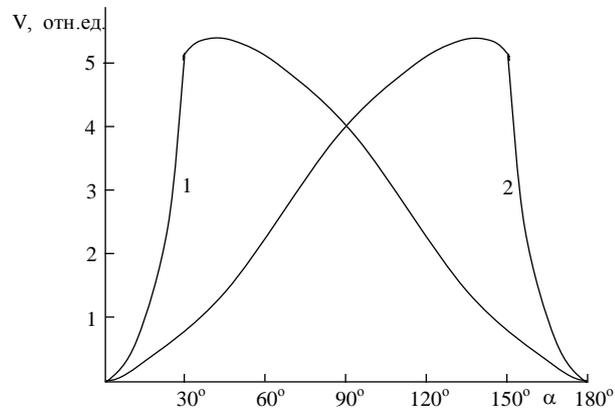
Рис. 2. Зависимость $V_{АФН}$, R и $J_{кз}$ от времени напыления

Процесс формирования высокого аномального напряжения на тонких слоях полупроводника описывается трехэтапной моделью:

во-первых, создание фототока $I_{Ф0}$ пространственным разделением неравновесных носителей на каждом микро-*p-n*-переходе;

во-вторых, возникновение элементарных напряжений на микро-*p-n*-переходах в результате накопления объемных зарядов, создаваемых фототоком;

в-третьих, формирование аномально большого фотонапряжения путем суммирования элементарных фотонапряжений на *p-n*-переходах.



$\beta_1 = 60^\circ, \beta_2 = 30^\circ$ (1), $\beta_1 = 150^\circ, \beta_2 = 120^\circ$ (2)

Рис. 3. Угловая зависимость АФН-эффекта в полупроводниковых пленках с *p-n*-переходами

Исследования также показали, что для АФН-пленок из двойных и тройных полупроводниковых соединений эффективная толщина чувствительного слоя составляет 1 мкм.

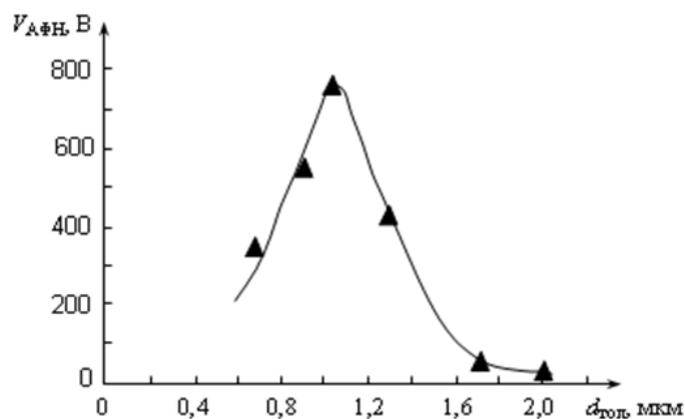
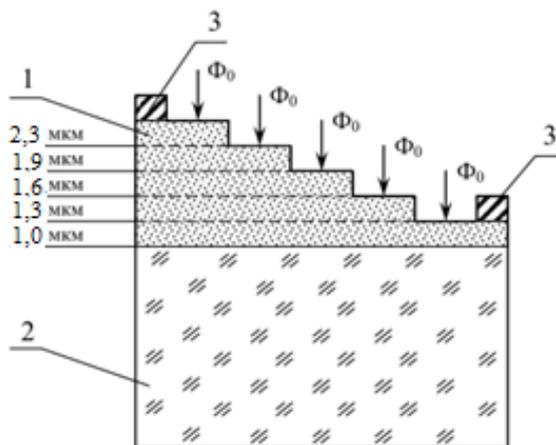


Рис. 4. Зависимость $V_{\text{АФН}}$ от толщины пленки

На рис. 4 показан графики зависимости $V_{\text{АФН}}$ от толщины пленки, проанализировав который можно считать, что АФН-эффект в пленках типа теллурида кадмия связан с суммированием напряжений *p-n*-переходов, образующихся на границе гексагональной и кубической фаз. Для пленок такого типа эффективная толщина чувствительного слоя составляет 1 мкм.

Кроме того был исследован двумерный координатно-чувствительный автономный приемник оптического излучения, полученный из полупроводниковых соединений в виде двумерной (по координатам *X* и *Y*) ступенчатообразной АФН-пленки с постепенным увеличением толщины

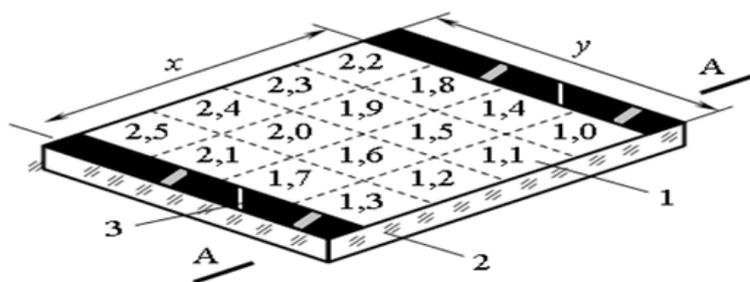
ступенек по оси X , продолжением увеличения на каждой следующей ступеньке по оси Y или наоборот (рис. 5).



1 – ступенчатообразный фоточувствительный слой из кристаллического теллурида кадмия; 2 – стеклянная подложка, 3 – металлические контакты, Φ_0 – поток падающего направленного монохроматического излучения

Рис. 5. Координатно-чувствительная АФН-пленка

При перемещении позиции монохроматического излучения от ступеньки с толщиной пленки 1 мкм до ступеньки с толщиной пленки 2,3 мкм пропорционально уменьшается генерируемое фотонапряжение $V_{АФН}$.



1 – двумерный ступенчатообразный фоточувствительный слой из кристаллического теллурида кадмия; 2 – стеклянная подложка; 3 – металлические контакты; Φ_0 – поток падающего направленного монохроматического излучения

Рис. 6. Двумерная ступенчатообразная фоточувствительная АФН-пленка

В оптоэлектронных устройствах на основе излучателя и приемника АФН-приемник используется как первичный преобразователь, преобразующий оптический сигнал в электрический. Он передает информацию о величине результирующего электрического сигнала, зарегистрированного в виде напряжения или принципиальной схемы, разделяя параметры и обрабатывая их. Таким образом, преобразованный сигнал измеряемой величины передаётся в считающее устройство.

Если рассмотреть математическую модель АФН-приемника, то он является функцией многих переменных: светового потока Φ , спектрального состава оптического излучения L , температуры T и влажности B :

$$U_{\Phi} = f(\Phi, T, L, B).$$

Коэффициент преобразования оптического излучения источника (светоизлучающие диоды, суперлюминесцентные диоды, лазерные диоды) АФН-приемником оптического излучения

$$K = \frac{\int_0^{\infty} \varphi_{e,\lambda}(\lambda) S_{отн}(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} \varphi_{e,\lambda}(\lambda) d\lambda}, \quad (1)$$

где $\varphi_{e,\lambda}(\lambda)$ – относительное спектральное распределение потока излучения источника; $S_{отн}(\lambda)$ – относительная спектральная характеристика чувствительности АФН-приемника.

Связь интегральной чувствительности АФН-приемника к потоку излучения со спектральной

$$S_{интФе} = S_{\lambda,Фе.макс} K, \quad (2)$$

где $S_{\lambda,Фе.макс}$ – максимальная спектральная чувствительность АФН-приемника к потоку излучения.

Относительная спектральная чувствительность АФН-приемника

$$S_{\lambda,отн} = S_{\lambda,абс} / S_{\lambda,макс}, \quad (3)$$

где $S_{\lambda,абс}$ – абсолютная спектральная чувствительность АФН-приемника; $S_{\lambda,макс}$ – относительная спектральная чувствительность АФН-приемника.

Порог чувствительности АФН-приемника в заданной полосе частот

$$\Phi_n = \frac{S_{отн}(\lambda)}{S_{I,инт}} = \frac{U_{ш}}{U_{и,инт}}, \quad (4)$$

где $U_{ш}$ – напряжение шума; $S_{I,инт}$, $S_{и,инт}$ – токовая и вольтовая интегральные чувствительности АФН-приемника.

Удельный порог чувствительности АФН-приемника

$$\Phi_n^* = \Phi_n \sqrt{A \Delta f} = \Phi_{n,I} \sqrt{A}, \quad (5)$$

где $\Phi_{n,I}$ – порог чувствительности АФН-приемника в единичной полосе частот; A – площадь АФН-приемника; Δf – полоса частот усилительного тракта.

Рекомендуемая полоса частот измерительного тракта при паспортизации АФН-приемника:

$$\Delta f = 0,2 f_M, \quad (6)$$

где f_M – частота модуляции излучения при паспортизации.

Удельная обнаружительная способность АФН-приемника

$$D^* = \frac{1}{\Phi_n^*}, \quad (7)$$

где Φ_n^* – удельный порог чувствительности АФН-приемника.

Пересчет спектральной чувствительности АФН-приемника к световому потоку в спектральную чувствительность к потоку излучения

$$S_{\lambda, \Phi_e} = S_{\lambda, \Phi_v} K_{\max} V(\lambda), \quad (8)$$

где S_{λ, Φ_e} , S_{λ, Φ_v} – спектральная чувствительность к потоку излучения и к световому потоку; K_{\max} – максимальная спектральная световая эффективность монохроматического излучения; $V(\lambda)$ – относительная спектральная световая эффективность монохроматического излучения для дневного зрения (см. табл. 2).

Таблица 2

Относительная спектральная световая эффективность монохроматического излучения для дневного зрения

λ , нм	300	400	500	600	700
0	-	0.004	0.323	0.631	0.0041
10	-	0.012	0.503	0.503	0.021
20	-	0.040	0.710	0.381	0.105
30	-	0.116	0.862	0.265	0.052
40	-	0.23	0.954	0.175	0.025
50	-	0.38	0.995	0.107	0.012
60	-	0.60	0.995	0.061	0.006
70	-	0.91	0.952	0.032	0.003
80	0.00003	0.139	0.870	0.017	0.00010
90	9	0.208	0.757	0.082	-
	0.00012				

Пересчет параметров АФН-приемника, заданных в световых ФМВ (фотометрическая величина), в параметры в энергетических ФМВ:

$$S_{\text{инт.}\Phi_e} = S_{\text{инт.}\Phi_v} K_{\max} k_{\Gamma}; \quad (9)$$

$$\Phi_{n,e} = \frac{\Phi_{n,v}}{K_{\max} k_{\Gamma}}, \quad \text{Вт}, \quad (10)$$

где $S_{\text{инт.}\Phi_e}$, $S_{\text{инт.}\Phi_v}$ – интегральная чувствительность АФН-приемника к световому потоку и потоку излучения; k_{Γ} – коэффициент использования излучения глазом; $\Phi_{n,e}$, $\Phi_{n,v}$ – пороги чувствительности АФН-приемника в заданной полосе частот в энергетических и световых ФМВ.

Пересчет параметров АФН-приемника, заданных в энергетических ФМВ для излучения одного источника, в параметры в энергетических ФМВ для излучения другого источника:

$$S''_{\text{инт.}\Phi_e} = \frac{S'_{\text{инт.}\Phi_v} K''}{k''}; \quad (11)$$

$$\Phi''_{n,\Phi_e} = \frac{\Phi'_{n,\Phi_v} K''}{k''}, \quad (12)$$

где $S'_{\text{инт.}\Phi_v}$, $S''_{\text{инт.}\Phi_e}$ – интегральные чувствительности АФН-приемника к потоку излучения для излучения первого и второго источников; Φ'_{n,Φ_v} , Φ''_{n,Φ_e} – пороги чувствительности АФН-приемника в заданной полосе частот в энергетических ФМВ для излучения первого и второго источников.

Связь между вольтовой и токовой чувствительностью АФН-приемника:

$$S_U \approx S_I R_H, \quad (13)$$

где R_H – сопротивление нагрузки.

$$U_\Phi \approx S_I \Phi, \quad (14)$$

где S_I – чувствительность АФН-приемника.

Напряжение фотосигнала АФН-приемника]:

$$U_c = S_U \Phi, \quad (15)$$

где S_U – вольтовая чувствительность АФН-приемника.

В целом оптоэлектронные устройства с применением АФН-приемников можно использовать в контрольно-измерительной технике в качестве параметрического измерительного преобразователя неэлектрических величин, таких как плотность, влажность, координаты движущихся объектов, цвет, концентрация, уровень и т.д.

В третьей главе диссертации «**Основное применение АФН-приемников для создания первичных преобразователей**» рассмотрено применение приемников оптического излучения на основе полупроводниковых АФН-пленок. Описан автономный приемник на основе пленки, обладающей аномальным фотонапряжением (АФН), который герметически закрыт отражающей полусферической крышкой. Рентгеновское или ультрафиолетовое излучение проходит через фоточувствительный слой и, отражаясь от подложки, попадает на интегрирующую полость, то есть на крышку, затем, отражаясь от крышки, вновь попадает на фоточувствительный слой. При этом эффективность АФН-пленки увеличивается до 50%.

Приемники оптического излучения относятся к интегрально-чувствительным приёмникам, но их можно использовать для регистрации рентгеновского и ультрафиолетового излучения в качестве первичных элементов в таких регистраторах. Кроме того, они применяются в оптоэлектронных и робототехнических устройствах для приема различных потоков излучения.

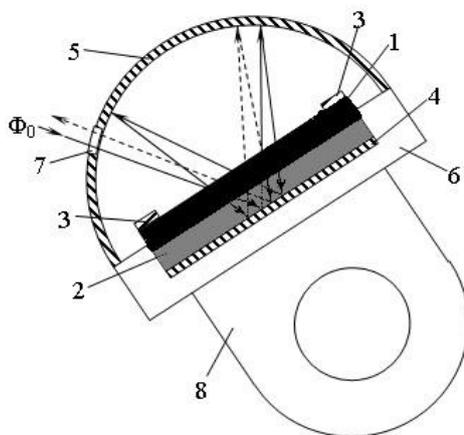


Рис. 7. Автономный приёмник рентгеновского и ультрафиолетового излучения

На рис. 7 приведена структура автономного приемника рентгеновского и ультрафиолетового излучения, где использованы следующие обозначения: 1

– фоточувствительный слой в виде АФН-пленки из CdTe-ZnSe; 2 – стеклянная пластинка, 3 – металлические контакты; 4 – отражающее покрытие из осмий-кремния или осмий-скандий-кремния; 5 – интегрирующая полость (из осмий-кремния или осмий-скандий-кремния); 6 – металлический корпус; 7 – окошко; 8 – кронштейн для закрепления.

Преимущество данного автономного приёмника рентгеновского и ультрафиолетового излучения состоит в намного более высокой чувствительности по сравнению с другими известными приёмниками, вследствие чего для его работы не требуется источник питания.

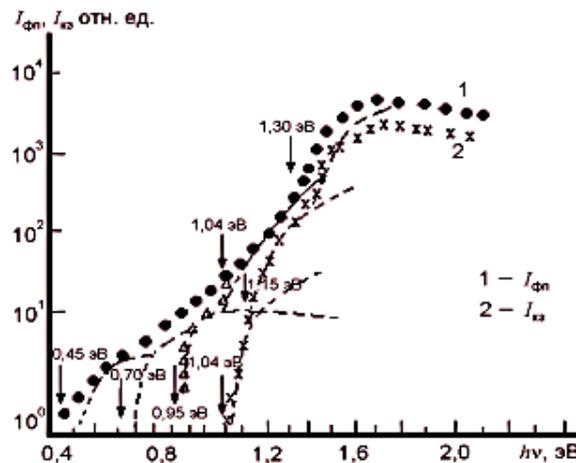
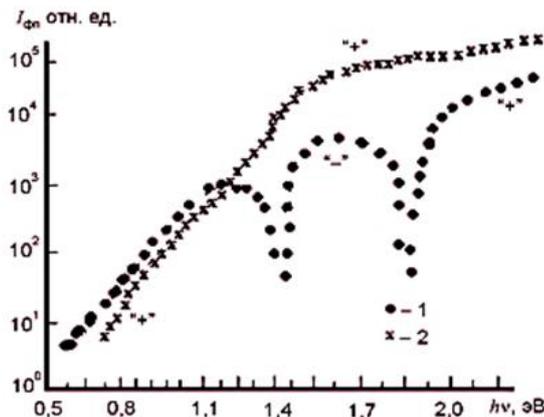


Рис. 8. Спектры $I_{\text{фн}}$, $I_{\text{кз}}$ АФН-пленок CdTe:Ag на гетероструктуре CdTe-ZnSe при фронтальном освещении



1 – при совпадении полярности приложенного поля с полярностью АФН и 2 – противоположно. $U_{\text{вн}}=14\text{В}$

Рис. 9. Спектры $I_{\text{фн}}$ АФН-пленок CdTe:Ag, полученных на ZnSe, при фронтальном освещении

Разработанный автономный приемник работает следующим образом. Через окошко (7) поступает направленное монохроматическое или иное излучение Φ_0 от источника рентгеновского или ультрафиолетового излучения, которое, проходя через фоточувствительный слой (1), отражается

от осмий-кремниевого или осмий-скандий-кремниевого покрытия (4), попадает на интегрирующую полость из осмий-кремния или осмий-скандий-кремния (5). Далее это излучение, отражаясь от крышки, вновь попадает на фоточувствительный слой. Благодаря многократному прохождению слоя (1) излучение эффективно преобразуется в фотонапряжение.

Экспериментально установлено, что при этом увеличение значения АФН составляет до 50%.

Четвёртая глава диссертации «**Применения АФН-приемника для оптоэлектронной информационно-измерительной системы**» посвящена разработке оптоэлектронных датчиков на основе АФН-пленок из полупроводниковых соединений. Разработан оптоэлектронный многопараметровый колориметр и получена возможность определения физико-химического параметра жидких сред⁵. Также было установлено, что АФН-приемники перспективно будут использоваться для информационно-измерительных систем.

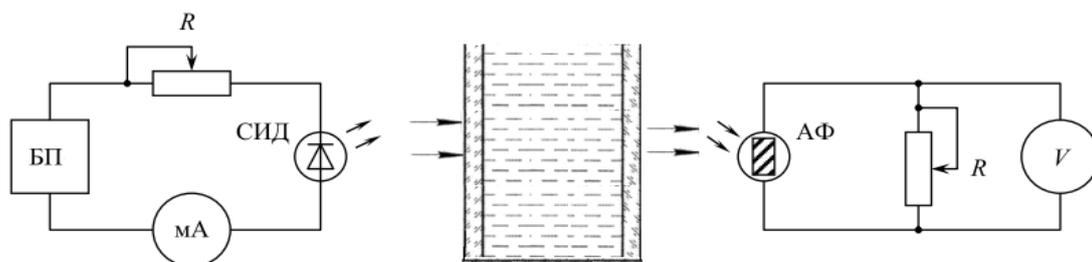


Рис. 10. Схематический метод определения физико-химического параметра жидкости с помощью АФН приемника

Для контроля цвета жидкостей контролируемый объект облучается двумя световыми потоками светоизлучающего диода (СИД) с длинами волн λ_1 (зеленый) и λ_2 (красный).

Согласно закону Ламберта–Бера, проходящие потоки излучения через слой контролируемой жидкости на λ_1 и λ_2 длинах волн имеют вид

$$\Phi_{\lambda_1} = \Phi_{0\lambda_1} e^{-k_1 d}; \quad (16)$$

$$\Phi_{\lambda_2} = \Phi_{0\lambda_2} e^{-(k_1+k_2)d} = \Phi_{0\lambda_2} e^{-k_1 d} + \Phi_{0\lambda_2} e^{-k_2 d}, \quad (17)$$

где $\Phi_{0\lambda_1}$, $\Phi_{0\lambda_2}$ – начальные потоки СИД₁, СИД₂; Φ_{λ_1} , Φ_{λ_2} – потоки прошедшего через слой контролируемого вещества; k_1 – коэффициент поглощения; k_2 – коэффициент поглощения, зависящий от цветности; d – толщина слоя контролируемого вещества.

Выравнивая начальные значения потоков излучения $\Phi_{0\lambda_1} = \Phi_{0\lambda_2}$, получим

⁵ Оптоэлектронный многопараметровый колориметр / Б.Н Рахимов, Е.Ю. Кутенкова, Д.Д. Алижанов, Ш.И. Мадумаров // СГГА – патент № 2485484. Опубликовано 20.06.2013, Бюл. № 17.

$$\frac{\Phi_{\lambda_1}}{\Phi_{\lambda_2}} = \frac{\Phi_{0\lambda_1} \cdot e^{-k_1 d}}{\Phi_{0\lambda_1} \cdot e^{-k_1 d} \cdot e^{-k_2 d}} = e^{k_2 d} \quad (18)$$

Из этих выражений видно, что при $d = \text{const}$ отношение проходящих потоков излучения на λ_1 и λ_2 длинах волн будет пропорционально цветности контролируемого вещества. Применяя разработанную структурную схему, предлагается устройство для автоматического контроля цвета жидких сред.

Задача разработки оптоэлектронных приборов, способных предоставлять информацию о физико-химических параметрах технологических процессов и изделий, связана с рядом предъявляемых к ним требований: бесконтактность контроля, высокая чувствительность и точность, быстрое действие, малые габариты, простота и надежность.

Суть оптоэлектронного контроля состоит в том, что любое вещество отражает, поглощает или излучает свет. При этом в зависимости от физико-химического состава вещества и количественного соотношения составляющих его элементов изменяются интенсивность, светопоглощение, угол отражения и другие характеристики взаимодействия светового излучения с веществом.

Оптоэлектронный многопараметровый колориметр содержит помещенные в корпус задающий генератор, n диодов, n измерительных фотоприемников, оптически связанных с диодами, блок обработки фотозлектрического сигнала, выход которого соединен с регистрирующим прибором, кювету, к которой присоединяются воронка и кран для перекрывания и пропускания контролируемой жидкости в полости кюветы, коммутатор для переключения излучения на одну из оптопар, согласно изобретению кювета в нем выполнена из кварцевого стекла в виде цилиндра, состоящего из двух идентичных полых полуцилиндров, прикрепленных с двух сторон к плоскому зеркалу с двумя отражающими поверхностями, используются лазерные диоды и заранее подбираются по известным спектральным характеристикам n компонентам (параметрам), содержащимся в полупрозрачных жидкостях, кроме того, предусмотрена опорная оптопара: лазерный диод-фотоприемник для обеспечения достоверности результатов измерений.

Оптоэлектронный многопараметровый колориметр состоит из задающего генератора (1) (источника импульсного питания), коммутатора (2), опорного лазерного диода (3), лазерных диодов (4, 5, 6, 7), $(n-1)_{\text{из}}$, $n_{\text{из}}$, плоского зеркала (8) с двумя отражающими поверхностями, контролируемого объекта (жидкости) (9), опорного фотоприемника (10), измерительных фотоприемников (11, 12, 13, 14), $(n-1)_{\text{пр}}$, $n_{\text{пр}}$, блока обработки фотозлектрического сигнала (16), регистрирующего прибора (17) (например, ЭВМ), кюветы, выполненной из кварцевого стекла в виде цилиндра, состоящего из двух идентичных полых полуцилиндров, прикрепленных с двух сторон к плоскому зеркалу с двумя отражающими поверхностями.

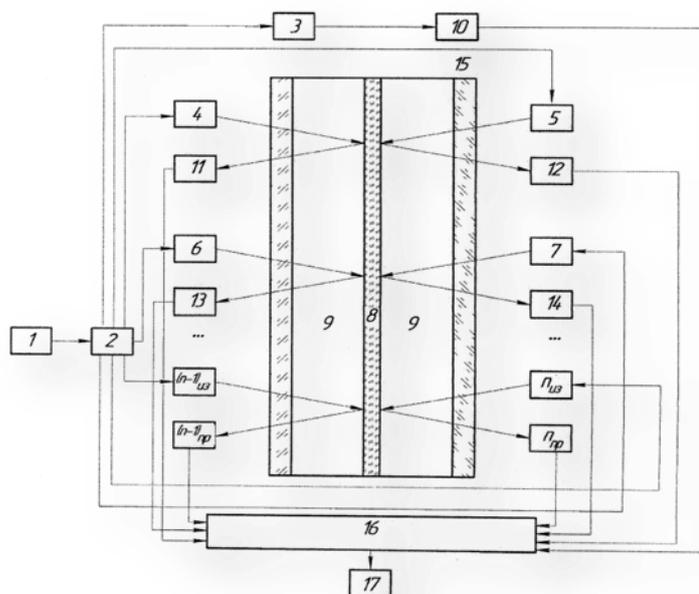


Рис. 12. Блок-схема оптоэлектронного многопараметрового колориметра.

Колориметр (рис. 13) включает в себя кювету (15), зеркало (8) с двумя отражающими поверхностями, а также присоединенные к кювете стеклянную градуированную воронку (18), куда заливается контролируемая жидкость (9), и кран (19) для пропускания и перекрытия потока исследуемой жидкости (9), вся конструкция помещается в корпус (20).

Устройство работает следующим образом. При включении задающий генератор (1) вырабатывает прямоугольные импульсы 8–10 Гц. Разделенные импульсы через коммутатор-переключатель оптронов (2) попеременно направляется на лазерные светодиоды (4, 5, 6, 7), $(n-1)_{из}$, $n_{из}$, имеющие известные спектральные характеристики, подходящие к спектральным характеристикам n компонентов (параметров), содержащихся в полупрозрачных жидкостях. При этом оптопары могут включаться последовательно. Лазерный диод (3) и измерительный фотоприемник (10) образуют опорную оптопару, которая предусмотрена для того, чтобы сравнивать измерительные сигналы с сигналом опорного канала и обеспечивать достоверность результатов измерения. При заполнении цилиндрического отверстия кюветы (15) контролируемой жидкостью (9) она облучается лазерными светодиодами. В первом положении переключателя поток излучения лазерного диода (4) фокусируется, проходит через контролируемую жидкость (9), отражается от одной из двух поверхностей плоского зеркала (8) и, вновь проходя через контролируемый объект (9), попадает на измерительный фотоприемник (11). Затем сигналы поступают в блок обработки фотоэлектрического сигнала (16), где реализуется отношение сигналов этого измерительного потока и компенсационного от диода (3) и измерительного фотоприемника (10). Сигнал отношения пропорционален оптической плотности жидких сред или прозрачных твердых тел и величине

коэффициента пропускания, также можно измерять концентрацию веществ в растворе, что возможно при использовании предварительно измеренных градуировочных характеристик.

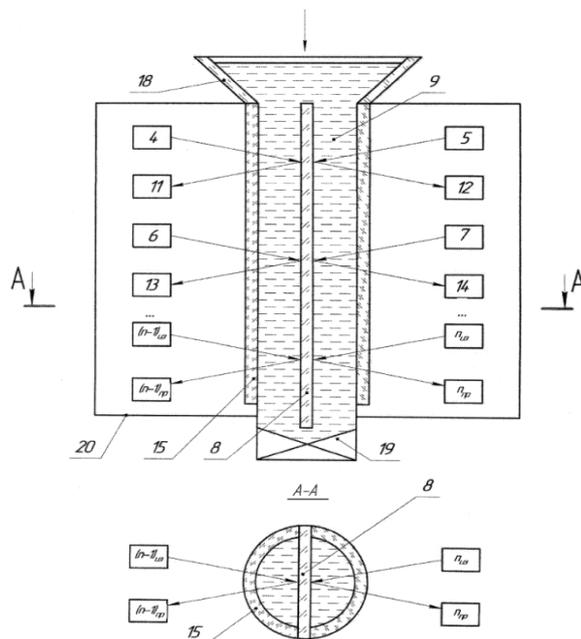


Рис. 13. Схема оптоэлектронного многопараметрового колориметра

Результаты подаются на измерительный прибор или ЭВМ (17), по показанию которого судят о параметрах жидких сред. ЭВМ обеспечивает автоматическое выполнение аналого-цифровых измерительных преобразований, вычислительных процедур, выдачу полученной информации, формирование командной и другой служебной информации, необходимой для функционирования оптоэлектронных многофункциональных автоматических контрольно-измерительных систем. Вся конструкция помещается в корпус (20), а само устройство можно установить на линии технологического процесса, т.е. контролировать жидкости, протекающие через трубу по стрелке.

ВЫВОДЫ

Проведенные многочисленные анализы литературных данных в теоретических и экспериментальных работах показывают, что АФН-приемник является перспективным элементом для оптрона открытого канала в качестве приемника оптического излучения автономного типа.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы.

1. Проанализировав методы создания оптрона на базе излучателя и приемника оптического излучения для разработки оптрона открытого канала, предложен оптрон на основе АФН-приемника для оптоэлектронной информационно-измерительной системы.

2. Разработан оптоэлектронный многопараметровый колориметр на основе нарушенного полного и внутреннего отражения для одновременного контроля ряда технологических параметров жидких сред (получен патент РФ на изобретение № 2485484).

3. Научно обоснована математическая модель АФН-приемника, экспериментально рассмотрена классификация вариантов включения оптрона с применением АФН-приемников в оптоэлектронных устройствах для контроля и измерения.

4. При изучении фотоэлектрических характеристик АФН-пленок разработано оптоэлектронное устройство для регистрации рентгеновского и ультрафиолетового излучения, которое применяется в оптоэлектронных и робототехнических устройствах для приема различных потоков излучения. Экспериментально установлено, что эффективность АФН-пленки увеличивалась до 50% (получен патент РФ на изобретение № 2522737).

5. Обоснованы перспективы создания оптоэлектронного неразрушающего метода контроля технологических параметров нефти и нефтепродуктов на основе АФН-приёмника.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARD OF SCIENTIFIC DEGREES
DSc.31.01.2019.FM/T.03.05 UNDER TASHKENT STATE
TECHNICAL UNIVERSITY, ANDIJAN STATE UNIVERSITY OF
UZBEKISTAN**

ANDIZHAN MACHINE BUILDING INSTITUTE

ALIZHANOV DONERBEK DILSHODOVICH

**DEVELOPMENT OF APV - RECEIVER FOR OPTOELECTRONIC
INFORMATION - MEASUREMENT SYSTEM**

01.04.10- Physics of semiconductors

**ABSTRACT OF DISSERTATION OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PHD)
ON TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2019

The theme of dissertation of the doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered by the Supreme Attestation Commission of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under No. B2019.2.PhD/T1043.

Dissertation has been prepared at Andijan Machine Building Institute.

The abstract of the dissertation is posted in three (uzbek, russian, english (resume)) languages on the website (tdtu.uz) and the “Ziyonet” Informational and educational portal (www.ziyonet.uz).

Scientific supervisor:

Rakhimov Nematzhon

Doctor of Technical Sciences, professor

Official opponents:

Rakhmatov Ahmad Zainiddinovich

Doctor of Technical Sciences, professor

Tachilin Stanislav Anatolevich

Candidate of Technical Sciences,

Associate Professor

Leading organization:

Karakalpak state university

The defense of the dissertation will be held on « ___ » _____ 2019 at _____ at the meeting of Scientific Council number DSc. 31.01.2019.FM/T.03.05 at the Tashkent State Technical University, National University Uzbekistan (address: 100095, 2 University street, Tashkent, Uzbekistan. Phone/fax: (71) 246-46-00, e-mail: tstu_info@edu.uz).

Dissertation is available to review at Information-resource centre at Physical-technical institute (registered under № ____). (Address: 100095, 2 University street, Tashkent, Uzbekistan. Phone/fax: (71) 246-03-41).

Abstract of dissertation distributed on « ___ » _____ 2019 .

(Registry record No. _____ on « ___ » _____ 2019 .).

M.K. Bakhadir Khanov

Chairman of Scientific Council on award of scientific degrees, DSc in physics and mathematics, academician

B.E. Egamberdiyev

Scientific secretary of Scientific Council on award of scientific degrees, DSc in physics and mathematics, professor

N.F. Zikrillayev

Chairman of Scientific Seminar under Scientific Council on award of scientific degrees, DSc in physics and mathematics, professor

INTRODUCTION (abstract of the PhD dissertation)

The aim of research work development of APV is - the receiver for optoelectronic it is information - measuring system.

The objects of the research are the APV-film research on the basis of double and threefold semiconductor connections and an optron of an open channel on the basis of AFN-receivers.

Scientific novelty of the research:

the optron of an open channel on the basis of the receiver abnormal phototension is developed for optoelectronic information and measuring system;

the optoelectronic multiparameter colorimeter is created;

it is developed model of mathematical calculation physical to the size of substance and materials;

the independent receiver for registration of x-ray and ultra-violet radiation is created.

Implementation of the research results.

On the basis of a research development of APV - the receiver for optoelectronic it is information - measuring system:

in optoelectronic system in control optical parameters of liquid means on the basis of the radiator and the receiver the patent of the Agency of intellectual property of the Russian Federation for an invention "the Optoelectronic multiparameter colorimeter" is taken out. The developed design allowed to define and control technological parameters of liquid means (No. 2485484, 20.06.2013.);

having investigated photo-electric thin films of property on the basis of APV of effect and studying sensitivity to electromagnetic radiation it is received, the patent of the Agency of intellectual property of the Russian Federation for an invention "The independent receiver of x-ray and ultra-violet radiation" (No. 2522737, 20.07.2014.) on the basis of effect APV. The sphere of the optoelectronic sensors working under review is expanded to area of electromagnetic radiation;

on realization receivers of optical radiation on the basis of semiconductor materials within the applied research project A5-003 "Development of methods of improvement of spectral characteristics of a high-speed telecommunication communication network" (2012-2013) and EF4-FK-0-72548E A5-003 "Development of methods of check of fiber-optical broadband networks" (2014-2016) was developed it was used for receiving highly sensitive receivers of optical radiation (The reference of the Ministry of the higher and secondary vocational education of RUz No. 89-03-1127 of 25.03.2019).

Use of scientific results allowed to exercise continuous control of the materials and substances given about various parameters in optoelectronic measuring systems.

The structure and volume of the thesis. The thesis consists of introduction, four chapters, conclusions, the list of the used literature and applications.

The text of the thesis is stated on 120 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (Часть I; Part I)

1. Рахимов Б.Н., Кутенкова Е.Ю., Алижанов Д.Д., Мадумаров Ш.И. Оптоэлектронный многопараметровый колориметр. Патент РФ № 2485484, 20.06.2013. № 17.
2. Рахимов Н.Р., Жмудь В.А., Алижанов Д.Д., Мадумаров Ш.И. Автономный приёмник для регистрации рентгеновского и ультрафиолетового излучения. Патент РФ № 2522737, 20.07.2014. № 20.
3. Рахимов Н.Р., Алижанов Д.Д. Математическая модель АФН-приемника // Мухаммад ал-Хоразмий авлодлари, №2(4) 2018 (05.00.00. №10).
4. Рахимов Н.Р., Алижанов Д.Д., Жмудь В.А. Автономный приемник рентгеновского и ультрафиолетового излучения // Приборы и техника эксперимента. – 2015. – № 1. – С. 131-132 (№11. Springer, IF:0.673).
5. Рахимов Н.Р., Алижанов Д.Д., Жмудь В.А. Племенос Д., Рева И.Л. Перспективы применения АФН-приемника для разработки оптоэлектронной информационно-измерительной системы // Научный вестник НГТУ. – 2014. – С. 181–188 (№11. Springer, IF:0.334).
6. Алижанов Д.Д., Мирзаев К.С., Усмонов Ж.Н., Анарбоев И., Сохибова З.М. Преимущества использования АФН-элементов в автоматизации // Автоматика и программная инженерия. – 2017. – № 2 (20). – С. 114–118 (IF: 0,252).

II бўлим (Часть II; Part II)

7. Алижанов Д.Д., Рахимов Н.Р., Жмудь В.А. / Разработка оптоэлектронных датчиков на основе АФН-пленок из полупроводниковых соединений // Сборник научных трудов НГТУ. – 2012. – №2 (68). – С. 37–42.
8. Ларина Т.В., Кутенкова Е.Ю., Жмудь В.А., Алижанов Д.Д. Оптоэлектронный метод контроля физико-механических параметров поверхностей твердых материалов. Автоматика и программная инженерия. – 2012. – С. 43–48.
9. Рахимов Н.Р., Алижанов Д.Д. Особенности получения координатно-чувствительного приемника оптического излучения на основе полупроводниковых пленок с аномальным фотонапряжением // Автоматика и программная инженерия. – 2012. – № 2 (2). – С. 41–46.
10. Ларина Т.В., Рахимов Н.Р., Алижанов Д.Д. Разработка оптоэлектронного датчика для исследования процесса усталости образца

металлических конструкций // Автоматика и программная инженерия. – 2012. – № 2 (2). – С. 31–35.

11. Алижанов Д.Д. Особенности получения фоточувствительных пленок с аномальным фотонапряжением // Автоматика и программная инженерия. – 2013. – № 3 (5). – С. 81–84.

12. Рахимов Н.Р., Серьезнов А.Н., Рахимов Б.Н., Алижанов Д.Д. Координатно-чувствительные приемники оптического излучения на основе полупроводниковых пленок с аномальным фотонапряжением // XIII Международная научно-техническая конференция АПЭП – 2016 г. – С. 99–105.

13. Zhmud V.A., Rakhimov N.R., Alijanov D.D. The Independent Receiver of Optical Radiation on Basis of APV of Structures for Automatic Optoelectronic Devices / Proceeding CIMHAR-2011. P. 27- 30.

14. Отажонов С.М., Жураев Н. Алижанов Д.Д. Фотодетектор для регистрации рентгеновского и ультрафиолетового излучения // Международный научный конгресс и специализированная выставка – Интерэкспо ГЕО – Сибирь 2011.

15. Шамирзаев С.Х., Рахимов Н.Р., Алижанов Д.Д. Разработка оптоэлектронных датчиков для контроля физико-химических параметров веществ и материалов на основе АФН-приемника // Международный научный конгресс и специализированная выставка – Интерэкспо ГЕО – Сибирь 2011.

16. Рахимов Н.Р., Алижанов Д.Д., Болтабоев И. / Разработка оптоэлектронного фотоколориметра для автоматического анализа жидких сред // Материалы IV международной конференции по оптическим и фотоэлектрическим явлениям в полупроводниковых микро- и наноструктурах. – Фергана. – 2018. – С. 39–42.

Автореферат «Тил ва адабиёт таълими» журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилиб, ўзбек ва рус тилларидаги матнлар ўзаро мувофиқлаштирилди. (30.05.2019 йил).

Босишга рухсат этилди 15.07.2019. Ҳажми 2.75 босма табок.
Бичими 60×84 1/16. Адади 80 нусха. Буюртма 134.
М. Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий Университети
босмахонасида чоп этилди.

