

**МИРЗО УЛУҒБЕК НОМИДАГИ ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ
УНИВЕРСИТЕТИ ҚОШИДАГИ ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАР ФИЗИКАСИ
ВА МИКРОЭЛЕКТРОНИКА ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ
ҲУЗУРИДАГИ ФАЛСАФА ДОКТОРИ ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ
БЕРУВЧИ PhD.30.08.2018.FM/T.01.12 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ФАРҒОНА ПОЛИТЕХНИКА ИНСТИТУТИ

ЙЎЛДАШЕВ ХУРШИДЖОН ТОЛИБОВИЧ

**ЯРИМЎТКАЗГИЧ ЭЛЕКТРОДЛИ ЎТА ҚИСҚА ГАЗ РАЗРЯДИ
ЯЧЕЙКАСИДА ФОТОЭЛЕКТРИК КУЧАЙТИРИШ ЖАРАЁНЛАРИ**

01.04.10-яримўтказгичлар физикаси

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯ АВТОРЕФЕРАТИ**

ТОШКЕНТ-2019

**Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)
диссертацияси автореферати мундарижаси**

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

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

Йўлдашев Хуршидjon Толибович

Яримўтказгич электродли ўта қисқа газ разряди ячейкасида
фотоэлектрик кучайтириш жараёнлари3

Йўлдашев Хуршидjon Толибович

Фотоэлектрические усилительные процессы в сверхтонкой газоразрядной
ячейке с полупроводниковым электродом.....27

Yuldashev Khurshid

Photoelectric intensive processes with a semiconducting electrode in sub-micron
cell of gas-discharge51

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works.....55

**МИРЗО УЛУҒБЕК НОМИДАГИ ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ
УНИВЕРСИТЕТИ ҚОШИДАГИ ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАР ФИЗИКАСИ
ВА МИКРОЭЛЕКТРОНИКА ИЛМИЙ - ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ
ХУЗУРИДАГИ ФАЛСАФА ДОКТОРИ ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ
БЕРУВЧИ PhD.30.08.2018.FM/T.01.12 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ФАРҒОНА ПОЛИТЕХНИКА ИНСТИТУТИ

ЙЎЛДАШЕВ ХУРШИДЖОН ТОЛИБОВИЧ

**ЯРИМЎТКАЗГИЧ ЭЛЕКТРОДЛИ ЎТА ҚИСҚА ГАЗ РАЗРЯДИ
ЯЧЕЙКАСИДА ФОТОЭЛЕКТРИК КУЧАЙТИРИШ ЖАРАЁНЛАРИ**

01.04.10-яримўтказгичлар физикаси

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯ АВТОРЕФЕРАТИ**

ТОШКЕНТ-2019

Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2017.1. PhD/FM35 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Фарғона политехника институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (ispm.uz) ва “ZiyoNet” Ахборот-таълим порталида (www.ziynet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Абдурахманов Кахар Паттахович
физика-математика фанлари доктори, профессор.

Расмий оппонентлар:

Далиев Хожакбар Султанович
физика-математика фанлари доктори, профессор.

Илиев Халмурат Миджитович
физика-математика фанлари доктори, профессор.

Етакчи ташкилот:

Андижон давлат университети

Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети қошидаги Яримўтказгичлар физикаси ва микроэлектроника илмий тадқиқот-институти ҳузуридаги фалсафа доктори илмий даражасини берувчи PhD.30.08.2018.FM/T.01.12 рақамли илмий кенгашнинг 2019 йил «__» _____ соат ____ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100057, Тошкент шаҳри, Янги Олмазор кўчаси, 20-уй. Тел./факс: (99895) 146-77-44; e-mail: info@ispm.uz), ЎЗМУ қошидаги “Яримўтказгичлар физикаси ва микроэлектроника” ИТИ мажлислар зали).

Диссертация билан Ахборот технологияларини жорий этиш бўлимида танишиш мумкин. (__ рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100057, Тошкент шаҳри, Янги Олмазор кўчаси, 20-уй. Тел./факс: (99895) 146-77-44; e-mail: info@ispm.uz),

Диссертация автореферати 2019 йил «__» _____ да таркатилди.

(2019 йил «__» _____ даги рақамли реестр баённомаси).

Ш.Б. Утамурадова

Фалсафа доктори илмий даражасини берувчи
Илмий Кенгаш раиси, ф.-м.ф.д., профессор

С.С. Насриддинов

Фалсафа доктори илмий даражасини берувчи
Илмий Кенгаш котиби т.ф.д., доцент

А.Т. Мамадалимов

Фалсафа доктори илмий даражасини Илмий
Кенгаш қошидаги илмий семинар
раиси, ф.-м.ф.д., академик

Кириш (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда бугунги кунда яримўтказгичлар физикаси соҳасида оптик ва инфрақизил (ИК) нурларни қайд қилиш учун яримўтказгич электродли газ-разряди системаси асосида фотоўзгартиргичлар яратишга қаратилган тадқиқотлар олиб борилмоқда. Шу ўринда ўта қисқа газ-разряди ячейкали яримўтказгич электродли газ-разряди системасини яратиш ва ундаги номувозанат фотоэлектрик ҳодисаларни тадқиқ қилиш, тез ўтувчи жараёнларни текшириш, материалларнинг нуқсонларини диагностика қилиш мақсадида яримўтказгич электродли газ-разряди системаларининг функционал имкониятларини микроэлектроника соҳаларида қўллаш муҳим вазифалардан бири бўлиб қолмоқда.

Ҳозирги кунда жаҳон миқёсида фотоқабулқилгичлар ва фотоўзгартиргичларнинг янги турларини яратишга ва мавжуд бўлганларининг асосий ишчи параметрларини такомиллаштиришга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Бу борада, яримўтказгич электрод материали ва параметрларининг ўта қисқа газ-разряди ячейкасидаги ток бўйича кучайтириш жараёнига таъсири; қўшимча металл-тўр ёки плазмали контактлар киритилган яримўтказгич электродли газ-разряди системасида токнинг кучайтирилиши ҳамда фотоэлектрик, чиқиш ва ўзгартириш характеристикаларида яримўтказгич қатламнинг роли; яримўтказгич электродли газ-разряди системасида яримўтказгич ва газ-разряди ячейкасининг қалинликлари, газ босими ва электр майдон кучланганлигига боғлиқ турғунлаштирилган ток жараёнлари бўйича мақсадли тадқиқотлар ўтказиш долзарб масалалар бўлиб келмоқда.

Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантиришнинг Ҳаракатлар стратегиясига асосан белгиланган вазифаларни амалга оширишда илмий ва инновацион ютуқларни амалиётга кенг жорий этишнинг самарали механизмларини яратиш масалаларига алоҳида эътибор қаратилмоқда. Бундай фаолиятлар Ўзбекистон Республикаси Президенти томонидан эълон қилинган “Фаол тадбиркорлик, инновацион ғоялар ва технологияларни қўллаб-қувватлаш йили” доирасида амалга оширилиб, у халқ хўжалигини илмий ривожлантиришнинг ҳозирги замон талабларига жавоб берадиган оригинал илмий натижаларни олиш учун мўлжалланган. Бунда спектрнинг инфрақизил диапазонидаги янги типдаги фотоўзгартиргичларни олиш усулларини такомиллаштириш масалаларига, жумладан, кичик электродлараро масофаларда ($d \leq 0,1$ мм) яримўтказгич электродли газ-разряди системасини характерловчи хусусиятларининг тадқиқотида алоҳида эътибор қаратилмоқда. Бу борада яримўтказгич электродли ўта қисқа газ-разряди ячейкасида фотоэлектрик кучайтириш жараёнларини тадқиқ қилиш долзарб масала ҳисобланади. Бундай қурилмалар инфрақизил тасвирларни юқори тезликли ўзгартиргичларда, масалан, оптоэлектроника ва фотоўзгартиргичлар техникасида инфрақизил лазер нурларини фазовий тақсимотини диагностика қилиш соҳасида катта амалий аҳамиятга эга.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги ПФ-4947-сон Фармони, 2017 йил 13 февралдаги “2017-2021 йилларда электротехника саноатини ривожлантиришнинг устивор йўналишлари тўғрисида”ги ПҚ-2772-сон ҳамда 2017 йил 17 февралдаги “Фанлар Академиясининг фаолиятини, илмий тадқиқот ишларини ташкил этиш, бошқариш ва молиялаштиришни янада такомиллаштириш чора тадбирлари тўғрисида”ги ПҚ-2789-сон Қарорлари ва мазкур фаолиятга тегишли фан ва технологиялар соҳасида қабул қилинган бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устивор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг III. “Энергетика, энергоресурс тежамкорлиги, транспорт, машина ва асбобсозлик, замонавий электроника, микроэлектроника, фотоника ва электрон асбобсозлиги ривожланиши”нинг устивор йўналишларига мувофиқ бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Шу кунга қадар Россия фанлар академияси А.Ф.Иоффе номидаги Санкт-Петербург Физика-техника институти олимлари С.М. Рывкин, Л.Г. Парицкий, Ю.А. Астров, В.Б. Шуман, Л.М. Порцел, А.Н. Лодыгинлар томонидан классик яримўтказгичли ионизацион камерада фотоэлектрик ва электрофизик ҳодисалар ҳамда унинг амалий қўлланиш имкониятлари ўрганилган.

Б.Г. Саламов, Э.А. Султанов ва бошқалар ишларида, тор ($d=60$ мкм) газ-разряди оралиғида стационар токни тақсимотиға яримўтказгич электрод таъсири унинг сиртиға яқин қатламининг ўтказувчанлиғиға боғлиқ бўлиб, газ оралиқларида Пашен эгри чизик соҳасида ёқиш кучланиши кам ўзгарганлиғи аниқланган.

Ўзбекистон олимлари академик А.Т. Мамадалимов, Ш.С. Касымов, З. Хайдаров, В.Т. Туланов, Х.Б. Сиябековлар томонидан яримўтказгич электродли газ-разряди системасининг ишчи параметрларини такомиллаштириш бўйича назарий ва экспериментал тадқиқот ишлари олиб борилган. Жумладан, З. Хайдаров яримўтказгич электродли тор ($d<20$ мкм) газ-разряди ячейкасида физик жараёнларни ўрганиш бўйича экспериментал тадқиқотларида газ-разрядида Таунсенд кўчкиси учун яримўтказгич сиртидан етарлича кучли автоэлектрон эмиссия электронлар етказиб бериш ролини ўйнаши ва анча кичик оралиқларда ток ўтказишнинг асосий механизми эканлиғи аниқланган.

Лекин, газ-разряди оралиғи кичик бўлган структуралардаги физик жараёнлар тўла аниқланмаган, айниқса ток ўтиши ва разряд ёнишининг стабиллашиш механизмлари яратилмаган, жумладан, газ ва люминесцент экран нурланиш интенсивлигининг газ-разряди оралиғи ($d=10-100$ мкм) ва ундаги босим ($P=5-120$ мм.с.м.уст) нинг турли қийматларида ток кучиға боғлиқлиғи яримўтказгич арсенид галлий фотоқабулқилгичли тизимлар учун экспериментал тадқиқ қилинмаган. Бу ўз навбатида газ-разряд оралиғи

параметрлари (d , P) ва фотосезгир яримўтказгичнинг электрофизик хусусиятларига боғлиқ ҳолда ток турғунлигини таъминлаш муаммолари бўйича кўшимча экспериментал тадқиқотлар олиб боришни талаб қилади.

Тадқиқотнинг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.

Диссертация тадқиқоти Фарғона политехника институтининг № И-2014-3-1 рақамли «Қуёш энергиясини ўзгартириш йўли билан иссиқхона ва парниклардаги температуранинг турғунлаштириш учун фаол нанокиришмалар плёнка-керамик композитлар ишлаб чиқаришни ташкил этиш» (2014-2015йй) мавзусидаги лойиҳа доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади арсенид галлий яримўтказгич электродли ўта қисқа газ разряди ячейкасида фотоэлектрик кучайтириш жараёнларининг механизмларини аниқлашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

-яримўтказгич электродли ионизацион фотоўзгартиргичнинг газ ва люминесцент экран нурланиш интенсивлигини ўта қисқа газ разряди оралиғи ($d=10-100$ мкм) ва ундаги босимнинг турли қийматларида ток кучига боғланишини аниқлаш;

-иккита плазма контактли структурада яримўтказгич электрод материалининг параметрларига боғлиқ ҳолда фотоэлектрик кучайтириш жараёнини назарий ва тажрибавий текшириш;

-кўшимча металл-тўр электрод киритилган структурада яримўтказгич электрод бўйлама фотоўтказувчанлигининг ўта қисқа газ-разряди ячейкасидаги ток бўйича кучайтириш жараёнига таъсирини тадқиқ этиш;

- яримўтказгич электродли ўта қисқа газ-разряди ячейкасининг люкс-ампер, чиқиш ва ўзгартириш хarakterистикаларини ўрганиш асосида фотоўзгартиргичнинг кучайтириш коэффициентини аниқлаш.

Тадқиқотнинг объекти яримўтказгичли арсенид галлий, шаффоф электрод SnO_2 ва люминесцент экранга эга бўлган ўта қисқа газ-разряди ячейкасида ташкил топган инфрақизил тасвир ўзгартиргич сифатидаги ионизацион тизим ҳисобланади.

Тадқиқотнинг предмети яримўтказгич электродли ўта қисқа газ-разряди ячейкасидаги фотоэлектрик кучайтириш жараёнлари, ток ўтказиш ва разряд ёнишининг стабиллаштириш механизмлари ҳисобланади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида яримўтказгич электродли газ-разряди системасининг электрофизик параметрларини аниқлашда вольт-ампер ва люкс-ампер хarakterистикаларини ўлчаш усулларида фойдаланилди.

Тадқиқотнинг илмий янгиллиги қуйидагилардан иборат:

яримўтказгич электродли газ-разряди системасида газ ва люминесцент экран нурланиш интенсивликларини газ-разряди оралиғи ($d=10-100$ мкм), газ босими ($P=5-120$ мм.сим.уст) ва ток кучига боғланиши аниқланган ва люминесцент экран нурланиш интенсивлиги газ-разрядининг нурланиш интенсивлигига нисбатан 8-10 марта ортиши кўрсатилган;

қўшимча иккита плазма контактли структурада фотоэлектрик кучайтириш жараёни арсенид галлий яримўтказгич электроднинг ёритилганлиги ва нур ютиш қобилиятига кучли боғлиқлиги ҳамда унинг қалинлиги камайиши билан фотоэлектрик кучайтириш коэффициентини ортиб бориши аниқланган;

инфрақизил нурланишларни фотоэлектрик ўзгартириш учун яримўтказгичли ионизацион системанинг конструкцияси ишлаб чиқилган;

бир жинсли бўлмаган ҳажмий ютилишда яримўтказгичнинг бўйлама фотоўтказувчанлиги учун фотоэлектрик кучайтириш коэффициентининг ҳисоблаш методи ишлаб чиқилган;

газ-разряди оралиғига қўшимча металл-тўр электрод киритиб яримўтказгич электродли ионизацион тизимнинг сезгирлигини 8-10 марта ортиришга эришилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

тўрли кучайтириш ёки плазмали контактлар усули ва люминесцент экрандан фойдаланиш орқали кучайтириш коэффициентини 8-10 баробарга ортирган, инфрақизил ва оптик тасвирларни фотоэлектрик ўзгартириш учун яримўтказгич ионизацион тизимнинг конструкцияси такомиллаштирилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги олинган натижаларда юқори аниқликга эга тажрибавий услубларнинг қўлланилганлиги, физик жараёнларни тадқиқ қилишда умумқабул қилинган услублардан фойдаланилганлиги билан изоҳланган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти ўта қисқа газ-разрядининг физик хоссалари тўғрисидаги тушунчаларни кенгайтиради, фотоэлектрик кучайтириш механизмларни аниқлайди ва ионизацион тизимларда токни бошқариш ва турғунлаштириш имконини беради.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти яримўтказгич электродли газ-разряди системасидан ташкил топган янги фотоўзгартиргичларни ишлаб чиқиш, фотоэлектроника соҳасида қўллаш учун оптик ва инфрақизил нурланишни қайд қилишда ҳамда материалшунослик ва дефектоскопия мақсадларида фойдаланиш мумкинлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Яримўтказгич электродли ўта қисқа газ-разряди ячейкасида фотоэлектрик кучайтириш жараёнларини аниқлаш асосида:

инфрақизил нурланишларни фотоэлектрик ўзгартириш учун яримўтказгичли ионизацион системанинг конструкцияси ишлаб чиқилган. Уларни яратиш принциплари ва тадқиқотлари «FOTON» акциядорлик жамиятида фотоэлектрик ўзгартиргичлар тайёрлашда фойдаланилган. («Ўзэлтехсаноат» акциядорлик компаниясининг 2019 йил 12-февралдаги 02-351-сон маълумотномаси). Илмий натижалардан фойдаланиш галлий арсенид яримўтказгич материали асосидаги фотодатчикларнинг фотосезгирлигини оширишга олиб келган;

бир жинсли бўлмаган ҳажмий ютилишда яримўтказгичнинг бўйлама фотоўтказувчанлиги учун фотоэлектрик кучайтириш коэффициентини

ҳисоблаш методи. Ф2-ОТ-О-15494 рақамли “Квант нуқтали гетеро ва нанотузилмалардаги экситонларни, поляронларни, биполяронларни ва кўчиш ҳодисаларини тадқиқ этиш асосида нурлагичлар, фотоэлементлар ва бошқа турдаги оптоэлектрон асбобларнинг самарадорлигини яхшилаш” мавзусидаги давлат грантини бажариш жараёнида юпқа плёнкаларнинг ютилиш коэффиценти спектрини текшириш ва термодинамик ҳолатлар зичлигини ҳисоблаш учун фойдаланилган. (Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 16.01.2019 йилдаги № 89-03-232 рақамли маълумотномаси). Илмий натижаларнинг қўлланилиши икки ўлчамли ярим ўтказгич структураларда оптик ва фотоэлектрик жараёнларни тушунтиришга имкон берди.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Диссертация ишининг асосий натижалари 9 та халқаро ва 2 та республика миқёсидаги илмий – амалий конференцияларда муҳокама қилинган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 19 та иш нашр қилинган, шулардан 8 таси Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш учун тавсия этилган илмий нашрларда чоп этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 26 расм ва 1 та жадвални ўз ичига олган ҳолда 112 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯ ИШИНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

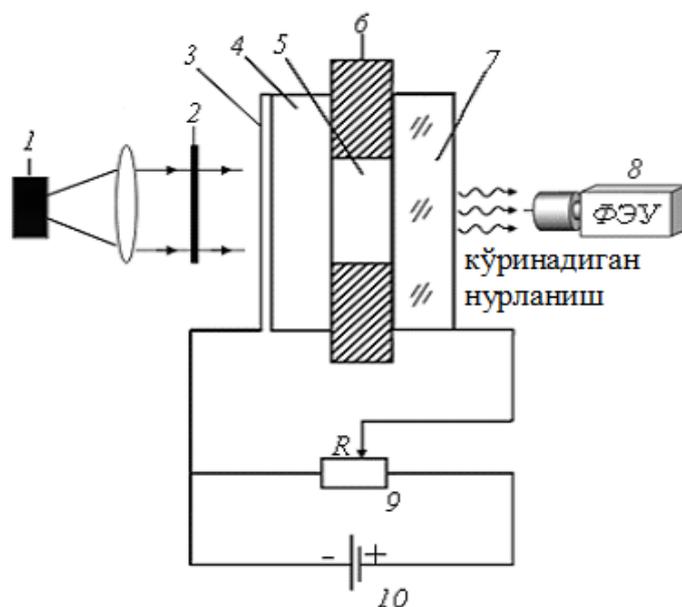
Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурияти асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазибалари, объект ва предметлари тавсифланган, Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, диссертация мавзуси бўйича илмий ишлар таҳлили келтирилган, муаммонинг ўрганилганлик даражаси, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **“Спектрнинг инфрақизил соҳасида оптик маълумотлар ўзгартиришнинг мавжуд усуллари”** деб номланган биринчи бобида ИҚ фотография муаммосининг ҳозирги кундаги ҳолатига доир адабиётларнинг қисқача таҳлили келтирилган. Анъанавий ўзгартириш усуллари ИҚ сезгирлигини чеклайдиган сабаблари ҳамда инфрақизил тасвир қайд қилишнинг мавжуд усуллари камчиликлари таҳлил қилинган.

Ўтказилган таҳлил натижалари асосида диссертация ишида бажариладиган тадқиқот масалаларининг қўйилиши изоҳлаб берилган.

Диссертациянинг “ИҚ-тасвирларни ўта қисқа газ-разряди ячейкаси ва люминафорга эга бўлган яримўтказгичли фотоўзгартиргич характеристикасини тадқиқ қилиш” деб номланган иккинчи бобида яримўтказгич арсенид галлий электродли ионизацион русумли фотоўзгартиргичнинг газ ва люминесцент экран нурланиш интенсивлигини газ-разряди оралиғи ($d=10-100$ мкм) ва босимининг ($P=5-120$ мм.сим.уст.) турли қийматларидаги ток кучига боғлиқлигининг экспериментал тадқиқот натижалари келтирилган. Чиқиш сигнали интенсивлиги ФЭУ-19 А русумидаги фотоэлектрон кучайтиргич ёрдамида ўлчанган. Ишлаб чиқилган ўзгартиргичнинг умумий схемалари ва ишлаш принциплари тавсифланган. Ионизацион системанинг ишлаш принципи тасвир ўзгартиргичнинг икки вариантда лойиҳалаш имконини берди. Биринчи ҳолда чиқиш тасвири люминафорнинг юпка қатламида, иккинчи кўринишда эса ионизацион газ нурланиши шаффоф электрод орқали кузатилади.

1-расмда экспериментал қурилманинг принципиал схемаси келтирилган. Схемادا Тадқиқ қилинаётган яримўтказгич электродли газ-разряди системаси газ-разряди соҳасини вужудга келтирадиган 15 мм диаметри тешиги бўлган диэлектрик прокладка билан ажратилган яримўтказгич ва шаффоф электродлардан ташкил топган.

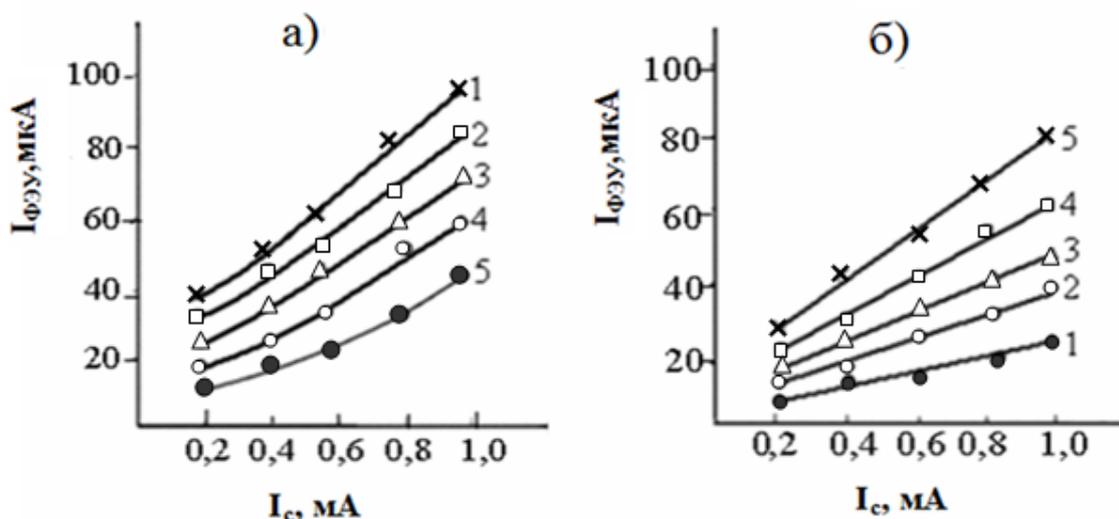


1-расм. Экспериментал қурилманинг принципиал схемаси.
 1-ёруғлик манбаи, 2- Si-фильтр, 3-яримшаффоф контакт, 4-яримўтказгич фотоқабулқилгич, 5-газ-разряди оралиғи, 6-марказида доиравий тешик бўлган слюдали фолга, 7-шаффоф контакт, 8-фотоэлектрон кучайтиргич, 9-ташқи қаршилик, 10-доимий ток манбаи (УИП-2)

Прокладканинг қалинлиги бизнинг тажрибамизда 10-100 мкм диапазонда ўзгарадиган d_g катталиқнинг қийматини аниқлайди. 25 мм диаметри ва 1 мм қалинликдаги яримўтказгич электрод (яримизоля-

цияловчи GaAs) қурилманинг фотоқабулқилгичи сифатида ҳам хизмат қилади. Фотоқабулқилгичнинг ташқи томонига вакуумда юпқа металл плёнка (Ni) ни буғлатиш йўли билан яримшаффоф электр контакти ҳосил қилинди. Анод сифатида ўтказувчан қатлам SnO₂ билан қопланган шиша пластинадан фойдаланилган.

2-расмда газ (а) ва люминесцент экран нурланиш интенсивлигини газ-разряди оралиғи d нинг турли хил қийматларида ток кучига боғлиқлиги кўрсатилган. d нинг турли хил қийматларидаги ВАХ анализи шуни кўрсатадики, қачонки қўйилган кучланиш тешилиш кучланишидан катта, яъни $U > U_{пр} \approx 400$ бўлса, газ нурланишининг интенсивлиги I кучланиш ортиши билан чизикли ўсиб боради. Шу сабабли, расмдан кўриниб турганидек, тоқларнинг барча тадқиқ қилинган диапазонидаги газ ва люминесцент экран нурланиш интенсивликлари амалда системанинг тоқига деярли чизикли мос келади, лекин газ нурланиши ҳолатида эса d камайганда (2-расмда 4,5 чизиклар) сезиларли ночизиклилик намоён бўляпти. Газ босимининг берилган $P=76$ мм.сим.уст. қийматида ва газ-разряди қатламининг катта қалинликларида газ нурланишининг люминесцент экран нурланишига нисбатан кучлироқ тоқга боғлиқлиги кузатилмоқда. d нинг камайиши билан эса бунинг тескараси, газнинг нурланиши кучсизланмоқда, люминесцент экран нурланиши эса кучаймоқда. Бунда фотоқабулқилгичнинг ёритилиш интенсивлиги доимо $J_{кыр}=2$ мВт/см² даражасида ўзгармас бўлган.

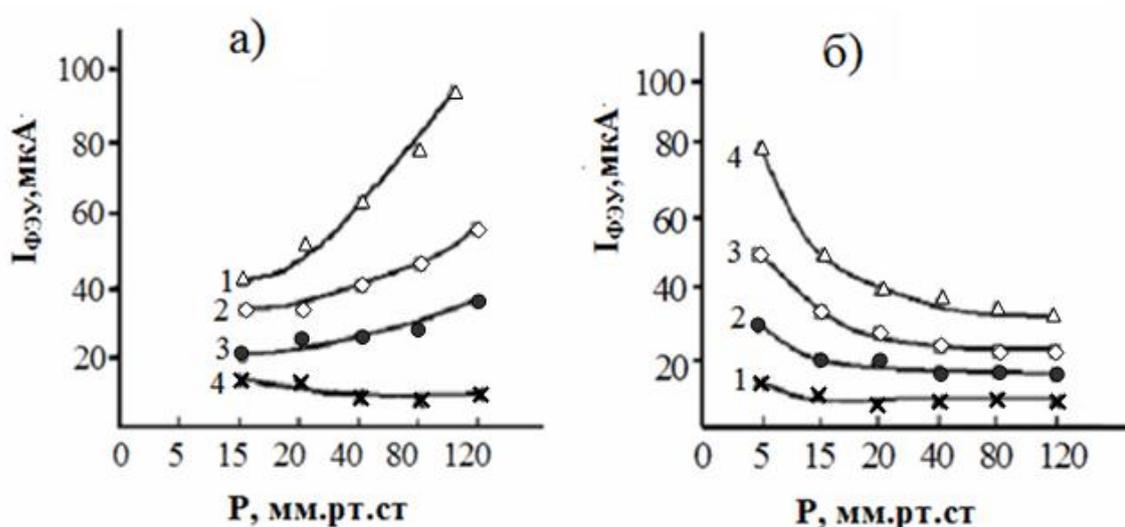


2-расм. Газ (а) ва люминесцент экран (б) нурланиш интенсивлигини I (ФЭУ тоқи) газ-разряди оралиғининг турли хил қийматларидаги ионизацион системанинг ток кучи I_c га боғлиқлиги. d , мкм: 1-30; 2-25; 3-20; 4-15; 5-10. $P=76$ мм.сим.уст

3-расмда газ-разряди оралиғи қалинлигининг турли хил қийматлари учун газ (а) ва люминесцент экран нурланиш интенсивликларининг газ босими P га боғлиқлиги кўрсатилган. Эгри чизиклар фотоқабулқилгични ёритиш интенсивлиги $J_{кыр}=2$ мВт/см² ва газ-разряди оралиғидан ўтаётган тоқнинг қиймати $I_c=0,2$ мА бўлган ҳол учун олинган. Кўриниб турибдики,

нурланишни люминесцент экран билан қайд қилган ҳолатда ўзгартириш самарадорлиги d ва P камайганда ошмоқда (3.б-расм).

Газ босими камайиши билан бошқа тенг шароитларда люминесцент экран нурланиш равшанлиги ошади. Лекин шуни таъкидлаш керакки, паст босимларда ($P < 30$ мм.с.м.уст.) экран нурланишининг бир жинслилиги ёмонлашади. Тахмин қилиш мумкинки, газнинг зичлиги кичик бўлган шароитларда электродлараро фазода электродларнинг сирт хоссалари (кирланишлар, микро-ғадир-будурликлар) тешилиш характериға таъсири ошади. Газнинг нурланиш ҳолатида эса бунинг тескараси, d ва P ларнинг камайиши, электронларнинг эркин югириш йўли узунлиги d дан катта бўлиб қолган битта $d=10$ мкм қийматдан ташқари, бошқа умумий ҳолатда нурланишни ўзгартириш самарадорлигининг пасайишиға олиб келади.



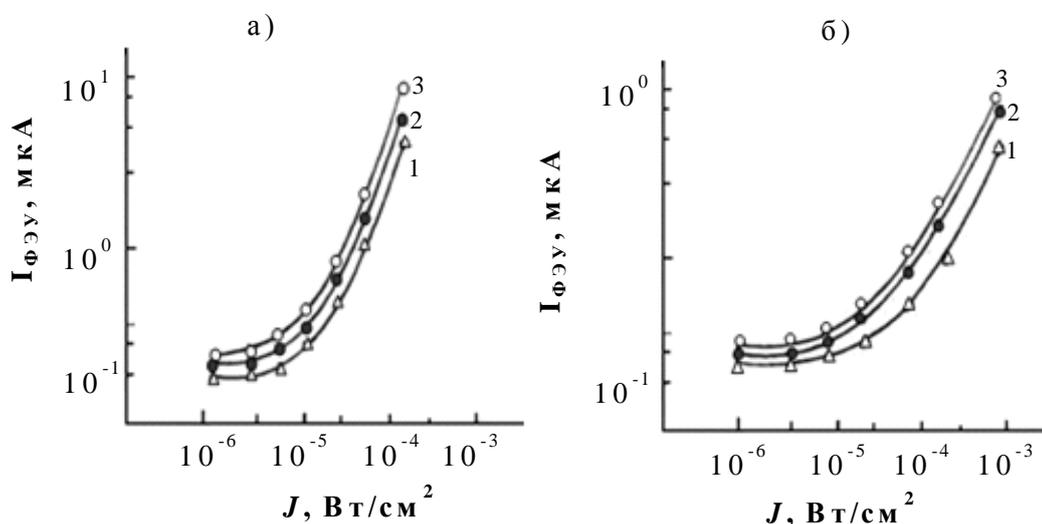
3-расм. Газ (а) ва люминесцент экран (б) нурланиш интенсивликларини газ-разряди оралиғининг турли хил қийматларида қолдиқ газ босимиға боғлиқлиги. d , мкм: 1-100; 2-30; 3-20; 4-10. $I_c=0,2$ мА

Келтирилган экспериментал маълумотлардан шуни хулоса қилиш мумкинки, электродлар оралиғида майдоннинг тақсимланиши бир хил эмас, демак электронларнинг фазовий – энергетик тақсимланиши ҳам бир хил эмас. Анод бўлиб хизмат қилаётган люминесцент экран яқинидаги электронларнинг энергияси катод потенциалининг пасайиш соҳасидагига нисбатан камроқ. Газнинг ўзгармайдиган босими пайтида d нинг камайиши анодни юқори кучланганликли ва юқори энергияли электронларға эға бўлган майдонли соҳаға яқинлаштиради, бу эса люминесцент электронларининг кўзғалиш самарадорлиги ва экраннинг равшанлигини оширади.

Газнинг нурланишини қайд қилиш ҳолатида бу нурланишға хиссани бутун разряд ҳажми беради. Бунда нурланиш интенсивлиги ўзгармас босим учун разряд оралиғида ажралиб чиқаётган қувватға яъни $I_c \cdot U_{теш}$ катталигига мутаносиб бўлиши керак. Токнинг ўзгармас зичлигида чиқиш равшанлиги $U_{теш}$ га мутаносиб бўлиши керак. 3, а- расм маълумотларининг $U_{теш}$ нинг

оралиқ параметрларига боғлиқлиги билан солиштириш чиқиш равшанлигининг босим катталигига боғлиқлиги $U_{\text{теш}}$ нинг мазкур эгри чизикларига ўхшашлигини кўрсатмоқда. Бироқ d ортиши билан нурланиш интенсивлиги $U_{\text{теш}}$ дан тезроқ ўсиб бораётганини кўриш осон. Ҳар томонлама қараганда d нинг ортиши билан бир каторда разряд ҳажмининг деворларида кўзғатилган молекулалар ва газ атомларининг рекомбинация вақтида энергия йўқотиши камайиши ва шунга мос равишда нурланиш рекомбинация эҳтимоллиги ортиши билан изоҳланади.

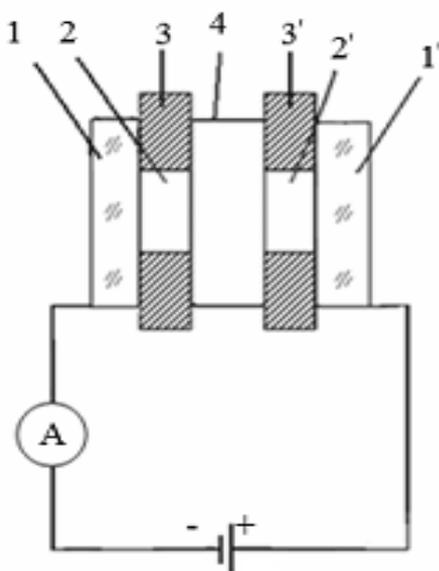
Ўзгартиргичнинг муҳум характеристикаси унинг сезгирлиги ва кириш интенсивлигининг динамик оралиғини аниқлайдиган чиқиш характеристикаси (ЧХ) ҳисобланади. 4, а ва б расмда яримизоляцияловчи арсенид-галлий фотоқабулқилгич фойдаланилган ҳолат учун люминесцент экранли ва газ-разряди оралиғи ёнадиган ўзгартиргичнинг чиқиш характеристикаси кўрсатилган. Эгри чизиклар турли хил кучланиш манбааларида газ-разряди оралиғи катталиги $d=100$ мкм белгиланганда олинган. Чиқиш равшанлиги ФЭУ токига мутаносиб бўлган нисбий бирликларда ифодаланади. Манба кучланиши ортиши билан ЧХ разряд оралиғи ва экраннинг нурланиш интенсивлиги катта бўлган томонга силжийди. Шундай қилиб, қўйилган кучланиш ва яримўтказгичнинг ёритиш интенсивлиги ортиши билан ўзгартириш коэффиценти ортади. Шу билан бирга тизимнинг қоронғуликдаги токи ортиши қиймати учун кучланиш ортиши натижасида қоронғуликдаги ёруғлик ҳам ортиб боради (яъни, экран ёруғлиги ва кириш сигнали бўлмаганда ионлаштирилган газ).



4-расм. Люминесцент экранли (а) ва разряд оралиғи ёнадиган (б) ўзгартиргичнинг чиқиш характеристикаси.
 $d=100$ мкм. $P=76$ мм.сим.уст. $U, В$: 1-800; 2-900; 3-1000

4, а ва б расмларда ЧХ ни таққослаш асосида шуни кўрсатиш мумкинки, газ-разряди оралиғи параметрлари $P=76$ мм.сим.уст ва $d=100$ мкм қийматларда ток зичлигини ўзгармас сақлаган ҳолда люминесцент экран нурланиши газ-разрядининг нурланиш интенсивлигига нисбатан 8-10 баробарга ошиб боради.

Диссертациянинг “Плазмали контакт ва яримўтказгичли фотоқабулқилгич электродларидан иборат бўлган газ-разряди ячейкасида фотоэлектрик кучайтириш жараёнлари” номли учинчи боби газ-разряди плазмаси билан яримўтказгичнинг сиртида контакт ҳодисалар ва газ-разряди ячейкасида фотоэлектрик кучайтириш жараёнларини ўрганишга бағишланган. Принципиал схемаси 5-расмда келтирилган иккита плазма контактли ионизацион тизимда фототок тадқиқотининг назарий ва экспериментал натижалари тақдим қилинган. Яримўтказгичли фотоқабулқилгич (4) ҳар бирининг қалинлиги 40 мкм дан бўлган калибрланган лавсан прокладкасининг (3 ва 3') орасига жойлаштирилган. Контрэлектрод ток ўтказувчи SnO₂ қатлами билан қопланган, газ-разряди нурланишини визуал кузатиш ва тасвирини олиш учун зарур шаффоф шиша пластинадан (1 ва 1') ясалган.



5-расм. Иккита плазма контактли экспериментал қурилманинг принципиал схемаси

Доимий кучланиш $U = E \cdot d = 600 \text{ В}$ (бу ерда E - электр майдоннинг кучланганлиги, d - газ-разряди оралиғининг узунлиги 2 ва 2') 1 ва 1' орасига берилади, бунда тешилиш содир бўлади ва ёлқин разряд бошланади. Тажриба хона хароратида ўтказилди, зарур қолдиқ босим форвакуумли насос ёрдамида таъминланди. Таъминлаш манбаи сифатида ВС-23 русумли юқори кучланишли блокдан фойдаланилди. Амалда барча фотосезгир яримўтказгич қурилмалар учун ёритилишнинг кучсиз интенсивликларида тўла токнинг люкс-ампер характеристикаси (ЛАХ) қуйидаги кўринишда ифодаланиши мумкин:

$$i = i_T + i_C = i_T + aEJ^n \quad (1)$$

бу ерда $a = e\mu\beta k t$ ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, μ -заряд ташувчилар ҳаракатчанлиги, β -квант чиқиш коэффиценти, k - ёруғликнинг яримўтказгичда ютилиш

коэффициенти, τ - заряд ташувчилар яшаш вақти, J - ёритилиш интенсивлиги, n —ночизикли ЛАХ кўрсаткичи, $n > 1$ - юқори чизикли, $n < 1$ - паст чизикли ва $n = 1$ чизикли фотосезгир элементлар учун.

Фототок зичлигининг катталигини қуйидаги кўринишда ифодалаш мумкин:

$$i_c = eGJ^n / h\nu \quad (2)$$

бу ерда G - фотоэлектрик кучайтириш, яримўтказгичнинг бир жинсли оптик кўзгалишининг энг содда ҳолида у яшаш вақти τ нинг элекродлар орасида электроннинг учиб ўтиш вақти $t_{\text{учиш}}$ ига нисбатига тенг: $t_{\text{учиш}} = L_n / \mu E_n$ (μ -заряд ташувчилар ҳаракатчанлиги, L_n - яримўтказгичнинг қалинлиги, E_n - яримўтказгичдаги электр майдон кучланганлиги).

Ёруғликнинг бир жинсли бўлмаган ҳажмий ютилишда ярим ўтказгичнинг бўйлама фотоўтказувчанлиги учун фотоэлектрик кучайтиришнинг катталиги G содда нисбат $\tau / t_{\text{учиш}}$ дан фарқ қилади ва уни қуйидаги формула билан ифодалаш мумкин:

$$G = \frac{\mu k \tau \varepsilon}{\delta (1 - e^{-kL_n})} \left[\frac{1}{1 + \frac{1}{kL_n} \ln \frac{1 + \delta e^{-kL_n}}{1 + \delta}} - 1 \right] \quad (3)$$

бу ерда δ - фотоўтказувчанликнинг бошланғич карралиги, n_1 - қоронғуликда заряд ташувчилар концентрацияси, ε —яримўтказгичнинг диэлектрик сингдирувчанлиги.

Формула (3) диффузия, номувозанат ташувчиларнинг дрейфи ва рекомбинацион нурланишнинг реабсорбциясини ҳисобга олмасдан чиқарилган. У ёруғликнинг ютилиш коэффициенти k нинг берилган қийматида монохроматик ёритилиш учун G катталикининг чегаравий минимал қийматини аниқлайди, чунки эслатилган факторларни ҳисобга олиш G нинг ошишига олиб келади.

Яримўтказгичли фотоқабулқилгич пластиналарининг фотоэлектрик кучайишини ўлчаш қуйидаги услубда бажарилган. Ионизацион тизимдаги фототокнинг ВАХси қўйилган кучланишнинг максимал бўлган қийматларига чегара ўлчанди. Фотоэлектрик кучайишнинг чегаравий қийматига чеклов бўлиб нотурғун токнинг пайдо бўлиши хизмат қилди. Ёритилиш интерференцион ёруғлик фильтри орқали амалга оширилди, ёруғлик интенсивлиги ёритилаётган қисмнинг бир хил юзасида ФД-24К русумли фотодиод билан ўлчанди. G нинг катталиги ушбу ҳолда фотоўтказгич токнинг фотодиод токига нисбатига тенг бўлади.

Қуйида ҳар хил фотоқабулқилгичлар учун олинган типик маълумотлар келтирилган.

Жадвалдан келиб чиқадики, фотоэлектрик кучайтиришнинг фотоқабулгич қалинлигига етарли даражада кучли боғлиқлиги мавжуд.

Тадқиқот натижалари арсенид галлийдан иборат яримўтказгичли газ-разряди ячейкасида 50 бирликдан юқори бўлган етарли даражада катта

кучайиш коэффиценти K мавжудлигини кўрсатмоқда. Лекин кадмий теллурдан иборат яримўтказгичли ячейкада ток бўйича ҳам, нурланиш равшанлиги бўйича ҳам кучайиш кузатилмади. Буни кадмий теллурдан ясалган яримўтказгичнинг сиртида етарли миқдордаги тузоқларнинг мавжудлиги ва бу тузоқлар газ-разряди плазмасидан ҳосил бўлган электронларни ушлаб қолаётганлиги билан изоҳлаш мумкин.

№	Намуналар	Намуналар қалинликлари, (мм)	E , (В/см)	G	m_n^*/m_0	m_p^*/m_0	E_g (300K)	μ_n $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{c}$	μ_p $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{c}$	ϵ
1	GaAs	1	$2 \cdot 10^4$	7	0,7	$m_{pT}0,45$	1,43	8500	400	10,9
1	GaAs	0,5	$2 \cdot 10^4$	10	0,7	$m_{pT}0,45$	1,43	8500	400	10,9
1	GaAs	0,3	$2 \cdot 10^4$	15	0,7	$m_{pT}0,45$	1,43	8500	400	10,9
2	CdS	1,5	$1 \cdot 10^4$	5	0,20	0,7	2,53	350	15	8,96
2	CdS	0,5	$1 \cdot 10^4$	13	0,20	0,7	2,53	350	15	8,96

Ток кинетикаси учун оптик генерация (F) ни ҳисобга олган ва эксклюзия ҳамда тузоқларнинг таъсирини ҳисобга олмаган ҳолда қуйидаги тенгламани ёзиш мумкин:

$$E < (\xi\mu\tau)^{-1}, \text{ ҳолат учун } j = \frac{e\mu EF}{1/\tau - \xi\mu E} \{1 - \xi\mu E \tau \exp[-t(1/\tau - \xi\mu E)]\}. \quad (4)$$

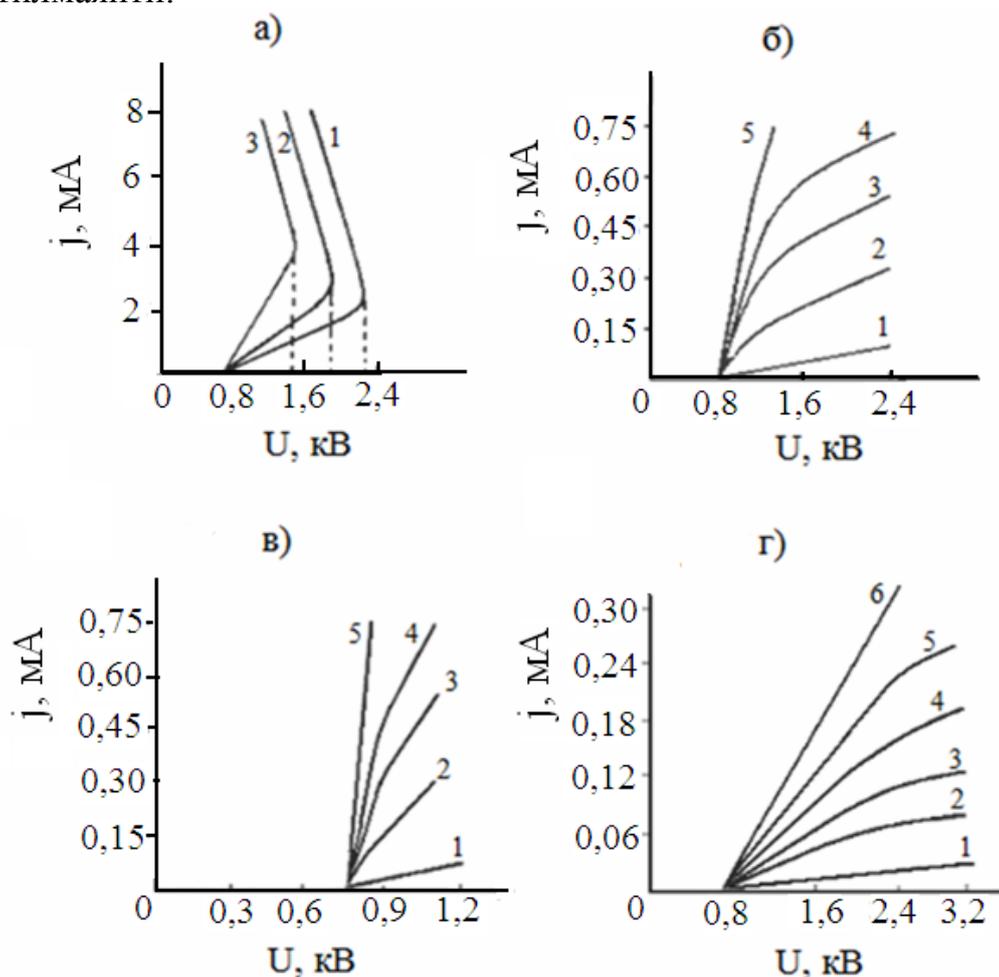
$$E > (\xi\mu\tau)^{-1}, \text{ ҳолат учун } j = \frac{e\mu EF}{\xi\mu E - 1/\tau} [\xi\mu E \tau \exp t(\xi\mu E \tau - 1/\tau) - 1], \quad (5)$$

бу ерда ξ -мутаносиблик коэффиценти, m^{-1}

6-расмда 0,5 мм қалинликдаги кристалл яримизоляцияловчи ($\rho \approx 10^7$ Ом.см) арсенид галлийнинг (а) ёритилиш интенсивлиги ҳар хил қийматларидаги: ($F \cdot 10^4$, $\text{Вт}/\text{см}^2$: 1-0,15, 2-2,0; 3-9,0) ҳамда 2,5 мм (б) қалинликдаги CdTe дан иборат фотоқабулқилгичнинг 1,5 мм (в), 0,5мм (г) ($F \cdot 10^4$, $\text{Вт}/\text{см}^2$: 1-0 (қоронғуликдаги); 2-2,0; 3-9,0; 4-15; 5-25; 6-40) ВАХ лари келтирилган.

Системадаги қолдиқ ҳаво босими 0,2 атм. ни ташкил этади. Системада ток тахминан 600 В қийматигача мавжуд эмас. Кўрсатилган кучланишда газ-разряди оралиғида тешилиш рўй беради ва кучланишнинг ошиши билан ток ортиб боради. Кучланиш ўзгармас тезликда маълум бир қайд қилинган қийматгача V_1 ошиб борди, кейин кучланишнинг ошиши кескин тўхтади ва шу ондан бошлаб тадқиқ қилинаётган материалдаги кучланишнинг бир вақтдаги камайиши билан токнинг ўз-ўзидан ўсиши рўй беради. Ностационар режимга ўтишдаги токнинг ўз-ўзидан ўсиши ток манбаи ички қаршилигига аниқ тўғри келадиган қиялик билан манфий дифференциал қаршиликли қисм кўринишида рўй беради. Токлар ва V_1 , V_2 , V_3 нукталаридаги кучланишларнинг қийматлари мазмунан ностационар бўлади. Вольтампер характеристикаларининг кўринишига ташқи ёруғлик интенсивлиги сезиларли таъсир кўрсатади. Галлий арсениддан иборат яримўтказгич материаллар плазманинг ультрабинафша ва қисқа тўлқинли нурланишларини оз сондаги материалларидан биридир. Кадмий теллур кристаллининг б, б, в, г -

расмларидаги ВАХ ларининг эгри чизикларидан кўришиб турибдики, кучланишнинг ошиши билан системада токнинг ўз-ўзидан ўсиши кузатилмаяпти.



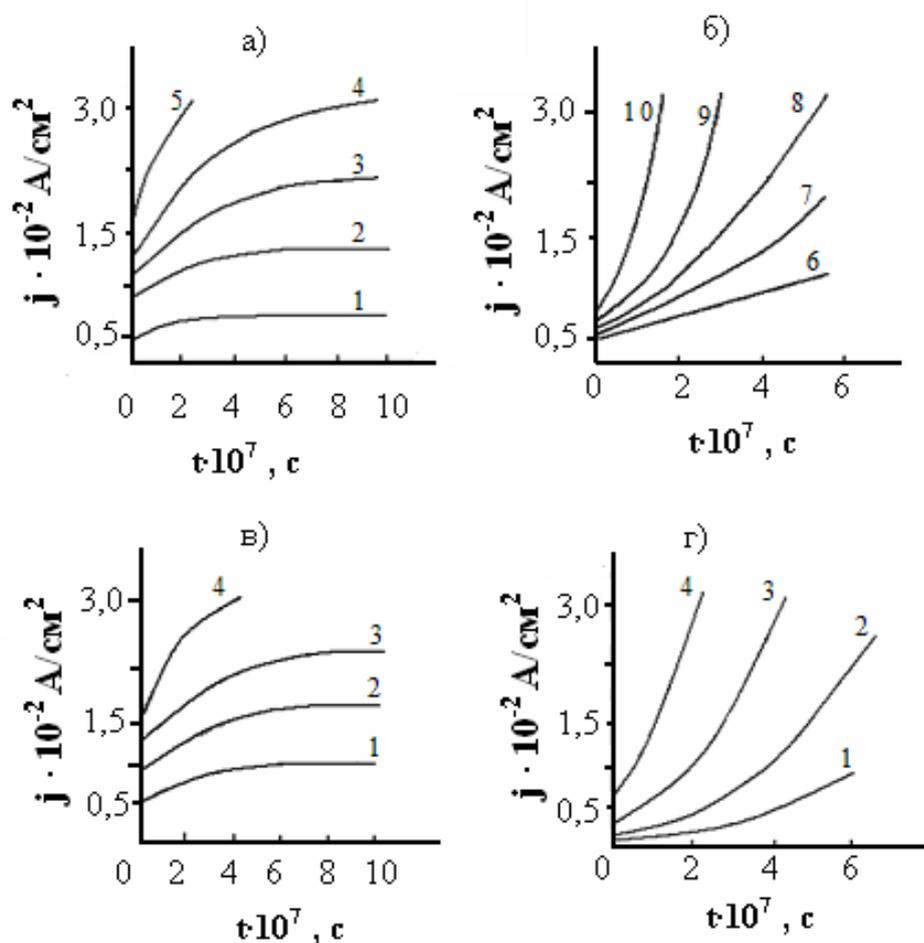
6-расм. Системанинг хар хил фотоқабулқилгичлар ва ёруғлик интенсивликларда ВАХ си

Бунга қарама – қарши равишда ВАХ нинг бошланғич қисмлари чизиқли характерга эга ва катта кучланишларда токнинг тўйиниши рўй беради, материалнинг қалинлиги қанча кам бўлса тўйиниш шунча кам бўлади. Кучланишнинг ВАХ нинг чизиқли қисмига тўғри келадиган катталиги яримўтказгич материалнинг қалинлиги қанча кам бўлса тўйиниш кучланиши шунча кам бўлади. Кучланишнинг ВАХ нинг чизиқли қисмига тўғри келадиган катталиги яримўтказгич материалнинг қалинлиги 0,5 мм бўлган ҳол учун қалинлиги 2,5 мм бўлган ҳолдагига нисбатан 5 марта кичик, яъни тўйиниш майдон кучланганлиги билан тўғри боғланган.

Фототок стационар ВАХ лари ва релакцион эгри чизикларининг экспериментал тадқиқотлари уларнинг умумий характери, шу жумладан манфий яшаш вақти соҳасида ҳам, назарий ҳисоб-китоблар билан мос келишини кўрсатмоқда. Максимал токни эгри чизиги юклама билан ёки вақт бўйича чеклаш (ўз-ўзидан кучайиш) орқали ушбу ҳодисадан фойдаланиб, кучайиш режими тадқиқ қилинган ва таклиф этилган. 7-расмда яримўтказгичдаги ток ташувчиларнинг ўзгармас ёритилиш F даги ва қўйилган

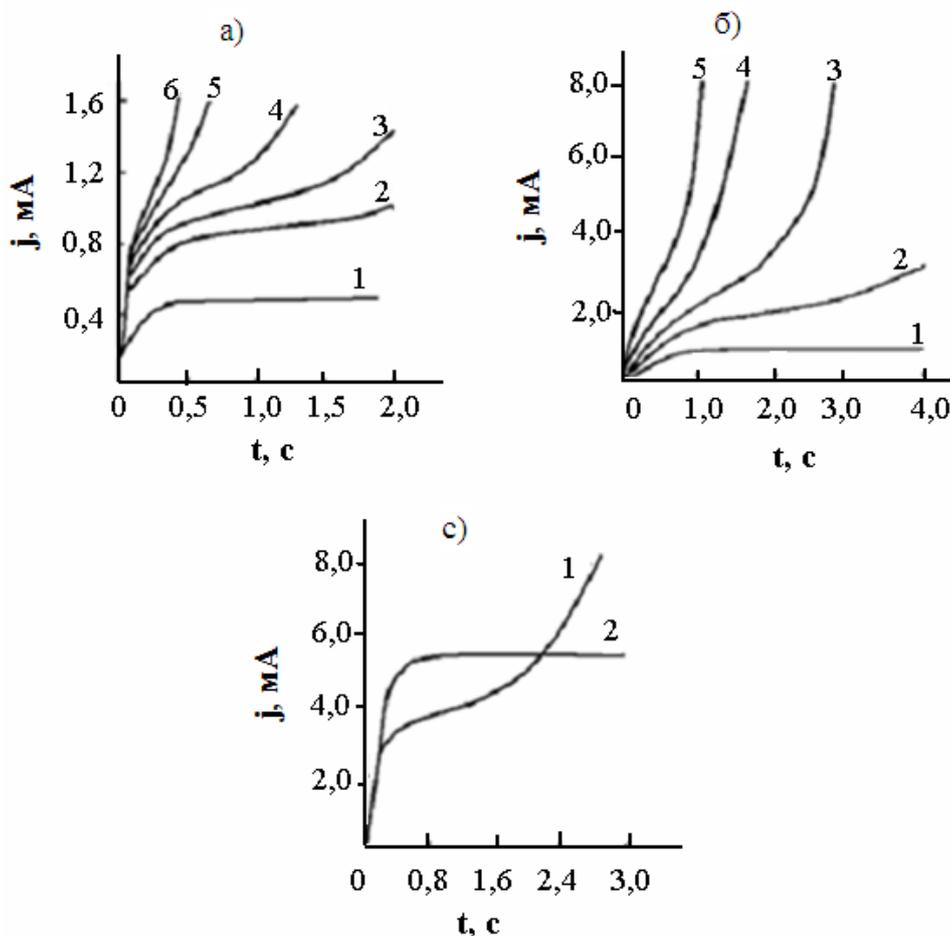
кучланиш E нинг ҳар хил қийматларидаги (а,б) ҳамда ўзгармас кучланиш E даги ва ёритилиш интенсивлиги F нинг ҳар хил қийматларидаги (с,д) релаксацион эгри чизиклари кўрсатилган.

$E < 1$ соҳада (бу ерда $1/\tau_{эф} = 1/\tau - \xi\mu E$, $\tau_{эф}$ - мусбат эффектив яшаш вақти) ток катталиги $t \rightarrow \infty$ да турғун қийматга эга. $E > 1$ да эффектив яшаш вақтининг шарти амалга ошади - турғун ҳолат мавжуд бўлмайди. $E = 1/\xi\mu\tau$ релаксациянинг рекомбинация йўқлигида заряд ташувчиларнинг оптик генерацияси суръатига тўғри келадиган қияли чизикли ўсиши билан ифодаланиши характерли. Бу ҳолда заряд ташувчиларнинг рекомбинацион йўқотилишлари плазмадан заряд ташувчиларнинг генерацияси билан тўла қопланади ва эффектив яшаш вақти $\tau_{эф}$ чексизликка айланади деб фаъраз қилиш мумкин.



7-расм. Яримўтказгичда заряд ташувчилардан ҳисобланган релаксацион эгри чизик. $E \cdot 10^{-4}$ (В/см)=0,4 (1-эгри чизик); 0,9 (2); 1,3 (3); 1,5 (4); 1,6 (5); 2 (6); 2,25 (7); 2,5 (8); 3,0 (9); 4,0 (10); $F=10^{16}$ ($\text{см}^{-3} \text{с}^{-1}$), $\tau=10^{-7}$ с, $\mu=500 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \text{с}^{-1}$, $\xi=1 \text{ см}^{-1}$; в) $F \cdot 10^{-16}$ ($\text{см}^{-3} \text{с}^{-1}$)=0,6 (1); 1,0 (2); 1,5 (3); 2,0 (4) и $E=10^4$ В/см; г) $F \cdot 10^{-16}$ ($\text{см}^{-3} \text{с}^{-1}$)=0,08 (1); 0,2 (2); 0,8 (3); 2,0 (4) и $E=10^4$ В/см, τ , μ ва ξ параметрларнинг қийматлари эса а, б даги каби

8-расмда ионизацион тизимдаги яримўтказгичнинг умумий ток кинетикасининг кучланиш ва ташқи ёритиш интенсивлигининг ҳар хил қийматларидаги экспериментал эгри чизиқлари келтирилган. Релаксацион эгри чизиқларнинг умумий характери маълум меъёрларда, шу жумладан “манфий” яшаш вақти соҳасида ҳам, назария билан мос тушади. 8 а-расмдаги 2 кВ ли кучланиш ва 8 б-расмдаги $3 \cdot 10^6$ Вт/см² ли ёритилиш интенсивлиги учун турғун ҳолатга эришилганлиги кузатиляпти. Катта кучланишлар ва ёритилиш интенсивликларида токнинг кескин ошиши рўй беради. Яримизоляцияловчи галлий арсениддаги ток кинетикаси ва ВАХ ини тадқиқ қилишдан олинган экспериментал натижалар боғлиқликларнинг умумий характери бўйича соддалаштирилган назариядан кутилганларга сифат жиҳатидан мос тушади.



8-расм. Оптик генерация интенсивлиги F ва қўйилган кучланиш V нинг турли хил қийматларида GaAs дан иборат фотоқабулқилгич билан ток кинетикасининг экспериментал эгри чизиғи. V (кВ)=2,0 (1); 2,8 (2); 2,9 (3); 2,95 (4); 3,0 (5); 3,05 (6); ва $F=2 \cdot 10^4$ Вт/см² а - эгри чизиғи, $F \cdot 10^6$ (Вт/см²) 0,3 (1); 0,9 (2); 5,0 (3); 20 (4); 50 (5) и $V=2,6$ кВ б-эгри чизиғи, с-фотоқабулқилгичнинг ёруғлик оқимиға нисбатан ҳар хил жойлан-ганлиғида, 1 ва 2 –фотоқабулқилгич қарамақарши томонларининг ёритилишиға хос

Токнинг ўз-ўзидан ўсиши, унинг майдон ва ёритилишга боғлиқлиги ва шунингдек ўсишнинг квазиэкспоненциал юриши олинган назарий натижаларга тўғри келади.

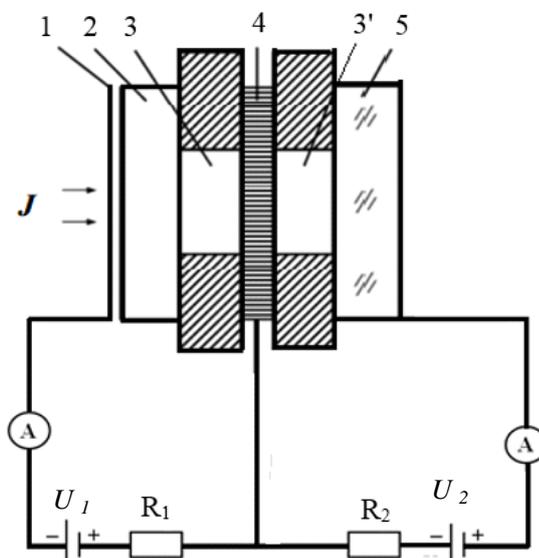
Аммо ток кинетикасининг вақт масштабларида фарқ қилиши кутилмаган ҳол бўлди. Ҳақиқатда ҳам назарий жиҳатдан ўз-ўзидан ўсиш яшаш вақти тартибидаги вақт оралиғида кутилади, экспериментал олинган қийматлар эса секунд, хатто ўнлаб секундлар тартибига тўғри келмоқда. Бундай фарқланиш, бизнинг назаримизча, яримўтказгич ва газ-разряди плазмаси орасидаги контакт ҳодисалар, шунингдек яримўтказгичнинг ҳоссалари билан боғлиқ. Токнинг ўз-ўзидан ўсишида газ чакнаши ва зарралар оқимининг кўпайиши рўй беради. Плазма оқимининг яримўтказгич сиртига таъсири тизимдаги ток қанча катта, плазмадаги зарралар оқими ва газ чакнаши қанча кучли бўлса шунча кучли.

Диссертациянинг **“Кўшимча тўрли электродларга эга яримўтказгич газ-разряди ячейкасида ток бўйича кучайтириш имкониятларини тадқиқ қилиш”** деб номланган тўртинчи боби кўшимча тўрли электродларга эга яримўтказгич газ-разряди ячейкасида ток бўйича кучайтириш муаммоларига бағишланади. Кузатилган эффектни тушуниш мақсадида тасвир олувчи қурилманинг бир неча вариантлари токни электродли кучайтириш ҳолатида тадқиқ қилинди. Тадқиқотлар ҳам нуқтавий (растрли) ҳам туташ кўринишли тасвирлар учун олиб борилди. Туташ кўринишли тасвир ҳосил қилишда махсус электродли тизим ўзгартиргич ҳолатида анча диққат билан ўрганилди. Унинг принципиал схемаси 9-расмда кўрсатилган.

1-яримшаффоф контакт, 2-яримўтказгич фотоқабулқилгич, 3-3'-слюдали прокладкадан тайёрланган газ-разряди оралиғи, 4-сетка, 5-шаффоф контакт, R_1 , R_2 - балласт қаршилиқлар. Фотоқабулқилгич (ФФҚ) ва қайдқилгич (экран) орасига дарчали слюда пластинкалар ёрдамида юпка тўр кўринишидаги металл электрод жойлашган. Металл-тўр етарлича майда (1 миллиметрда 10 та ячейка) структурага эга. ФФҚнинг яримшаффоф электроди ва металл-тўр орасига истемол манбаси U_1 уланган, металл тўр ва экран орасига эса ёрдамчи истемол манбаси U_2 уланган.

Ионизацион тизимнинг газ разряди қатламидаги ток бўйича кучайтириш, қуйидаги тарзда амалга ошади. Агар яримўтказгичли ФФҚ сиртига объектнинг тасвири фокусланган бўлса ва ФФҚ билан тўр орасига етарли миқдорда ($U \gg U_{ен}$) ёндириш кучланиши берилса, тўр занжирида номуस्ताқил сокин разряд ўрнатилади. Разряднинг кўндаланг кесим юза бўйича интегсивлиги ФФҚ сиртига фокусланган тасвирга мос ва у орқали назоратда бўлади. Ионизациялашган газнинг катта энергияга эга бўлган зарралари тўр орасидан ўтиб кетади ва улар тизимнинг “тўр-экран” қисмидаги газ қатлами учун бошланғич ионизация манбаси бўлиб қолади. Тезлатувчи майдон мавжуд бўлганда зарралар зарбий ионизация учун етарлича кинетик энергияга эга бўлиб, “тўр-экран” қисмида газ разрядини ёндиради ва ундан ток оқа бошлайди. Бу токнинг зичлиги

биринчи – “ФҚҚ-тўр” ораликдаги разряд интенсивлигига боғлиқ. Шундай қилиб, фотоқабулқилгич чегаралайдиган унчалик катта бўлмаган тўр токи орқали иккинчи - “тўр-экран” занжиридаги етарлича катта бўлган ток зичлигини бошқариш мумкин.



9-расм. Металл-тўр электродига эга ток бўйича кучайтирувчи ионизацион русумдаги тасвир ўзгартиргичнинг принципиал схемаси. 1-яримшаффоф контакт, 2-яримўтказгич фотоқабулқилгич, 3-3'-слюдали прокладкадан тайёрланган газ-разряди оралиғи, 4-сетка, 5-шаффоф контакт, R_1 , R_2 - балласт қаршиликлар

Разряд қатламга қўшимча металл-тўр электродни киритиш қуйидаги характерли натижаларни беради:

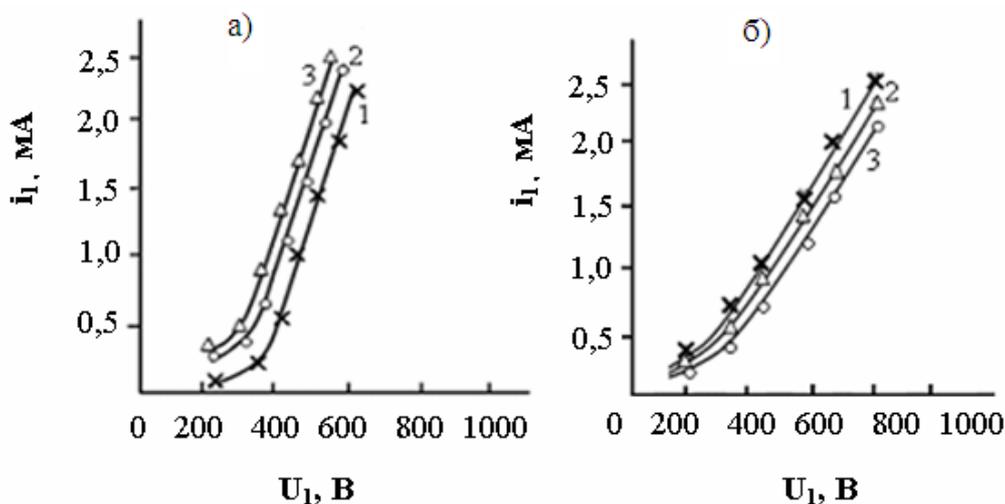
- 1.Тасвирни қайд қилиш вақтида разряд ёнишидаги статистик кечикиш бартараф қилинади, яъни тизимнинг инертлиги анча камаяди;
- 2.Фотоқабулқилгичга тушаётган ишчи кучланишнинг қийматини камайтириш имконияти пайдо бўлади, чунки иккинчи разряд қатлам занжири билан биринчи разряд қатлам занжирининг ўзаро боғлиқлиги ФҚҚ занжиридаги разрядни $U_{\text{ен}}$ ёндириш кучланишини пасайтиришга олиб келади.

Фотоқабулқилгич сифатида тўлқин узунлиги 1 мкм дан катта спектрал соҳада ёритиладиган GaAs $\rho=10^7 \div 10^9$ Ом·см фойдаланилади.

Экран занжирини сетка токига боғлиқлиги ва системанинг ток бўйича кучайтириш коэффиценти ҳар хил режимларда тадқиқ қилинди. $K = i_2 / i_1$ (i_1 - ФҚҚ-тўр қисмининг токи, i_2 - “тўр-экран” қисмининг токи). Тизимнинг хусусиятини аниқлаш учун иккита вольт-ампер характеристикалар (ВАХ) оиласи тадқиқ қилинди.

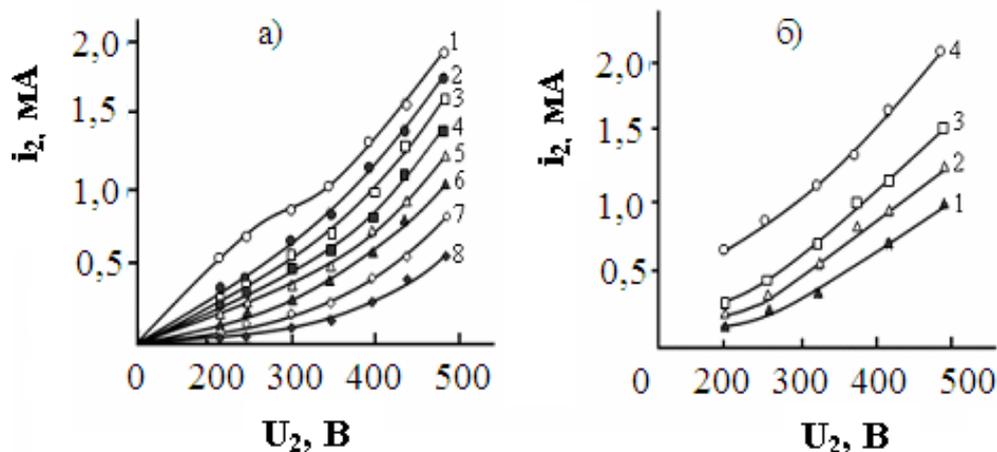
10-расмда “ФҚҚ-тўр” қисмининг ВАХи келтирилган бўлиб, бунда газ босими ($p=15$ мм.рт.ст.), биринчи разряд қатламининг узунлиги ($d_1=50$ мкм) ва иккинчи разряд қатламининг узунлиги ($d_2=100$ мкм) домий, “тўр-экран”

занжиридаги U_2 кучланишнинг турли қийматларида ҳамда тўр экран занжиридаги кучланиш $U_2=400$ В ўзгаришсиз, газ босимининг эса турли хил қийматлари учун олинган.



10-расм. U_1 кучланиш учун ВАХ лар оиласи. а) ВАХ “ФҚҚ-тўр” соҳасида $P = 15$ мм сим. уст, U_2 (В): 1-200; 2-300; 3-500. б) ВАХ “ФҚҚ-тўр” соҳасида $U_2 = 400$ В, P (мм сим. уст): 1-50; 2-100; 3-150

Тўрли бошқариладиган тизимнинг фарқли хусусияти шундан иборатки, экран занжиридаги разряднинг ёқилишидан сўнг характеристика кичик кучланиш томонга силжийди. Ушбу разряд қанчалик интенсив бўлса, “ФҚҚ-тўр” қисмдаги кучланиш тушуви шунча кичик бўлади. Охирги хусусият шу билан изоҳланадики, бунда тўр “тўр-экрaн” қисмдаги плазманинг мусбат ионлари ҳосил қиладиган зарядлар потенциалига эга бўлади.



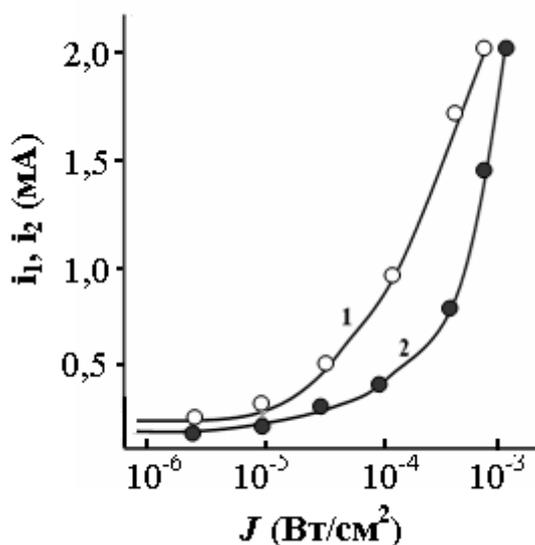
11-расм. U_2 кучланиш учун ВАХлар оиласи а) ВАХ “тўр-экрaн” соҳасида, $i_1 = 1,5$ мА. p , (мм сим. уст): 1-15; 2-30; 3-45; 4-60; 5-75; 6-90; 7-105; 8-120. б) ВАХ “тўр-экрaн” соҳасида. $p = 15$ мм сим. уст. i_1 (мА); 1-0,3; 2-0,5; 3-1,0; 4-1,5

“тўр-экран” соҳаси учун вольт-ампер характеристикалар оиласи (11-расм) “ФҚҚ-тўр” занжиридаги токни белгиланган қийматларига кучланишни ва газни турли босимлардаги боғлиқлигини кўрсатади.

Келтирилган характеристикалардан маълумки, тадқиқ қилинган тоқлар диапазонида газ-разряди учун тегишли бўлган металл электродлари орасидаги тоқларнинг нотурғунлиги мавжуд эмас, ушбу ҳолатда уни қиймати нормал биқсима разряд диапазонидаги тоқларга мос ва экран нурланиши бир текисда махсус назорат қилинган.

11, а-расмда “ФҚҚ-тўр” занжир токи $i_1=1,5$ мА, киришдаги ёруғлик интенсивлиги $J_{кир}=2 \cdot 10^{-3}$ Вт/см² ва газ-разряди қатламининг қалинликлари $d_1=50$ мкм ва $d_2=100$ мкм домий, газ босими эса ўзгарувчи параметр сифатида олинган. 11,б-расмда газ босими ($p=15$ мм.рт.ст.), киришдаги ёруғлик интенсивлиги $J_{кир}=2 \cdot 10^{-3}$ Вт/см², газ-разряди қатламининг қалинликлари $d_1=50$ мкм ва $d_2=100$ мкм домий, “ФҚҚ-тўр” занжир токи эса ўзгарувчи параметр сифатида олинди.

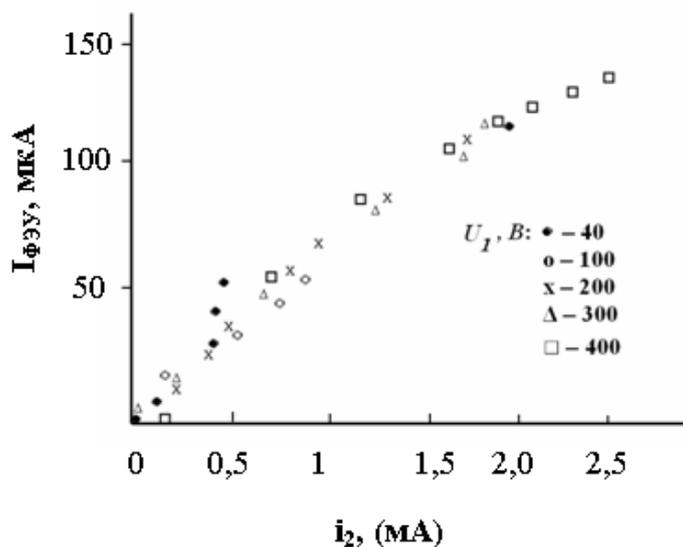
12-расмда $U_1=1000$ В, $U_2=400$ В “ газ босимининг $p=15$ мм. сим. уст. доимий қийматларида ўлчанган “тўр-экран” (1-график) ва “ФҚҚ-тўр” (2-график) занжирларида фототок учун люкс-ампер характеристикалар кўрсатилган.



12 - расм. Тизимнинг «ФҚҚ-тўр» (2) ва «тўр-экран» (1) қисмлари учун люкс-ампер характеристикалари

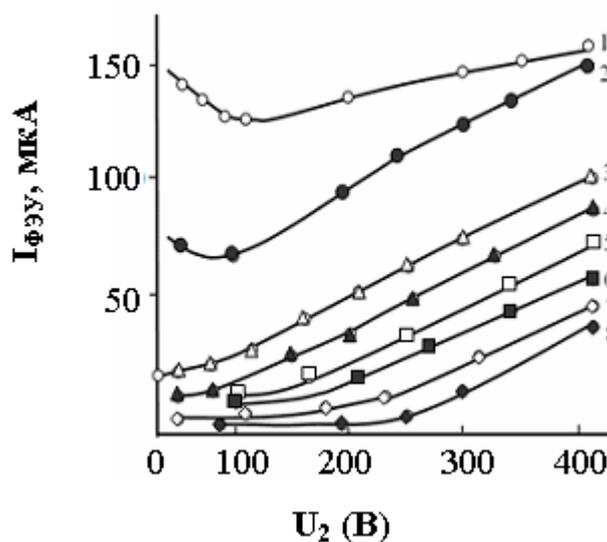
Кўриниб турибдики, 2-графикнинг ўсувчи шахобчаси 1-графикниқига караганда тикроқ. “Тўр-экран” занжиридаги токнинг ўсиши (1-график) кичик кириш сигналини интенсивлигида “ФҚҚ-тўр” занжиридаги токнинг ўсишига (2-график) караганда тезроқ. Ушбу усул билан ионизацион тизим қайд қилинаётган нур интенсивлигининг чегаравий қийматини қарайиб ўн марта камайтириш имкониятини таъминлайди. Катта ёруғлик интенсивлигида иккала занжирдаги тоқларнинг қийматларини тенглашиши кузатилади. Умуман олганда, люкс – ампер характеристиканинг кўриниши

яна бир бор олдинги чиқарилган хулосаларни тасдиқлайди, яъни газ-рязяди плазмаси токини тўрли кучайтириш тизимнинг сезгирлигини сўзсиз оширади.



13 - расм. Тизимнинг ўзгартириш характеристикаси ($i_2 - U_1$ кучланишнинг функцияси)

13-расмда фотографик тизимнинг ўзгартириш, яъни чиқишдаги сигнал интенсивлигининг “тўр-экран” газ рязряди қатламидаги фототокка боғлиқлигини кўрсатувчи характеристикалар серияси келтирилган. Кўриниб турибдики, чиқишдаги сигнал интенсивлигининг экран i_2 токига боғлиқлигини кўрсатувчи характеристикалар оиласи битта чизикда бирлашган.

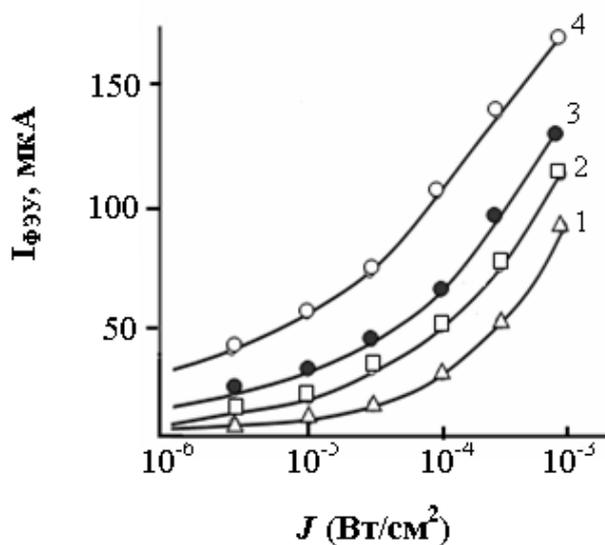


14-расм. $I_{\phi\text{зз}}(U)$ кўринишидаги ўзгартириш характеристикаси. Р, мм.сим.уст.: 1 – 8; 2 – 15; 3 – 30; 4 – 60; 5 – 76; 6 – 91; 7 – 121; 8 – 150

Характеристиканинг ҳаммаси U_2 кучланишнинг барча қийматлари учун деярли чизиқли боғланишга эга, лекин U_2 нинг катта қийматларида секин-асталикли чизиқли боғланиш кузатилади. Ушбу вазият бизнингча, U_2 нинг катта қийматларида ток ташувчиларнинг интенсив пайдо бўлиши экран яқинида манфий ҳажмий зарядларни ҳосил қилади, люминесцентли экран билан тўқнашаётган электронларнинг ўртача энергияси камаяди. Иккинчидан, тўр яқинидаги ионларнинг фазовий мусбат заряди “ФКҚ-тўр” газ разряди қатламидан ўтаётган электронлар оқимини тўсади ва i_2 токнинг ўсиш суратини камайтиради.

Умумий ҳолда 14-расмда кўрсатилган $J_{\text{чик}}(i_2)$ характеристикалар турли хил p нинг қийматларида ва қайд қилинган U_2 кучланишнинг чиқиш интенсивлиги ўзгариши билан мос келади, бу шуни кўрсатадики, экран нурланиши “тўр-экран” занжиридаги i_2 токга чизиқли боғлиқ.

15-расмда чиқиш, яъни экрандаги сигнал интенсивлигининг $J_{\text{чик}}$ фотоқабулқилгич сиртига тушаётган нур интенсивлигига $J_{\text{кир}}$ боғлиқлигини кўрсатувчи характеристикалар серияси келтирилган. Характеристикалар “ФКҚ-тўр” газ разряди қатламига берилаётган кучланиш U_1 нинг турли хил қийматларида газ босими $p = 15$ мм. сим. уст. ва тўр-экран занжирига берилаётган кучланишнинг $U_2 = 1000$ В қийматлари учун ҳосил қилинди.



15-расм. Тизимнинг чиқиш характеристикаси
 $U_1=1000$ В. U_2 (В): 1-100; 2-200; 3-300; 4-400

Расмдан кўриниб турибдики, ўзгартиргичнинг чиқиш характеристикалари унинг люкс – ампер характеристикаси (11-расм, 1-график) билан мос келади. Ушбу натижа экрандаги чакнаш интенсивлигининг “тўр-экран” занжиридаги i_2 токка чизиқли боғлиқлигини яна бир бор тасдиқлайди.

Шуни таъкидлаш керакки, ушбу тадқиқот натижалари қайд қилиш бўғинидаги тасвирни ёритишдаги қоронғулик ва фототоклар миқдорлари жуда кам бўлганда фотографик жараённи қайд қилиш учун қўлланилиши мумкин.

Хулоса.

Ушбу диссертация ишини оригинал илмий натижалари бўйича куйидаги хулосалар келтирилган:

1. Яримўтказгич электродли газ-разряди системасида газ ва люминесцент экран нурланиш интенсивликларини газ-разряди оралиғи ($d=10-100$ мкм), газ босими ($P=5-120$ мм.сим.уст) ва ток кучига боғланиши тадқиқ қилинган ва газ-разряд оралиғи параметрлари P ва d ларнинг мос ҳолда 76 мм.сим.уст ва 100 мкм қийматларгача камайиши ток зичлигини ўзгармас сақлаган ҳолда люминесцент экран нурланиши газ-разрядининг нурланиш интенсивлигига нисбатан $8-10$ баробарга ошиши кўрсатилган.

2. Системанинг ВАХини тадқиқ қилиш шуни кўрсатдики, системада ток кучланиш маълум критик қийматига етганда ҳосил бўлади. Газ-разряди оралиғи параметрини ВАХ кўринишига таъсири ўрганилганда шу нарса исботландики, газ таркиби ҳамда босимининг ва газ-разряди қатламининг катталиги ($5\div 120$ мм.сим.уст. оралиғида ва $10\div 100$ мкмга мос) ўзгариши, U_{np} қийматининг катталигини Пашен қонунига мос равишда ўзгаришга олиб келади.

3. Яримўтказгичнинг бўйлама фотоўтказувчанлиги учун фотоэлектрик кучайтириш назарий ва амалий тадқиқ қилинди. Фотоқабулқилгич қалинлиги билан фотоэлектрик кучайтиришни боғловчи ифода келтириб чиқарилди. Ҳисоб-китоб шуни кўрсатдики, фотоэлектрик кучайтириш яримўтказгичнинг нур ютиш ва ёритилиши билан кучли боғлиқ. Яримўтказгич қалинлиги камайиши фотоэлектрик кучайтиришни ошишига олиб келди. Экспериментал тадқиқот натижалари ҳисоб – китоб маълумотлари билан мос тушади.

4. Иккита плазма контактли арсенид галлий электродидан иборат бўлган ионизацион системанинг ВАХи тажрибавий тадқиқ қилинди. Системанинг токи шуни кўрсатдики, системага қўйилган кучланишнинг аниқ бир қийматидан бошлаб, берилган шароитда ностационар ҳолатга ўтади ва манфий дифференциал соҳасига эга бўлади.

5. Иккита плазма контактли арсенид галлий электроди асосида фототок кинетикаси тажрибавий тадқиқ қилинди. Системанинг токи шуни кўрсатдики, системага қўйилган кучланиш бир қанча вақтдан сўнг, кучланишнинг аниқланган қиймати ўз-ўзидан ўса бошлайди. («ўз-ўзидан кучайтириш»).

6. Қўшимча тўрли металл-электрод киритиш орқали ёритилаётган яримўтказгич билан бошқарилувчи ўта қисқа ўлчамли яримўтказгич электродли газ-разряди системасида ток бўйича кучайтириш эффектлари экспериментал тадқиқ қилинган. Ионизацион тизимнинг ишлаши учун мақсадга мувофиқ бўлмаган ток ҳолатининг нотурғунлигини бартараф қилувчи тўр ва иккинчи электрод орасидаги газ-разряди фотоқабулқилгич ва шаффоф электрод ўртасидаги газ-разрядини бошқариш мумкинлиги кўрсатилган.

7. Қўшимча металл электродига эга ўта қисқа ўлчамли яримўтказгич электродли газ-разряди системасининг люкс-ампер, ўзгартириш ва чиқиш характеристикаларига металл тўр-электродининг таъсири ўрганилган ва тизимнинг кучайтириш коэффициенти $8-10$ баробарга яхшиланиши кўрсатилган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ PhD.30.08.2018.FM/Т.01.12 ПО
ПРИСУЖДЕНИЮ СТЕПЕНИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ ПРИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ ИНСТИТУТЕ ФИЗИКИ
ПОЛУПРОВОДНИКОВ И МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ ПРИ
НАЦИОНАЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ УЗБЕКИСТАНА**

ФЕРГАНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЙУЛДАШЕВ ХУРШИДЖОН ТОЛИБОВИЧ

**ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ УСИЛИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В
СВЕРХТОНКОЙ ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ЯЧЕЙКЕ С
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ ЭЛЕКТРОДОМ**

01.04.10 – физика полупроводников

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

Ташкент-2019

Тема диссертации доктора философии (Doctor of Philosophy) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В2017.1.PhD/FM35

Диссертация выполнена в Ферганском политехническом институте

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

Научный руководитель: **Абдурахманов Кахар Паттахович**
доктор физико-математических наук, профессор.

Официальные оппоненты: **Далиев Хожакбар Султанович**
доктор физико-математических наук, профессор.

Илиев Халмурат Миджитович
доктор физико-математических наук, профессор.

Ведущая организация: **Андижанский государственный университет**

Защита диссертации состоится «__» _____ 2019 года в __ часов на заседании Научного совета по присуждению ученой степени доктора философии PhD.30.08.2018.FM/T.01.12 при Научно-исследовательском институте физики полупроводников и микроэлектроники Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека (Адрес: 100057, г. Ташкент, ул. Янги Алмазар, дом 20. Тел: (+99895) 146-77-44, факс (+99895) 146-77-44, e-mail: info@ispm.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в отделе внедрения информационных технологий института (зарегистрирована за № ____). Адрес: 100057, г. Ташкент, ул. Янги Алмазар, дом 20. Тел: (+99895) 146-77-44,

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

Ш.Б. Утамурадова
председатель Научного совета по присуждению
ученой степени доктора философии, д.ф-м.н., профессор

С.С. Насриддинов
ученый секретарь Научного совета по
присуждению ученой степени доктора философии,
д.т.н., доцент

А.Т. Мамадалимов
председатель научного семинара при Научном
совете по присуждению ученой степени доктора
философии, д.ф-м.н., академик

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время в мире одним из важнейших направлений в области физики полупроводниковых приборов является создание фотопреобразователей на основе газоразрядных систем с полупроводниковым электродом для регистрации оптических и инфракрасных излучений. В этом плане важными задачами являются изготовление газоразрядных систем с полупроводниковым электродом со сверхтонкой газоразрядной ячейкой и исследование неравновесных фотоэлектрических явлений в них, а также возможностей их использования в микроэлектронике с целью изучения быстропротекающих процессов, диагностики дефектов материалов и т.п.

На сегодняшний день в мире особое внимание уделяется созданию новых типов фотоприемников и фотопреобразователей, а также усовершенствованию основных рабочих параметров существующих. В этом отношении актуальной задачей является проведение целевых исследований по следующим направлениям: влияние материала и параметров полупроводникового электрода на процессы токового усиления в сверхтонкой газоразрядной ячейке; роль полупроводникового слоя в токовом усилении и фотоэлектрических, преобразовательных, выходных характеристиках газоразрядных систем с полупроводниковым электродом с дополнительными сеточными или плазменными контактами; стабилизационные токовые процессы в газоразрядных системах с полупроводниковым электродом в зависимости от толщины полупроводника и газоразрядной ячейки, давления газа и напряженности электрического поля.

Согласно Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан, особое внимание уделяется вопросам стимулирования научно-исследовательской и инновационной деятельности, создания эффективных механизмов внедрения научных и инновационных достижений в практику¹. Следует отметить, что эта деятельность осуществляется в рамках объявленного Президентом Республики Узбекистан Года поддержки активного предпринимательства, инновационных идей и технологий, нацеленного на получение оригинальных научных результатов, отвечающих современным требованиям научного развития народного хозяйства. При этом особое внимание уделяется вопросам усовершенствования способов получения нового типа фотопреобразователей в инфракрасном диапазоне спектра, в частности, исследованиям фотоэлектрических свойств газоразрядных систем с полупроводниковым электродом при малых межэлектродных расстояниях $d \leq 0,1$ мм. В этом аспекте **актуальной задачей** является исследование фотоэлектрических усилительных процессов в сверхтонкой газоразрядной ячейке с полупроводниковым электродом. Такое

¹ Указ Президента Республики Узбекистан. О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан /Официальное издание/ Министерство юстиции Республики Узбекистан. – Ташкент. «Адолат», 2017. С. 63

устройство нашло практическое применение в высокоскоростных преобразователях инфракрасных изображений ионизационного типа, например, для пространственно-временной диагностики лазерных ИК - излучений в оптоэлектронике и фото преобразовательной технике.

Настоящее диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан № УП-4947 “О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 гг.” от 7 февраля 2017 года, в Постановлениях Президента № ПП-2772 “О мерах по дальнейшему совершенствованию управления, ускоренному развитию и диверсификации электротехнической промышленности на 2017-2021 гг.” от 13 февраля 2017 года № ПП-2789 “О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Академии наук, организации, управления и финансирования научно-исследовательской деятельности” от 17 февраля 2017 года, а также в других нормативно-правовых документах, принятых в области науки и технологии.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Диссертация выполнена в рамках приоритетных направлений развития науки и технологий Республики Узбекистан: III. “Энергетика, энергоресурсосбережение, транспорт, машино- и приборостроение; развитие современной электроники, микроэлектроники, фотоники, электронного приборостроения”.

Степень изученности проблемы. До настоящего времени учеными Санкт-Петербургского Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН Рывкиным С.М., Парицким Л.Г., Астровым Ю.А., Шуманом В.Б., Порцелем Л.М., Лодыгиным А.Н. и др. подробно исследованы электрофизические и фотоэлектрические явления в классических полупроводниковых ионизационных камерах, а также возможности их практического применения.

В работах Саламова Б.Г., Султанова Э.А. и др. определено, что влияние полупроводникового электрода на распределение стационарного тока в узком ($d=60$ мкм) газоразрядном зазоре связано с проводимостью его приповерхностного слоя, в протяженных газовых зазорах в области кривой Пашена напряжение зажигания слабо меняется.

Учеными Узбекистана - академиком А.Т.Мамадалимовым, Ш.С.Касымовым, З.Хайдаровым, В.Т.Тулановым, Х.Б.Сиябековым, выполнены теоретические и экспериментальные работы по усовершенствованию рабочих параметров газоразрядных систем с полупроводниковым электродом. В частности, З.Хайдаровым проведены экспериментальные исследования по изучению физических процессов в тонкой ($d<20$ мкм) газоразрядной ячейке с полупроводниковым электродом и установлено, что достаточно сильная автоэлектронная эмиссия с поверхности полупроводника играет роль поставщика электронов для лавин Таунсенда в газовом разряде и является основным механизмом прохождения тока при очень малых зазорах.

Однако в тонких газоразрядных промежутках физические процессы не полностью изучены, особенно в части адекватных механизмов

токопрохождения и стабилизации горения разряда. В частности, не проведены экспериментальные исследования зависимости интенсивности свечения газа и люминесцентного экрана от величины тока при различных значениях газоразрядного промежутка ($d=10-100$ мкм) и давления ($P=5-120$ мм.рт.ст.) при комнатной температуре для систем с полуизолирующим GaAs-фотоприемником. В свою очередь, это требует дальнейших экспериментальных исследований устойчивости тока в зависимости как от параметров газоразрядного промежутка (d , P), так и от электрофизических свойств фоточувствительного полупроводника.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего учебного заведения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в Ферганском политехническом институте, в частности, по инновационному проекту № И-2014-3-1 «Организация производство пленочно-керамических композитов с активными нановключениями для стабилизации температуры в теплицах и парниках путем преобразования солнечной энергии» (2014-2015 гг.).

Целью исследования является установление механизмов фотоэлектрических усилительных процессов в сверхтонкой газоразрядной ячейке с полупроводниковым электродом из арсенида галлия.

Задачи исследования:

-определение зависимости интенсивности свечения газа и люминесцентного экрана фотопреобразователя ионизационного типа с полупроводниковым электродом от величины силы тока при различных значениях газоразрядного промежутка ($d=10-100$ мкм) и давления газа;

-теоретическое и экспериментальное проведение фотоэлектрического усилительного процесса в структуре с двумя плазменными контактами в зависимости от параметров полупроводникового электрода;

-исследование влияния продольной фотопроводимости полупроводникового электрода на усилительные процессы по току в структуре с дополнительным сеточным металлическим электродом;

-определение коэффициента усиления фотопреобразователя на основе изучения люкс-амперных, преобразовательных и выходных характеристик сверхтонкой газоразрядной ячейки с полупроводниковым электродом.

Объектом исследования является ионизационная система в качестве инфракрасного преобразователя, состоящая из сверхтонкой газоразрядной ячейки с полупроводниковым (GaAs) и прозрачным (SnO_2) электродами или люминесцентным экраном.

Предметом исследования являются фотоэлектрические усилительные процессы в сверхтонкой газоразрядной ячейке с полупроводниковым электродом, механизмы токопрохождения и стабилизации горения разряда.

Методы исследований. В процессе исследования применены методы измерения вольтамперных и люкс-амперных характеристик для определения электрофизических параметров газоразрядных систем с полупроводниковым электродом.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

определены зависимости интенсивности свечения газа и люминесцентного экрана от величины силы тока при различных значениях газоразрядного промежутка ($d=10-100$ мкм) и давления газа ($P=5-120$ мм.рт.ст). Обнаружено увеличение яркости люминесцентного экрана в 8-10 раз по сравнению с интенсивностью свечения газоразрядного промежутка;

установлена сильная зависимость фотоэлектрического усилительного процесса в газоразрядных системах с полупроводниковым электродом с дополнительными двумя плазменными контактами от освещенности и коэффициента поглощения GaAs-полупроводника, а уменьшение толщины полупроводника приводит к повышению фотоэлектрического усиления;

разработана конструкция полупроводниковой ионизационной системы для фотоэлектрического преобразования ИК излучений;

разработан метод расчета коэффициента фотоэлектрического усиления в случае продольной фотопроводимости полупроводника при неравномерном по объему поглощении.

введен в газоразрядный промежуток дополнительный сеточный металлический электрод и достигнуто $8\div 10$ кратное увеличение чувствительности ионизационных систем.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

усовершенствована конструкция полупроводниковой ионизационной системы для фотоэлектрического преобразования ИК и оптических изображений путем использования люминесцентного экрана, либо метода сеточного усиления или плазменных контактов, в которых достигнуто $8\div 10$ раз большее значение коэффициента усиления;

Достоверность результатов исследований обосновывается применением экспериментальных методов с высокой чувствительностью и использованием общепринятых методов для изучения физических процессов.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Результаты исследований способствуют расширению представлений о физических свойствах сверхтонкого газового разряда и выяснению механизмов фотоэлектрического усиления, разрешению трудностей управления и стабилизация тока в газоразрядных систем с полупроводниковым электродом.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что полученные экспериментальные результаты могут быть использованы для разработки новых фотопреобразователей из газоразрядных систем с полупроводниковым электродом для применения в области фотоэлектроники при регистрации оптического и инфракрасного излучения, а также для материаловедческих целей и дефектоскопии.

Внедрение результатов исследования. На основе определения фотоэлектрических усилительных процессов в сверхтонкой газоразрядной ячейке с полупроводниковым электродом:

разработана конструкция полупроводниковой ионизационной системы для фотоэлектрического преобразования ИК излучений, принципы создания

и исследования которой были использованы Акционерным обществом «FOTON» при изготовлении фотоэлектрических преобразователей (Справка № 02-351 Акционерной компании «Узэлтехсаноат» от 12 февраля 2019 года). Применение этой научной разработки приводит к увеличению фоточувствительности фотодатчиков на основе GaAs;

метод расчета коэффициента фотоэлектрического усиления в случае продольной фотопроводимости полупроводника при неравномерном по объему поглощении, результаты которого использованы для проведения расчёта термодинамической плотности состояний и спектра поглощения тонких пленок при выполнении государственного гранта на тему: «Изучение экситонов, поляронов и явлений переноса в наноразмерных гетероструктурах с квантовыми точками с целью создания высокоэффективных фотодетекторов» (Министерство высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан. Справка № 89-03-232 от 16.01.2019 года).

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационной работы обсуждались на 9 международных и 2 республиканских научно-практических конференциях.

Публикации результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 19 научных трудов, из них 8 статей в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертационных работ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы. Текст диссертации изложен на 112 страницах, включая 26 рисунков, 1 таблицу.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность темы диссертационной работы, определена связь исследования с основными приоритетными направлениями развития науки и технологий в Республике Узбекистан, приведен обзор научных работ по теме диссертации, степень изученности проблемы и методы исследования, изложена научная новизна исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта теоретическая и практическая значимость, приведены краткие сведения о внедрении результатов и апробации работы, а также об объеме и структуре диссертации.

В первой главе **“Существующие методы преобразования оптической информации в инфракрасной области спектра”** приведен краткий обзор литературы, касающейся современного состояния проблемы ИК фотографии. Рассматриваются основные причины, ограничивающие ИК чувствительность традиционных методов преобразования, а также недостатки других методов регистрации ИК изображений. Рассмотрены характерные особенности полупроводниковых фотоионизационных систем, построенных на основе принципа управляемой чувствительности.

По итогам проведенного анализа дано обоснование постановки задачи исследований, выполненных в диссертационной работе.

Во второй главе “Исследование характеристик полупроводникового фотопреобразователя ИК-изображений со сверхтонкой газоразрядной ячейкой и люминофором” приведены экспериментальные результаты исследования зависимости интенсивности свечения газа и люминесцентного экрана от величины тока при различных значениях газоразрядного промежутка ($d=10-100$ мкм) и давления газа ($P=5-120$ мм.рт. ст.) фотопреобразователя ионизационного типа с полуизолирующим GaAs-электродом. При измерениях считывание выходного сигнала производилось с помощью фотоэлектрического умножителя ФЭУ-19А. Описаны общие схемы и принцип действия разработанных преобразователей. Принцип работы ионизационной системы позволил сконструировать два варианта преобразователей изображений. В первом случае выходное изображение формируется в тонком слое люминофора, а во втором - в виде свечения ионизованного газа, наблюдаемого через прозрачный электрод.

Схема экспериментальной установки приведена на рис.1. Исследуемая газоразрядная система с полупроводниковым электродом включает полупроводниковый и прозрачный электроды, разделенные диэлектрической прокладкой с отверстием диаметром 15 мм, которое формирует газоразрядную область. Толщина прокладки определяет значение d_g , которое изменялось в наших опытах в диапазоне $10 \div 100$ мкм.

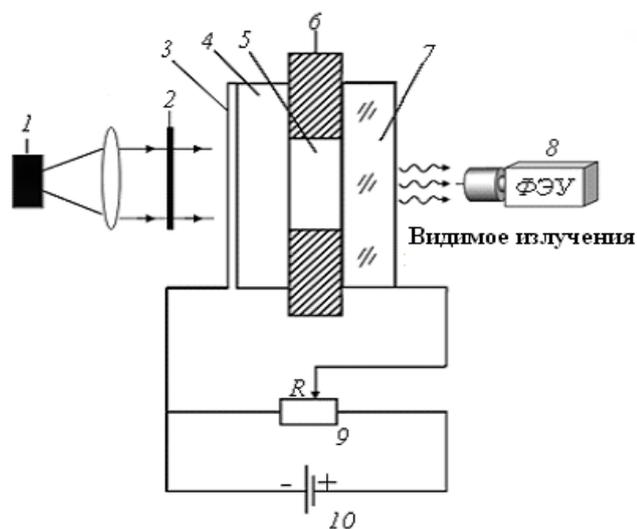


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки. 1 - источник освещения, 2 - Si-фильтр, 3 - полупрозрачный контакт, 4 - полупроводниковый фотоприемник, 5 - газоразрядный промежуток, изготовленный из слюды, 6 - слюдяная фольга с центральным круглым отверстием, 7 - прозрачный контакт, 8 - фотоэлектронный умножитель, 9 - внешнее сопротивление, 10 - источник постоянного тока-УИП-2.

Полупроводниковый электрод (полуизолирующий GaAs) диаметром 25 мм и толщиной ~1 мм и служил также фотоприемником устройства. На внешней стороне фотоприемника создавался полупрозрачный электрический контакт, изготовленный методом напыления в вакууме тонкой пленки металла (*Ni*). В качестве анода использовалась стеклянная пластина, покрытая проводящим слоем SnO_2 .

На рис. 2 показаны зависимости интенсивности свечения газа (а) и люминесцентного экрана (б) от величины тока при различных значениях газоразрядного промежутка d .

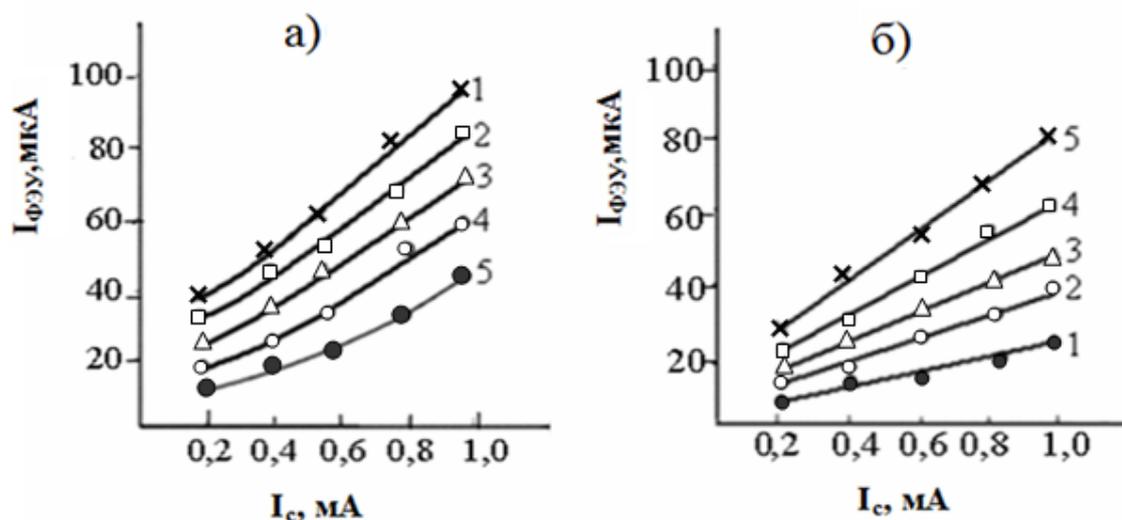


Рис. 2. Зависимость интенсивности свечения I (ток ФЭУ) для газа (а) и люминесцентного экрана (б) от силы тока ионизационной системы I_c при различных значениях толщины газоразрядного промежутка, d , мкм: 1-30; 2-25; 3-20; 4-15; 5-10. $P=76$ мм.рт.ст

Анализ ВАХ при различных значениях d показывает, что когда приложенное напряжение больше напряжения пробоя, т.е. $U > U_{пр} \approx 400$ В интенсивность свечения газа линейно растет с увеличением U . Поэтому, как видно из рисунков, во всем исследованном диапазоне токов интенсивность свечения газа и люминесцентного экрана практически линейно следует за током системы, хотя в случае свечения газа обнаруживается заметная нелинейность при уменьшении d (кривые 4, 5 на рис. 2. а). Отметим, что при заданном значении давления газа $P=76$ мм.рт.ст наблюдается более сильная токовая зависимость свечения газа, нежели свечение люминесцентного экрана в случае больших толщин газоразрядного промежутка. С уменьшением d , наоборот, свечение газа ослабляется, а свечение экрана усиливается. При этом интенсивность освещения фотоприемника всегда была постоянна на уровне $J_{осв} = 2$ мВт/см².

На рис. 3 представлены зависимости интенсивности свечения газа (а) и люминесцентного экрана (б) от величины давления газа P для разных толщин газоразрядного промежутка. Кривые получены при значении интенсивности освещения ФП равным $J_{осв} = 2$ мВт/см² и значении тока $I_c = 0,2$ мА через

газоразрядный промежуток. Видно, что эффективность преобразования излучения в случае регистрации люминесцентным экраном растет при уменьшении d и P (рис. 3, б).

С уменьшением давления газа при прочих равных условиях яркость свечения люминесцентного экрана растет. Однако следует отметить, что при малых давлениях ($P < 30$ мм.рт.ст.) однородность свечения экрана ухудшается. По-видимому, в условиях малой плотности газа в межэлектродном пространстве возрастает влияние свойств поверхностей электродов (загрязнений, микрошероховатости) на характер пробоя. В случае свечения газа, наоборот, уменьшение d и P в общем случае приводят к снижению эффективности преобразования излучения (рис. 3, а), кроме значения $d=10$ мкм, когда длина свободного пробега электрона становится больше, чем d .

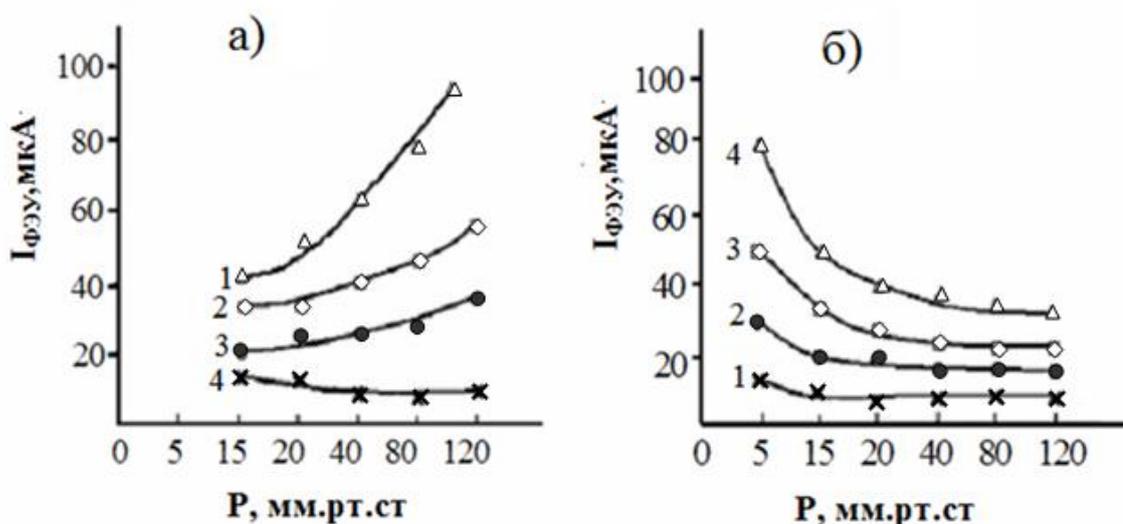


Рис. 3. Зависимость интенсивности свечение газа (а) и люминесцентного экрана (б) от давления остаточных паров при различных толщинах газоразрядного промежутка. d , мкм: 1-100 2-30; 3-20; 4-10. $I_c=0,2$ мА

Из приведенных экспериментальных данных можно сделать заключение о том, что распределение поля в зазоре неоднородно, следовательно, неоднородно и пространственно - энергетическое распределение электронов. Вблизи люминесцентного экрана, служащего анодом, энергия электронов ниже, чем в области катодного падения потенциала. Уменьшение d при неизменном давлении газа приближает анод к области с высокой напряженностью поля и с высокой энергией электронов, что повышает эффективность возбуждения электронами люминофора и увеличивает яркость экрана. Отметим, что в случае регистрации свечения газа, вклад в это свечение дает весь разрядный объем. При этом, казалось бы, интенсивность свечения для постоянного давления газа должна быть пропорциональна мощности, выделяемой в газоразрядном промежутке, т. е. величине $I_c \cdot U_{пр}$. При постоянной плотности тока выходная яркость должна быть пропорциональна $U_{пр}$. Сравнение данных рис. 3, а с зависимостью $U_{пр}$ от

параметров зазора показывает, что кривые зависимости выходной яркости от величины давления подобны соответствующим кривым изменениям $U_{пр}$. Однако необходимо отметить, что при увеличении d интенсивность свечения возрастает быстрее, чем $U_{пр}$. По-видимому, это объясняется тем обстоятельством, что рост d сопровождается уменьшением потерь энергии при рекомбинации возбужденных молекул и атомов газа на стенках разрядного объема и, соответственно, увеличением вероятности излучательной рекомбинации.

Важными характеристиками преобразователей, определяющих их чувствительность и динамический диапазон входных интенсивностей, являются выходные характеристики (ВХ).

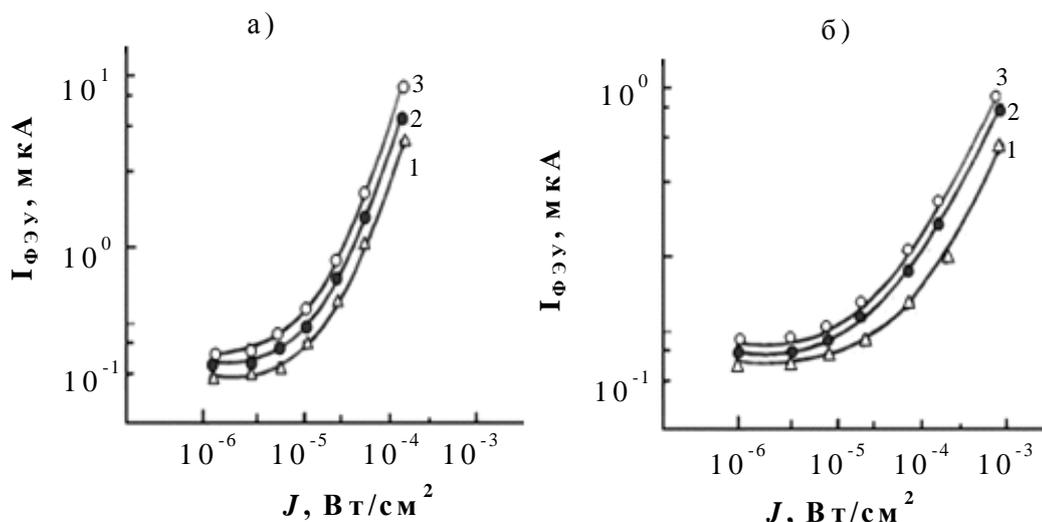


Рис. 4. Выходные характеристики преобразователя с люминесцентным экраном (а) и со светящимся разрядным промежутком (б). $d=100$ мкм. $P=76$ мм.рт.ст. Напряжение на промежутке U , В: 1-800; 2-900; 3-1000

На рис. 4, а и б показаны семейства ВХ преобразователей с люминесцентным экраном и светящимся газоразрядным промежутком для случая использования полуизолирующего арсенид-галлиевого ФП. Кривые получены при фиксированном значении воздушного зазора $d=100$ мкм при различных напряжениях питания. Выходная яркость выражена в относительных единицах, пропорциональных току ФЭУ. При увеличении питающего напряжения ВХ сдвигаются в сторону больших интенсивностей свечения экрана и разрядного промежутка.

Таким образом, коэффициент преобразования увеличивается с ростом интенсивности освещения полупроводника и приложенного напряжения. При этом, однако, увеличивается и «темновое» свечение (т. е. свечение экрана и ионизованного газа при отсутствии входного сигнала) за счет роста темнового тока системы при увеличении напряжения.

На основе сравнения ВХ на рисунке 4, а и б можно показать, что при значениях $P=76$ мм.рт.ст и $d=100$ мкм и сохранении неизменной плотности

тока яркость люминесцентного экрана в 8-10 раз превышает интенсивность свечения газоразрядного промежутка.

Третья глава “**Фотоэлектрические усилительные процессы в газоразрядной ячейке, включающей полупроводниковый фотоприемник и плазменные контакты**” посвящена изучению контактных явлений на поверхности полупроводника с газоразрядной плазмой и усилительных процессов в газоразрядной ячейке. Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований фототока в ионизационной системе с двумя плазменными контактами, принципиальная схема которой показана на рис. 5.

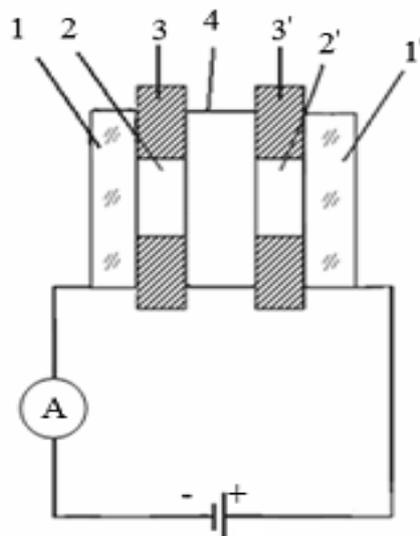


Рис.5. Принципиальная схема экспериментальной установки с двумя плазменными контактами

Полупроводниковый фотоприемник (4) помещался между калиброванными лавсановыми прокладками (3 и 3'), толщина которых составляла по 40 мкм каждая. Контрэлектрод изготовлен из стеклянной пластинки (1 и 1'), покрытой токопроводящим слоем из SnO_2 , прозрачность которого необходима для визуального наблюдения и фотографирования свечения газового разряда. Постоянное напряжение $U=Ed \approx 600$ В (где E – напряженность электрического поля, d – длина газоразрядного промежутка 2 и 2') подается между 1 и 1', при котором происходит пробой и начинается тлеющий разряд. Эксперимент проводился при комнатной температуре, необходимое остаточное давление воздуха обеспечивалось с помощью форвакуумного насоса. В качестве источника питания использован высоковольтный блок ВС-23.

Практически для всех фоточувствительных полупроводниковых устройств при слабых интенсивностях освещения люкс-амперная характеристика (ЛАХ) полного тока может быть представлена в виде

$$i = i_T + i_C = i_T + aEJ^n, \quad (1)$$

где $a = e\mu\beta k\tau$ ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, μ – подвижность носителей, β – коэффициент квантового выхода, k – коэффициент поглощения света в полупроводнике, τ – время жизни носителей), J – интенсивность освещения, n – показатель нелинейности ВАХ: $n > 1$ – для сверхлинейного, $n < 1$ для сублинейного и $n = 1$ для линейного фоточувствительного элемента.

Величину плотности фототока можно представить в виде:

$$i_c = eGJ^n / h\nu, \quad (2)$$

где G – фотоэлектрическое усиление, которое в простейшем случае однородного оптического возбуждения полупроводника равно отношению времени жизни τ к времени пролета t_{np} носителя между электродами: $t_{np} = L_n / \mu E_n$ (μ – подвижность носителя, L_n – толщина полупроводника, E_n – напряженность электрического поля в полупроводнике).

Для случая продольной фотопроводимости при неравномерном по объему поглощении света величина фотоэлектрического усиления G отличается от простого соотношения τ / t_{np} и ее можно приближенно выразить формулой

$$G = \frac{\mu\kappa\tau\varepsilon}{\delta(1 - e^{-\kappa L_n})} \left[\frac{1}{1 + \frac{1}{\kappa L_n} \ln \frac{1 + \delta e^{-\kappa L_n}}{1 + \delta}} - 1 \right], \quad (3)$$

где $\delta = \frac{\kappa\tau J_0}{n_T}$ – начальная кратность фотопроводимости, n_T – концентрация темновых носителей, ε – диэлектрическая проницаемость полупроводника.

Формула (3) выведена без учета диффузии, дрейфа неравновесных носителей и реабсорбцию рекомбинационного излучения, которая определяет предельно минимальное значение величины G для монохроматического освещения при заданном значении коэффициента поглощения света κ , поскольку учет упомянутых факторов приводит к увеличению G .

Измерение фотоэлектрического усиления фотоприемных полупроводниковых пластин выполнено по следующей методике. Измерялась ВАХ фототока в ионизационной системе до максимальных возможных значений приложенного напряжения. Ограничением предельных значений фотоэлектрического усиления служило возникновение неустойчивости тока. Освещение производилось через интерференционный светофильтр, интенсивность света измерялась фотодиодом ФД-24К при одинаковой площади освещаемого участка. Величина G в этом случае равняется отношению тока фотопроводника к току фотодиода.

Ниже приведены типичные данные, полученные для разных фотопроводников.

Из таблицы следует, что имеется достаточно резкая зависимость фотоэлектрического усиления от толщины фотоприемника.

Результаты исследований показывают, что в газоразрядной ячейке с полупроводником из арсенида галлия имеется достаточно большое усиление с коэффициентом K более чем на 50 единиц. Однако, с полупроводником из

№	Образцы	Толщина образцов (мм)	E , (В/см)	G	m_n^*/m_0	m_p^*/m_0	E_g (300К)	μ_n $\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$	μ_p $\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$	ε
1	GaAs	1	$2 \cdot 10^4$	7	0,7	$m_{pT}0,45$	1,43	8500	400	10,9
1	GaAs	0,5	$2 \cdot 10^4$	10	0,7	$m_{pT}0,45$	1,43	8500	400	10,9
1	GaAs	0,3	$2 \cdot 10^4$	15	0,7	$m_{pT}0,45$	1,43	8500	400	10,9
2	CdS	1,5	$1 \cdot 10^4$	5	0,20	0,7	2,53	350	15	8,96
2	CdS	0,5	$1 \cdot 10^4$	13	0,20	0,7	2,53	350	15	8,96

теллурида кадмия усиление как по току, так и по яркости свечения, не наблюдается. По-видимому, это связано с тем, что на поверхности полупроводника из CdTe имеются в достаточном количестве ловушки, которые захватывают электроны, поступающие из газоразрядной плазмы.

Для кинетики тока с учетом оптической генерации (F) можно написать следующие уравнения без учета эксклюзии и влияния ловушек:

$$\text{в условиях } E < (\xi\mu\tau)^{-1}, \quad j = \frac{e\mu EF}{1/\tau - \xi\mu E} \{1 - \xi\mu E \tau \exp[-t(1/\tau - \xi\mu E)]\} \quad (4)$$

$$\text{в условиях } E > (\xi\mu\tau)^{-1}, \quad j = \frac{e\mu EF}{\xi\mu E - 1/\tau} [\xi\mu E \tau \exp t(\xi\mu E \tau - 1/\tau) - 1], \quad (5)$$

где ξ –коэффициент пропорциональности, м^{-1}

На рис. 6 приведены ВАХ кристаллического полуизолирующего арсенида галлия ($\rho \approx 10^7 \text{ Ом}\cdot\text{см}$) толщиной 0,5 мм (а) при разных значениях интенсивности освещения.

Остаточное давление воздуха составляет в системе 0,2 атм. Ток в системе до напряжения $\sim 600 \text{ В}$ отсутствует. При указанном напряжении происходит пробой газоразрядных зазоров и увеличение величины тока с повышением напряжения. Напряжение с постоянной скоростью поднималось до некоторого фиксированного значения (V_1, V_2, V_3), затем подъем напряжения резко прекратился и с этого момента происходило самопроизвольное нарастание тока с одновременным уменьшением напряжения на исследуемом материале. При остановке подъема напряжения ниже значения, соответствующего точке V_1, V_2, V_3 , изменение тока во времени не происходило. Самопроизвольный рост тока при переходе в нестационарный режим происходит в виде участка с отрицательным дифференциальным сопротивлением и с наклоном, в точности соответствующим внутреннему сопротивлению источника тока. Значения токов и напряжений точки V_1, V_2, V_3 по существу являются нестационарными. На вид вольт-амперных характеристик существенное влияние оказывает интенсивность внешнего освещения. Полупроводниковые материалы из арсенида галлия являются одним из немногих чувствительных фотоприемников к ультрафиолетовым и коротковолновым излучениям плазмы.

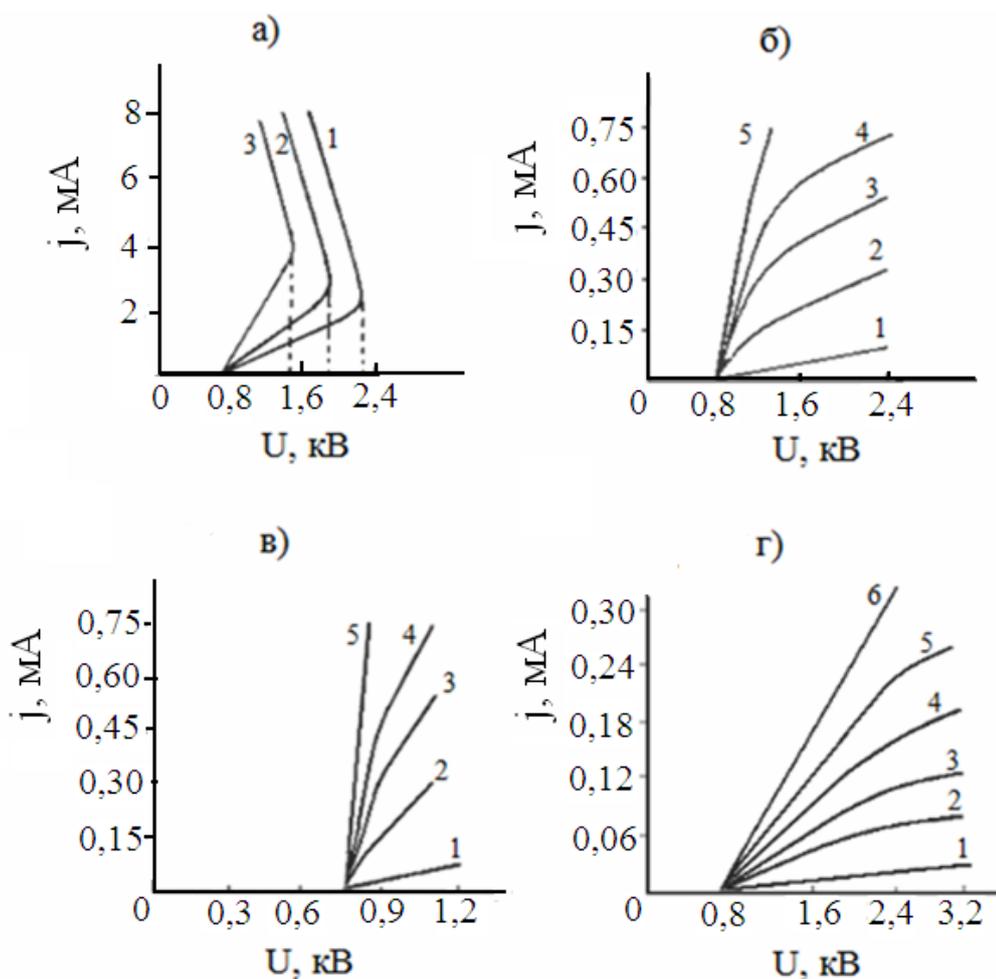


Рис.6. ВАХ системы с разными фотоприемниками и при разных интенсивностях освещения. $F \cdot 10^4$, Вт/см²: 1-0,15, 2-2,0; 3-9,0), а также фотоприемника из CdTe, толщиной 2,5 мм (б), 1,5 мм (в), 0,5мм (г) ($F \cdot 10^4$, Вт/см²: 1-0 (темновая); 2-2,0; 3-9,0; 4-15; 5-25; 6-40

Как видно из кривых ВАХ кристалла теллурида кадмия на рис. 6, б, в, г, при увеличении напряжения в системе самопроизвольное нарастание тока не наблюдается. Напротив, начальные участки ВАХ имеют линейный характер и при больших напряжениях происходит насыщение тока, причем, чем меньше толщина материала, тем меньше напряжение насыщения. Величина напряжения, соответствующая линейному участку ВАХ, при толщине полупроводникового материала 0,5 мм приблизительно в 5 раз меньше, чем при толщине 2,5 мм, т.е. насыщение прямо пропорционально с напряженности поля.

Экспериментальные исследования стационарных ВАХ и релаксационных кривых фототока показывают, что их общий характер согласуется с теоретическим расчетом, в том числе и в области отрицательного времени жизни. Предложен и исследован режим усиления с использованием этого эффекта с ограничением максимального тока нелинейной нагрузкой или временным ограничением (“самоходное” усиление).

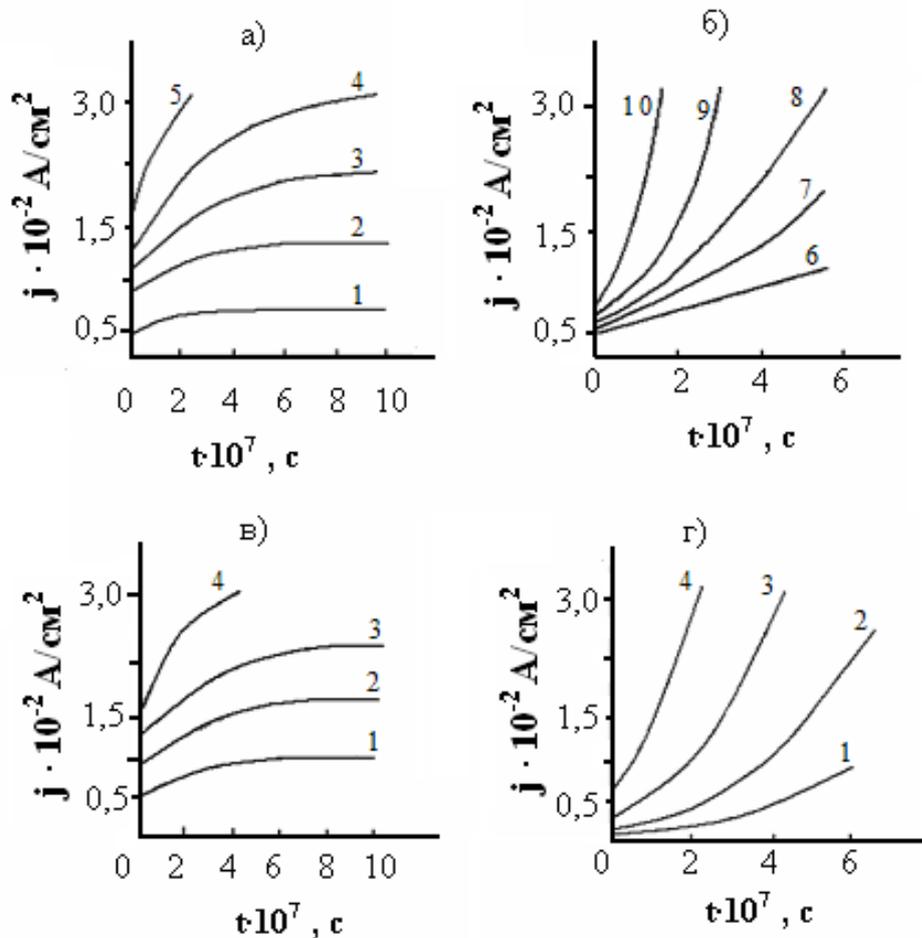


Рис. 7. Расчетные релаксационные кривые носителей тока в полупроводнике. а, б при $E \cdot 10^4$ (В/см)=0,4 (кривая 1); 0,9 (2); 1,3 (3); 1,5 (4); 1,6 (5); 2 (6); 2,25 (7); 2,5 (8); 3,0 (9); 4,0 (10); $F=10^{16}$ ($\text{см}^{-3} \text{с}^{-1}$), $\tau=10^{-7} \text{с}$, $\mu=500 \text{см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \text{с}^{-1}$, $\xi=1 \text{см}^{-1}$; в) $F \cdot 10^{16}$ ($\text{см}^{-3} \text{с}^{-1}$)=0,6 (1); 1,0 (2); 1,5 (3); 2,0 (4) и $E=10^4$ В/см; г) $F \cdot 10^{16}$ ($\text{см}^{-3} \text{с}^{-1}$)= 0,08 (1); 0,2 (2); 0,8 (3); 2,0 (4) и $E=10^4$ В/см, а значение параметров τ , μ и ξ те же, что и на а, б.

На рис 7, показаны релаксационные кривые носителей тока в полупроводнике при разных значениях приложенного напряжения E и постоянного освещения F (а, б), а также – при разных значениях интенсивности F и постоянного напряжения E (в, г). В области $E < 1/\xi\mu\tau$ (где $1/\tau_{\text{эф}} = 1/\tau - \xi\mu E$, $\tau_{\text{эф}}$ - положительное эффективное время жизни) величина тока при $t \rightarrow \infty$ имеет стационарное значение. При $E > 1/\xi\mu\tau$ реализуется условие эффективного времени жизни - стационарное состояние отсутствует. Характерно, что при $E = 1/\xi\mu\tau$ релаксация выражается линейным нарастанием тока с наклоном, соответствующим темпу оптической генерации носителей тока при отсутствии рекомбинации.

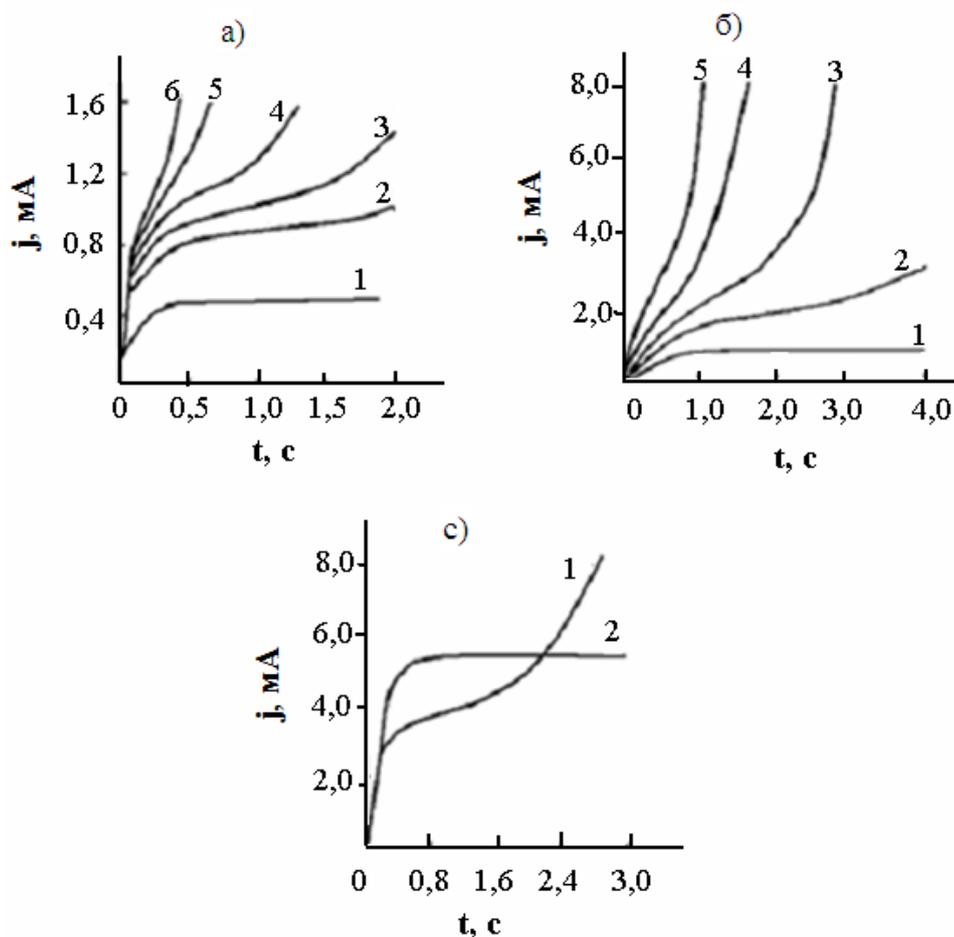


Рис.8. Экспериментальные кривые кинетики тока с фотоприемником из GaAs при разных значениях приложенного напряжения V и интенсивности оптической генерации F . $V(\text{кВ})=2,0$ (1); 2,8 (2); 2,9 (3); 2,95 (4); 3,0 (5); 3,05 (6); и $F=2 \cdot 10^{-4}$ Вт/см^2 кривая а, $F \cdot 10^{-6}$ (Вт/см^2) 0,3 (1); 0,9 (2); 5,0 (3); 20 (4); 50 (5) и $V=2,6$ кВ кривая б, в - при разной ориентации фотоприемника относительно светового потока, 1 и 2- соответствуют освещению противоположных сторон фотоприемника

На рис. 8 представлены экспериментальные кривые кинетики общего тока полупроводника в ионизационной системе при разных значениях напряжения и интенсивности внешнего освещения:

Общий характер релаксационных кривых в известной мере согласуется с теоретическими, в том числе и в области “отрицательного” времени жизни. Для напряжения 2 кВ на рис.8,а и интенсивности освещения $3 \cdot 10^6$ Вт/см^2 на рис.8, б наблюдается достижение стационарного состояния. При больших напряжениях и интенсивности освещения происходит резкое возрастание тока.

Полученные экспериментальные результаты исследования ВАХ и кинетики тока в полуизолирующем арсениде галлия по общему характеру зависимостей качественно соответствуют ожидаемым из упрощенной

теории. Сам факт самопроизвольного нарастания тока, его зависимости от поля и освещения, а также квазиэкспоненциальный ход нарастания соответствует полученным теоретическим результатам.

Однако, неожиданным является расхождение во временных масштабах кинетики тока. Действительно, теоретически ожидается самопроизвольное возрастание за время, порядка времени жизни, тогда как экспериментально определенные значения - порядка секунды и даже десятков секунд. Это различие, на наш взгляд, связано с контактными явлениями на границе полупроводника с газоразрядной плазмой, а также свойствами полупроводников. При самопроизвольном нарастании тока происходит увеличение свечения газа и потока частиц. Действие плазменного потока на поверхность полупроводника тем сильнее, чем больше ток в системе, тем сильнее поток частиц и свечение газа в плазме.

Четвёртая глава диссертации **“Исследование возможности усиления по току в полупроводниковой газоразрядной ячейке с дополнительными сеточными электродами”** посвящена проблеме токового усиления в газоразрядной ячейке с дополнительными сеточными электродами.

Для объяснения наблюдаемого эффекта нами были исследованы несколько вариантов фотосъёмочных устройств с сеточным усилением тока в разряде как растрированного, так и нерастрированного изображений. Более детально была исследована система в преобразовательном режиме с одним электродом без растрирования изображения, принципиальная схема которой показана на рис.9. В зазоре между ФП и регистрирующей частью (экраном) с помощью калиброванных слюдяных прокладок помещался электрод в виде плоской металлической сетки, имеющей достаточно мелкую структуру (10 ячеек на 1мм). Между ФП и сеткой подключался основной источник питания U_1 , а между сеткой и экраном – вспомогательный источник U_2 . Усиление по току в газоразрядном промежутке будет происходить следующим образом.

Если спроектировать изображение на поверхность полупроводникового фотоприемника и приложить к его прозрачному электроду и сетке достаточное напряжение ($U \gg U_{np}$ для газового промежутка), то в цепи сетки установится самостоятельный тихий разряд, интенсивность которого в поперечном сечении будет контролироваться фотоприемником в соответствии со спроектированным изображением. Поскольку высокоэнергичные компоненты ионизированного газа могут проскакивать сквозь сетку, то его можно рассматривать как источник начальной ионизации для участка «сетка-экран». При наличии ускоряющего поля частицы приобретут кинетическую энергию, достаточную для интенсивной ударной ионизации, что приведет к зажиганию разряда в цепи экрана, плотность тока которого будет зависеть от интенсивности разряда в первом зазоре. Таким образом, небольшим током сетки, лимитирующимся фотоприемником, можно управлять при зажигании разряда значительным током в цепи экрана.

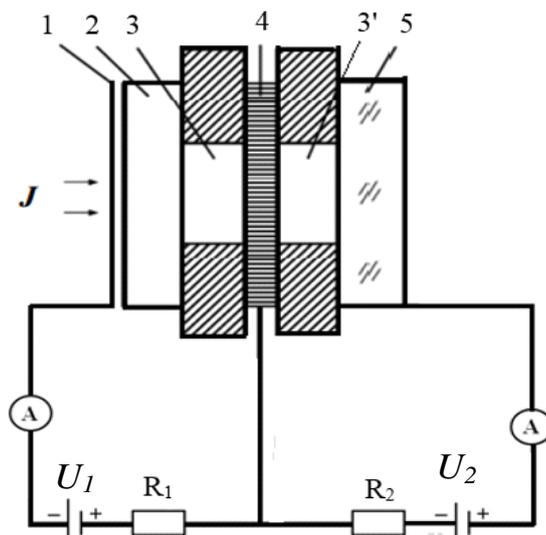


Рис.9. Принципиальная схема ионизационного преобразователя изображений с сеточным усилением тока в плазме газового разряда. 1-полупрозрачный контакт, 2-полупроводниковый фотоприемник, 3-3'-газоразрядный промежуток, изготовленный слюдяных прокладок, 4-сетка, 5-прозрачный контакт, R_1 , R_2 - балластные сопротивления

Включение дополнительного электрода в разрядном промежутке приводит также к следующим положительным эффектам:

устраняется явление статистического запаздывания зажигания разряда во время экспонирования, что существенно сокращает инерционность системы;

создается возможность значительного понижения рабочего напряжения на ФП, поскольку взаимное влияние разряда второй цепи на разряд в первом зазоре способствует снижению напряжения зажигания в цепи ФП.

В качестве ФП использовался $GaAs$ $\rho = 10^7 \div 10^9 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, при освещении в спектральной области длин волн больше 1 мкм.

Были рассмотрены токовые зависимости цепи экрана от тока сетки и исследован коэффициент токового усиления системы $K = i_2/i_1$ (где i_1 - ток сетки, i_2 - ток экрана) в разных режимах. На рис. 10 показаны, соответственно, семейства ВАХ участка «ФП-сетка» для постоянных величин давления газа ($p=15$ мм.рт.ст.) и длины разрядного промежутка ($d_1=50$ мкм, $d_2=100$ мкм) при различных напряжениях U_2 на участке «сетка-экран» и семейство ВАХ, когда параметром кривых является давление газа при $U_2=400$ В. Отличительной особенностью системы с сеточным управлением является то, что после зажигания разряда в цепи экрана характеристика сдвигается в сторону меньших напряжений, и чем интенсивнее этот разряд, тем меньше падение напряжения на участке «ФП – сетка». Последнее обстоятельство объясняется тем, что сетка приобретает

потенциал, обусловленный током зарядов положительных ионов плазмы участка «сетка - экран».

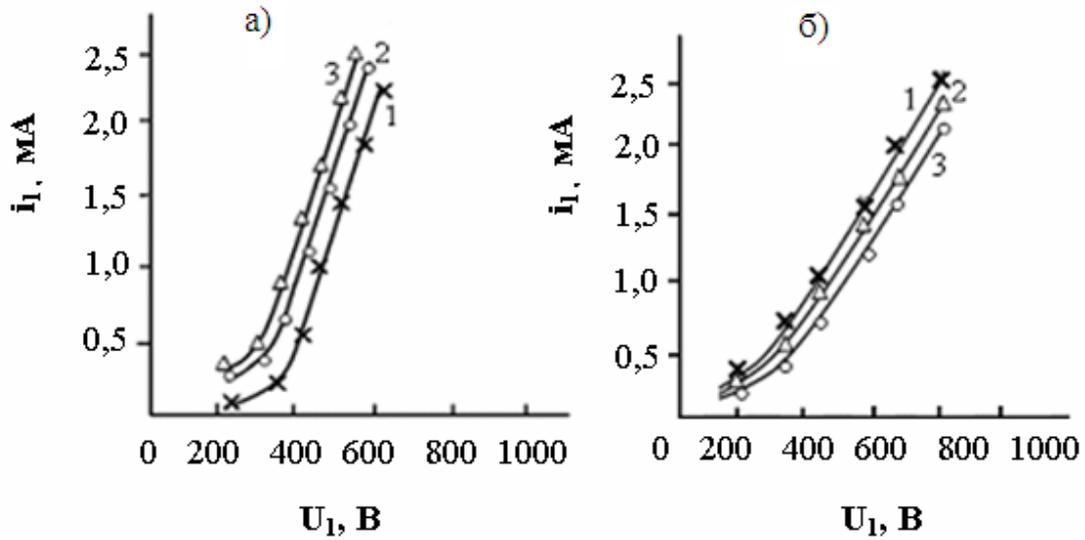


Рис. 10. Семейства ВАХ для U_1 . а) ВАХ участка «ФП-сетка» при $r = 15$ мм рт. ст; значения U_2 (В): 1-200; 2-300; 3-500. б) ВАХ участка «ФП-сетка», $U_2 = 400$ В; значения r (мм рт. ст): 1-50; 2-100; 3-150

Семейство вольт – амперных характеристик для участка сетка – экран (см. рис. 11) показывает зависимость тока от напряжения при фиксированных

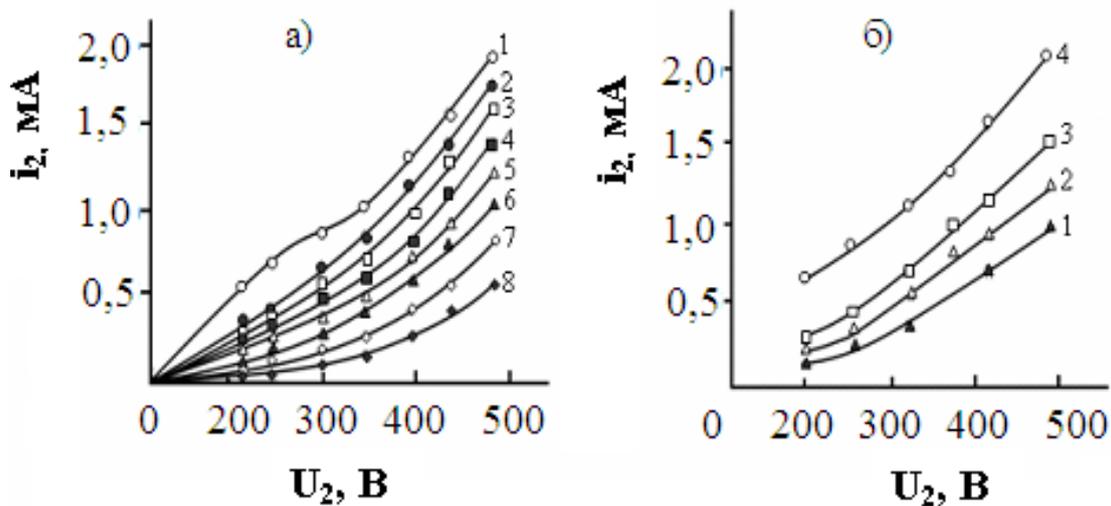


Рис. 11. Семейства ВАХ для U_2 . а) ВАХ участка «сетка-экран», $i_1 = 1,5$ мА. r , (мм рт. ст): 1-15; 2-30; 3-45; 4-60; 5-75; 6-90; 7-105; 8-120. б) ВАХ участка «сетка-экран». $r = 15$ мм рт. ст. i_1 (мА); 1-0,3; 2-0,5; 3-1,0; 4-1,5

значениях тока в цепи «ФП-сетка» и различных давлениях газа. Из приведенных характеристик следует, что в исследованном диапазоне токов

отсутствует характерная для газового разряда между металлическими электродами неустойчивость тока, хотя ее значения в данном случае соответствует токам в диапазонах нормального тлеющего разряда, что специально контролировалось равномерностью свечения экрана. Зависимости $i_2(U_2)$ сняты для значений тока $i_1=1,5$ мА входной интенсивности $J_{ex}=2 \cdot 10^{-3}$ Вт/см² и для толщин газоразрядных зазоров $d_1=50$ мкм и $d_2=100$ мкм, когда параметром является давление газа.

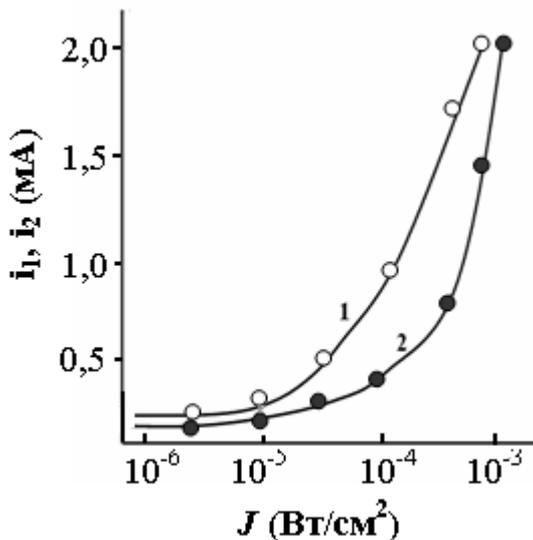


Рис. 12. Люксамперные характеристики для участков “ФП-сетка”- (2) и “сетка-экран”- (1)

На рис.12 показаны ЛАХ для фототоков в цепи “ФП-сетка” (кривая 1) и в цепи “сетка-экран” (кривая 2), измеренные для $U_1=1000$ В, $U_2=400$ В, $p = 15$ мм. рт. ст. Восходящая ветвь кривой 1 круче, чем для кривой 2.

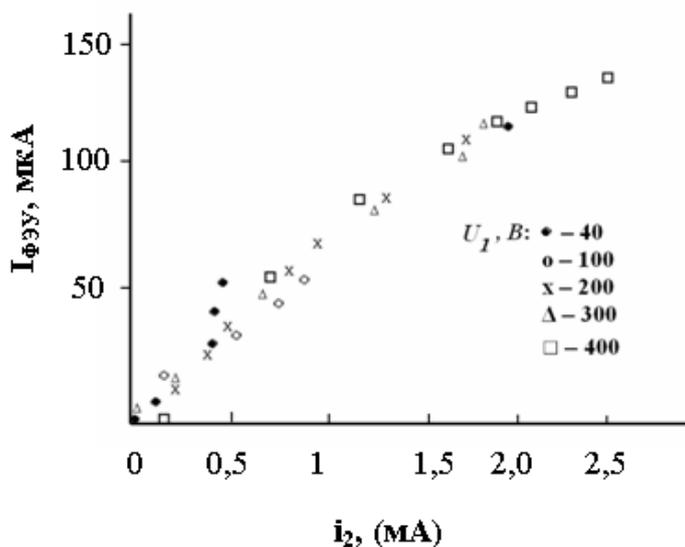


Рис. 13. Семейство преобразовательных характеристик (i_2 – является функцией U_2)

Нарастание тока в цепи “сетка - экрана” при малых входных интенсивностях идет быстрее, чем для цепи “фотоприемник-сетка”, что способствует понижению пороговой регистрируемой интенсивности входного излучения почти на порядок.

При больших входных интенсивностях наблюдается выравнивание токов в обоих цепях. В общем случае вид ЛАХ лишней раз подтверждает справедливость сделанных ранее выводов об электрических свойствах ионизационной системы усилением тока в плазме газоразрядной ячейки.

На рис.13 показано семейство зависимостей интенсивности свечения экрана преобразователя, выраженная через ток ФЭУ от тока при фиксированном давлении газа ($p=15$ мм.рт.ст) и разных значениях напряжения U_1 . Ток в цепи экрана изменялся регулированием напряжения U_2 между ФП и сеткой.

Видно, что характеристики почти линейны для разных значений напряжения U_2 , однако в общем случае наблюдаемое уменьшение крутизны характеристик с увеличением U_2 приводит к заметному сублинейному росту выходной интенсивности от тока i_2 . Последнее обстоятельство объясняется тем, что при больших U_2 интенсивное размножение носителей приводит к формированию отрицательного объемного заряда вблизи экрана, следствием чего является уменьшение средней энергии электронов, взаимодействующих с люминесцентным экраном, и, во-вторых пространственный положительный заряд ионов вблизи катода (сетки), экранируя поток электронов из первого разрядного промежутка, уменьшает темп роста тока i_2 . В общем случае характеристики $J_{\text{вых}}(i_2)$, показанные на рис.14 совпадают с результатами измерений выходной интенсивности при изменении U_2 при фиксированном и различных значениях p , указывает на то, что свечение экрана практически линейно следует за током i_2 .

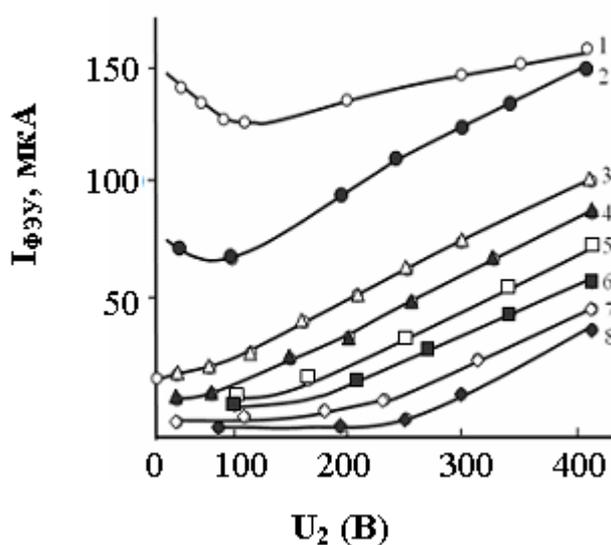


Рис.14. Семейство зависимостей $J_{\text{вых}}(U_2)$.
p, мм. рт. ст.: 1 - 8; 2 - 15; 3 - 30; 4 - 60; 5 - 76;
 6 - 91; 7 - 121; 8 - 150

На рис. 15 показаны семейства выходных характеристик, определяющие зависимости свечения экрана $J_{вых}$ от энергии входного излучения $J_{вх}$. Характеристики сняты для $U_2 = 1000$ В, $p = 15$ мм. рт. ст. при разных значениях напряжения U_1 .

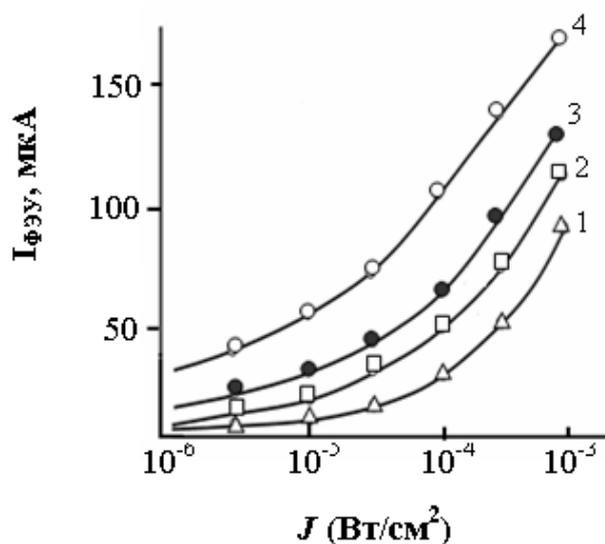


Рис.15. Семейство выходных характеристик $J_{вых}(J_{вх})$ при $U_1=1000$ В. U_1 (В): 1-100; 2-200; 3-300; 4-400

Нетрудно заметить, что выходные характеристики преобразователя по форме идентичны люксамперным характеристикам для участка «сетка-экран» (рис. 12, кривая 1). Этот результат лишней раз подтверждает линейность изменения свечения экрана от i_2 .

Следует отметить, что результаты этих исследований могут быть применены для регистрации фотографического процесса и в случаях, когда величины темнового и фототоков слишком малы при отображении изображения в регистрирующем узле.

Заключение.

По результатам настоящей диссертационной работы сделаны следующие выводы:

1. Экспериментально исследованы зависимости интенсивности свечения газа и люминесцентного экрана от величины силы тока при различных значениях газоразрядного промежутка ($d=10-100$ мкм) и давления газа ($P=5-120$ мм.рт.ст) в фотопреобразователе ионизационного типа с полуизолирующим GaAs-электродом. Показано, что уменьшение P и d до значений 76 мм.рт.ст и 100 мкм при сохранении неизменной плотности тока увеличивает яркость люминесцентного экрана в 8-10 раз по сравнению с интенсивностью свечения газоразрядного промежутка.

2. Установлено, что ток в системе появляется при достижении некоторого критического значения напряжения $U_{пр}$. При изучении влияния параметров газоразрядного промежутка на вид ВАХ установлено, что изменение состава газа, а также его давления P и величины зазора d (в диапазоне $5 \div 120$ мм рт.ст и $10 \div 100$ мкм, соответственно) приводит к изменению величины $U_{пр}$ в соответствии с законом Пашена.

3. Теоретически и экспериментально исследовано фотоэлектрическое усиление в полупроводниках для случая продольной фотопроводимости. Получено приближенное выражение, связывающее фотоэлектрическое усиление с толщиной фотоприемника для данного случая. Расчет показывает, что фотоэлектрическое усиление сильно зависит от поглощения света и освещенности полупроводника. Уменьшение толщины полупроводника приводит к повышению фотоэлектрического усиления в фотоприемниках. Результаты экспериментальных исследований согласуются с расчетными данными.

4. Экспериментально исследованы вольт-амперные характеристики ионизационной системы на основе фотоприемника из GaAs с двумя плазменными контактами. Показано, что ток системы, начиная с определенной величины приложенного напряжения, переходит в нестационарное состояние при заданных условиях и имеет область отрицательного дифференциального сопротивления.

5. Исследована кинетика фототока на основе фотоприемника из GaAs с двумя плазменными контактами. Показано, что ток системы через некоторое время после подачи приложенного напряжения определенной величины начинает «самоходно» возрастать («самоходное» усиление).

6. Исследованы эффекты усиления по току в тонкой газоразрядных систем с полупроводниковым электродом, управляемой освещенным полупроводником, при использовании сеточных металлических электродов. Показано, что газовый разряд между фотоприёмником и прозрачным электродом можно управлять разрядом внеэлектродного пространства, заключенном между сеткой и вторым электродом, что подавляет нежелательную для работы газоразрядных систем с полупроводниковым электродом неустойчивость токового состояния.

7. Исследовано влияние сеточного металлического электрода на люксамперные, преобразовательные и выходные характеристики тонкой ($50 \div 100$ мкм) газоразрядных систем с полупроводниковым электродом с дополнительными сеточными электродами, в которых коэффициент усиления системы улучшается в 8—10 раз.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING OF THE SCIENTIFIC DEGREE
DSc. 30.08.2018.FM/T.01.12 AT THE SCIENTIFIC RESEARCH
INSTITUTE OF PHYSICS OF SEMICONDUCTORS AND
MICROELECTRONICS AT THE NATIONAL UNIVERSITY OF
UZBEKISTAN NAMED AFTER MIRZO ULUGBEK**

FERGANA POLYTECHNIC INSTITUTE

YULDASHEV KHURSHIDJON TOLIBOVICH

**PHOTOELECTRIC INTENSIVE PROCESSES WITH A
SEMICONDUCTING ELECTRODE IN SUB-MICRON CELL OF GAS-
DISCHARGE**

01.04.10- Physics of semiconductors

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

TASHKENT – 2019

The theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) on physical and mathematical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number № B2017.1. PhD/FM35.

Dissertation has been prepared at the Fergana Polytechnic Institute.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of Scientific council (ispm.uz) and on Information and educational portal "ZiyoNet" (www.ziynet.uz).

Scientific supervisor:

Abduraxmanov Qaxar Pattoxovich
Doctor of Physical-mathematical Sciences, Professor.

Official opponents:

Daliyev Xojakbar Sultanovich
Doctor of Physical-mathematical Sciences, Professor.

Iliyev Xolmurat Midjitovich
Doctor of Physical-mathematical Sciences, Professor.

Leading organization:

Andijan state university

Dissertation defense will take place «___» _____ 2019 at _____ at the meeting of Scientific Council number DSc. 30.08.2018.FM/T.01.12 at Institute of semiconductor physics and microelectronics of the National university of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek (Address: 100057, Uzbekistan, Tashkent, Yangi Almazar Str., building 20, Phone: (+99895) 146-77-44, fax (99871) 246-19-76, e-mail: [info@ispm.uz/](mailto:info@ispm.uz) The administrative building of the
The thesis can be found in the Department of information technology of the Institute. (registered no.____) Address: 20, Yangi Almazar street, Tashkent, 100057. Tel: (+99895) 146-77-44,

Abstract of dissertation sent out on «___» _____ 2019.

(Mailing report №___ on «___» _____ 2019).

Sh.B. Utamurodova
Chairman of scientific council
on award of scientific degrees,
DSc in physics and mathematics, professor

S.S. Nasriddinov
Scientific secretary of scientific council
on award of scientific degrees,
doctor of sciences in technical sciences, assistant professor

A.T. Mamadalimov
Chairman of scientific Seminar under
Scientific Council on award of
scientific degrees, DSc in physics and
mathematics, academician

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of research work is the establishment mechanism of photoelectric amplifying processes in sub-micron gas-filled cell with a semiconductor gallium arsenide electrode.

The object of the research work is the ionization systems as an infrared converter, consisting of sub-micron gas-filled cell with semiconductor (GaAs) and transparent (SnO_2) electrodes or fluorescent screen.

The scientific novelty of the research work:

Identified depending gas emission luminescent intensity and - fluorescent screen on the current strength for various values of the gas discharge gap ($d=10-100$ microns and gas pressure ($P=5-120$ mm Hg). Shown increased brightness luminescent screen 8-10 times as compared with the intensity of the glow discharge gap;

a strong dependence of the photovoltaic amplification process in gas discharge systems with semiconductor electrode with an additional two plasma contacts on the illumination and the absorption coefficient of GaAs semiconductor, and a decrease in the thickness of the semiconductor leads to an increase in the photoelectric gain;

improve the design of the semiconductor infrared image converter based on an ultrathin gas discharge system with a semiconductor electrode.

A method has been developed for calculating the photoelectric gain in the case of the longitudinal photoconductivity of a semiconductor with absorption that is not uniform over the volume.

first introduced into the discharge gap complementary grid minutes metallic electrode and achieved 8-10 fold increase sensitivity of ionization systems.

Implementation of the research results. Based on the definition photoelectric amplifying processes in a ultrathin gas discharge cell with a semiconductor electrode developed:

improve the design of semiconductor infrared image converter on the basis of the hyperfine discharge system with the semiconductor electrode and the principles of that study by Joint Stock company «Foton» were used at at manufactured photovoltaic transformation (Reference № 02-351 of the Joint-Stock Company "UZELTEHSANOAT" dated 12 February 2019 years).

The method of calculating the photoelectric gain in the case of longitudinal photoconductivity of a semiconductor with an uneven absorption volume, the results of which are used to calculate the thermodynamic density of states and the spectrum of the absorption coefficient of thin films in the performance of the state grant of Namangan State University on the topic "Study of excitons, polarons and transport phenomena nanoscale quantum dot heterostructures in order to create highly efficient photocell "(Ministry of Higher and Secondary Specialized Institution of the Republic of Uzbekistan. Reference number 89-03-232 of January 16, 2019).

The structure and volume of the dissertation. The thesis consists of an introduction, 4 chapters, conclusion, a list of references and applications, outlined in 112 pages.

Элон қилинган ишлар рўйхати
Список опубликованных работ
List of published works

I бўлим (I часть, part I)

1. Йулдашев Х.Т., Мирзарахимова Ф., Мамасидиков Д.Р., Сатторов М.М. “Усилительные процессы в газоразрядной ячейке с полупроводниковым электродом // Журнал Евразийский союз ученых. №2 (47) 2018г. ст. 65-71.(GIF. 0.38)
2. Йулдашев Х.Т., Хайдаров З., Касымов Ш.С. “Кинетика пробоя в системе «полупроводник — газоразрядный промежуток». // Вестник СПбГУ. Сер. 4. Т. 4 (62). 2017. Вып. 1 (01.00.00, №16)
3. Йулдашев Х. Т., Касымов Ш. С., Хайдаров З Фотопреобразователь ИК – изображений со сверхтонкой газоразрядной ячейкой и люминофором // Журнал прикладная физика. Москва 2016. №2, ст. 94-99. (01.00.00, №41).
4. Йулдашев Х.Т., Касымов Ш.С. Фотографические системы ионизационного типа // “Бухоро Давлат Университети илмий ахбороти” журнали 2017, №1, ст 7-11. (01.00.00, №3).
5. Йулдашев Х.Т., Хайдаров З., Касымов Ш.С. Исследование тонкой газоразрядной ячейки с полупроводниковым электродом // “Узбекский физический журнал 2017, №3, ст 152-157. (01.00.00, №5)
6. Абдурахманов К.П., Йулдашев Х. Т., Касымов Ш. С. Фотопреобразователь для исследования характеристик лазерного ИК излучения // ФарПИ ИТЖ 2017, Т 21, №2, ст. 8-13. (05.00.00, №20).
7. Йулдашев Х. Т., Хайдаров Б. З., Касымов Ш. С. Особенности газового разряда при малых межэлектродных расстояниях в ионизационной системе // “Бухоро Давлат Университети илмий ахбороти” журнали 2016, №3, ст 32-38. (01.00.00, №3).
8. Касымов Ш. С., Хайдаров З, Йулдашев Х. Т., Электрические свойства чрезмерно тонкой газоразрядной ячейке с полупроводниковым электродом // Узбекский физический журнал 2012 йил, №4, 241-248. (01.00.00, № 5).

II бўлим (II часть, part II)

1. Йулдашев Х. Т., Урмонов С.Р. Исследование процессов усиления в системе “полупроводник-газоразрядный промежуток // 8th International conference on Eurasian scientific development 3-март 2016. г. Вена, Австрия- Ст.178-183.
2. Йулдашев Х.Т., Ахмедов Ш.С., Абдуллаев Ш.А. Features of the gas discharge in small interelectrode distance in the ionization system // 9th International conference on Eurasian scientific development 20-май, 2016 Вена, Австрия - ст. 126-128.
3. Йулдашев Х.Т., Касымов Ш.С., Хайдаров З Усилительные процессы в узкой ионизационной системе с полупроводниковым электродом

- // Современные проблемы физики: Материалы межд. науч. конф 8-10 июня 2016 г. Минск, Беларуси. - Ст. 116-119.
4. Абдурахмонов К.П., Хайдаров З., Йулдашев Х.Т. “Демпфирующая ячейка из арсенида галлия с плазменными контактами в сверхтонкой газоразрядной ячейке «Материалы IV Международной конференции по “Оптическим и фотоэлектрическим явлениям в полупроводниковых микро- и наноструктурах”. Фергана, 2018. ст. 291-296.
 5. Йулдашев Х.Т., Рустамов У.С., Эргашев К.М., Мирзажонов З. Об устойчивости токового состояния системы полупроводник-газовый промежуток // материалы III межд. науч. конф: Технические и физико-математические науки 3-март, 2017. г. Москва, Россия-ст 62-68.
 6. Йулдашев Х.Т., Касымов Ш.С., Хайдаров З Исследование характеристик полупроводникового фотопреобразователя ионизационного типа со сверхтонкой газоразрядной ячейкой // Сборник тезисов докладов международной конференции фундаментальные и прикладные вопросы физики 5 - 6 ноября, Ташкент, 2016- ст. 208-213.
 7. Хайдаров З., Йулдашев Х.Т., Хайдарова К.З. Усилительные процессы в газоразрядной ячейке состоящей из полупроводника с плазменными контактами // V-международная конференция: Актуальные проблемы молекулярные проблемы молекулярной спектроскопии конденсированных сред 22-24 сентября, Самарканд, 2016., – ст. 107-108.
 8. Йулдашев Х.Т., Ахмедов Ш.С. Исследование фонового излучения возможности его ограничения в полупроводниковой ионизационной системе V-международная конференция: Актуальные проблемы молекулярные проблемы молекулярной спектроскопии конденсированных сред 22-24 сентября, Самарканд, 2016., – ст. 111-112.
 9. Йулдашев Х.Т., Хайдаров Б.З., Урмонов С., Мирзажонов З. Исследование характеристик полупроводниковых фотографических систем ионизационного типа // Сборник статей по материалам XXVIII-XXIX международной научно-практической конференции. -Москва 2015г.
 10. Йулдашев Х.Т., Абдурахмонов К.П. Пространственная стабилизация тока в газоразрядной ячейке с полупроводниковым электродом // Сборник тезисов докладов республиканской конференции, посвященной 100-летию академика С.А.Азимова. 6-7 ноября 2014 – ст. 133-134.
 11. Абдурахмонов К.П., Йулдашев Х.Т., Хайдаров Б.З. Исследование кинетика пробоя в газоразрядной ячейке с полупроводниковым электродом //Материалы III международной конференции «Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниковых микро- и нано структурах». Фергана, 2014. ст.145-149.

