

## Ярим ўтказгичли фотоприёмниклар

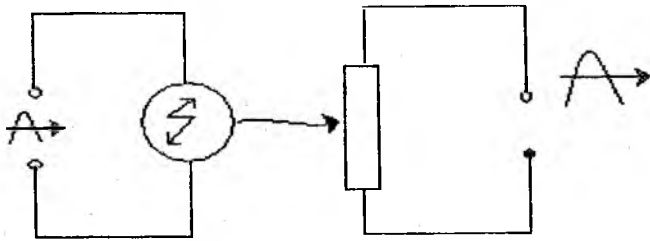


20

126813

Р. Найманбоев  
С. Ирматов

**ЯРИМ ЎТКАЗГИЧЛИ  
ФОТОПРИЁМНИКЛАР**



126813

Фаргона - 2011

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ  
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ**

**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ  
УНИВЕРСИТЕТИ**

**ФАРҒОНА ПОЛИТЕХНИКА ИНСТИТУТИ**

**Р. Найманбоев, С. Ирматов**

**ЯРИМ ЎТКАЗГИЧЛИ ФОТОПРИЁМНИКЛАР**

**Масъул муҳаррир академик Р.А. Мўминов**

**Фарғона-2011**

Фарғона политехника институти Илмий кенгаши нашр этишга  
тавсия этган

Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим Вазирлиги  
мувофиқлаштириш кенгаши томонидан маъқулланган

Такризчилар:

физика-математика фанлари доктори,  
профессор Р. Расулов  
физика-математика фанлари доктори,  
профессор Н.Султонов

Монография ярим ўтказгичли фотоприёмниклар  
хақида маълумот беради. Фотоприёмникларнинг  
физикавий асослари, тайёрлаш технологияси ва уни  
тадқиқ қилиш содда тилда баён қилинган.  
Фотоприёмникларни энергетика, электроника, транспорт  
ва космонавтика соҳаларида фойдаланишнинг  
истикболлари ҳикоя қилинади. Талабалар, ўқитувчилар,  
аспирантлар, илмий ходимлар ва мустақил ўрганувчилар  
учун мўлжалланган.

## ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ МУСТАҚИЛЛИГИНИНГ 20 ЙИЛЛИГИГА БАҒИШЛАНАДИ

### Сўз боши

Ёруғлик электри нима, у қандай ҳосил қилинади, ундан қаерда ва қандай фойдаланилади? Ёруғлик электри олишда кузатиладиган баъзи кам учрайдиган нодир эффектлар ҳақида маълумотлар берилади. Ярим ўтказгич юпка қатламларида кузатилган аномал юқори фотокучланиш эффекти (АФН-эффект) ҳақида содда ва кизиқарли тилда батафсил фикр юритилади. Китобда АФН-эффектдан амалда фойдаланиш истикболлари, янги оптоэлектрон асбоблар яратиш ва қуёш ёруғлигидан фойдаланиб ишлайдиган ажойиб қурилмалар ҳақида фикр юритилади. АФН «электри» ни қўлга ўргатишдаги илмий изланишлар, тахминлар ва уринишлар ҳозирги замон фани доирасида таҳлил қилинади. АФН-эффекти нима, унга янги манбалар асосида оммабоп тилда жавоб берилади.

Ёруғлик электрининг бу тури ҳақида кўплар кизиқади. У ҳақда кўпроқ нарса қилиб олишга интилади. Аммо мураккаб схемалар ва формулалар, ҳамма ҳам тушунавермайдиган сўзлар махсус физико-математик маълумоти бўлмаган кишиларни чўчитади. Китобда АФН-эффектни мураккаб талқинларсиз, узундан-узоқ хулосалар чикармасдан амалий тадбиқларига таяниб тушунтиришга ҳаракат қилинади. АФН-эффект асосида яратилган ва яратилиши мумкин бўлган оптоэлектрон асбобларнинг лойиҳалари ҳақида маълумот берилади. Бу маълумотлар АФН-эффект кузатиладиган эффектив юпка ўтказгич қатлам тайёрловчиларга ва уларни амалда фойдаланмоқчи бўлган инженер-техник ходимларга йўлланма бўлиб хизмат қилади. Булардан ташқари АФН-қатламларда кузатилган аномал фотомагнит ходисалар ва уларнинг табиати, фойдаланиш йўллари, улар асосида яратилиши мумкин бўлган оптоэлектрон асбоблар ҳақида фикр юритилади.

АФН-эффектга қутбланган ёруғликнинг таъсирини ўрганиб топилган янги ходисаларнинг амалий тадбиқлари ва табиати ҳақида экспериментал ва назарий маълумотлар тушунарли, содда тилда баён қилинади.

Китобда АФН-эффектни ҳар томонлама текшириш асосида топилган натижалар умумлаштирилади. АФН-эффект «сир» ларини очишга ҳаракат қилинади. Бу эффектнинг ҳозирги аҳволи ва келажаги ҳақида дадил мулоҳазалар берилади.

Инсоният ўзи учун ХХI асрнинг биринчи ярмида энергия муаммосини узил-кесил, батамом хал қилиб олиши керак. Акс ҳолда ижтимоий, иктисодий ва сиёсий соҳалардаги муаммолар чигаллашиб бориши, кучайиши мумкин. Электр энергиясига бўлган талабнинг кескин ортиб бориши яқин бир неча ўн йилларда ёқилғи танқислигини келтириб чиқариши мумкин. Энергиянинг ердаги асосий ишлатилаётган манбаси хисобланган нефть, газ ва бошқа анъанавий ёқилғи захиралари

чегараланган. Шу сабабдан булса керак энергиянинг тикланиш характеридаги захирасининг чегараланмаган турларидан фойдаланишга кизиқиш кескин ортиб борапти. Агарда ядро энергетикасининг ҳамма масалалари ўзлаштирилиб олинса ва куёш радиацияси энергиясини самарали фойдаланишни фан хал қилса, Ерда энергия муаммосини инсоният батамом ўзи учун ечиб олади. Бу икки энергетик муаммо бири-бирининг билан узвий боғлиқ. Ҳар иккала энергия муаммосини инсон манфаатларига хизмат қилдиришда самарали восита бўлиб, фотоприёмниклар хизмат қилади. Масалан, генератор типидagi фотоприёмниклар (фотоэлектрик генератор) куёш ва ядро нурланишини тўғридан-тўғри электр энергиясига айлантириб беради. Оддий фотоприёмниклар эса ядро (ёки парачаланиш) синтези ва куёш радиациясини электр энергиясига айлантириш, уни истеъмолчига узатиш ва фойдаланиш жараёнидаги бошқариш, назорат ва ўлчов тизимиинг асосий қурilmаси бўлиб хизмат қилади.

Ядро реакцияси вақтида ажралиб чиқадиган улкан энергия дастлаб, иссиқлик энергияси кўринишида бўлиб, турбиналар ёрдамида механик энергияга, ундан сўнг электр энергиясига айланади. Фототермогенератор ёрдамида эса ядро энергияси бевосита электр энергиясига айланади. Бу масаланинг муҳандислик, технологик ва хавфсизлик билан боғлиқ муаммоларининг олимлар ва муҳандислар томонидан яқин келажакда ечими топилса, Ерда энергия муаммоси батамом хал қилинади.

Энергиянинг яна бир «туганмас» тури Куёш энергияси дедик. Ҳисоблашлар кўрсатишича Ер сиртига тушаётган Куёш энергиясининг 0,1% ни электр энергиясига айлантириб, ундан 5% ли ФИК билан фойдаланганимизда ҳам бу энергия ҳозир ишлаб чиқарилаётган ҳамма энергиядан 40 мартаба катта бўлади. Куёш энергиясидан фойдаланишнинг ноқулай томонларидан бири, унинг ер сиртига тушаётган қисмининг энергетик зичлигининг жуда озлигидир. Шу боисдан нурланишни қабул қиладиган фойдали сиртнинг юзаси катта бўлиши керак. Масалан, 20 кВт қувват берадиган куёш батареяларининг «фойдали» юзасининг майдони 10-20 м<sup>2</sup> бўлади.

Фотоэнергетика билан шуғулланувчилар куёш радиациясининг қувватини ва унинг спектрал таркиб бўйича тақсимланишини билишлари керак. Ер шароитида куёш электр станцияларининг қуввати кеча-кундузга, йилнинг мавсумларига қараб атмосферанинг ҳар хил ҳодисаларига боғлиқ равишда узлуксиз ўзгариб туради. Шу сабабли куёш нурланишининг ҳақиқий спектрал интенсивлигининг ўзгариш қонунияти етарли мураккаб характерда бўлади. Куёш батареяларини лойиҳалашда Куёш доимийсидан фойдаланилади. У Куёш элементининг 1 см<sup>2</sup> юзасига тушаётган нурланиш қуввати билан ўлчаниб, у  $W_c = 0,139 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$  га тенг. Ер шароитида бу қийматнинг ўртача миқдори 0,08 Вт/см<sup>2</sup> деб олинади. Куёш электр станцияларидан олинадиган электр энергиясининг таниархидан оддий электр станциялар ишлаб чиққан энергиясининг нархидан анча юқори. Шу

боисдан куёш батареялари манба сифагида асосан космик кема ва йўлдошларда ишлатилмоқда. Юпка пардалар физикаси иштенсив риволаниши билан, кагламлар тайёрлаш йўли билан куёш элементлари яшашнинг назарий ва экспериментал асослари яратилди. Агарда ярим ўтказгич юпка (1 неча микрометр) пардаларидан тайёрланган куёш элементларининг ФИК лари монокрисгаллардан тайёрланган куёш элементларидек қилиниб олинса, юпка пардали батареяларининг ишлаб чиқарган электр энергиясининг таънарихи ҳам атом ёки иссиқлик электр станцияларида ишлаб чиқарилаётган электр энергиясига яқинлашади. Бунга юпка пардали куёш элементларини тайёрлаш технологиясини такомиллаштириш, куёш батареяларининг лойиҳасини мукамаллаштириш йўли билан эришилади. Арсенид галлийнинг арзон монокристалл навларидан таглик қилиб, унинг юпка пардаларининг эпитаксиал кагламларидан фойдаланиб ясалган куёш элементларининг академик Ж.И. Алферов лабораториясида тайёрланган намуналари 30% ФИК билан ишлаши амалда исботланган. Бундай ва шу каби куёш элементларини ишлаб чиқариб ва уларни техник томондан содда қилиб, иқтисодий жихатдан юкори самара билан ишлайдиган даражага етказилса, уларнинг электр энергияси ёқилгидан олинаётган энергиядан арзонга тушиши шубҳасиздир. Фотозлектрик йўл билан электр энергияси ишлаб чиқаришга дунёнинг кўп мамлакатларида зўр кизиқиш билан илмий тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Мини Куёш электр станциялари ясалмоқда. Улар электр тармоқларини етказиш ноқулай бўлган жойларда автоном равишда ишлатилапти.

Якин келажакда инсоният анъанавий энергия манбаларига бўлган муҳтожликларидан қутулади. Куёш ва ядро электроэнергетикаси ривожланиб, Ердаги ҳаёт учун керак бўладиган электр энергияси эҳтиёжларини тўла ўз таъминотига олади.

Генератор типдаги фотоприёмникларнинг асосий вакили АФН-катламлар ҳисобланади. АФН-катламлардан бошқа фотоприёмникларнинг хусусиятлари нисбатан яхши ўрганилган дейиш мумкин. АФН-катламларда хали жавобини топмаган муаммолар кўп. Масалан, АФН ни олиш технологиясида, физикасида ва амалий тадқиқларга боғлиқ соҳаларда назарий ва амалий илмий-техшириш ишлари олиб боришга тўғри келади.

АФН га бағишланган кўп манбаларда аномал юкори фотокучланишлар ҳосил бўлишини қатлам топологияси билан боғланади. Бундай қатламлар олиш технологияси ўта нозик мураккаб жараён бўлиб, ҳар бир модда учун ўзига хос шарт-шароитларни талаб қилади. Технологияни бошқаришнинг техник томонлари мукамал ўрганилиши керак.

Аморф ярим ўтказгич юпка қатламларида ҳам АФН-эффёкту кузатилган. Поликристалл қатламлардаги АФН назарияси билан аморф қатламларда кузатилган баъзи натижаларни мутлақо тушунтириб бўлмайди. Бундай ҳолларда аморф қатламларнинг ўзига хос

хусусиятларини ҳисобга олиш керак бўлади. АФН нинг характеристикалари кучли электр ва магнит майдонлари таъсирида ўзгаради. Бу ўзгаришларнинг туб мохиятини очиш керак. Қутбланган ёруғликда АФН-қатламларда ўта ғайри-табiiй ходисалар кузатилади. Бу ходисаларнинг назарий асосларини, амалий қўлланишларига боғлиқ физикавий-техникавий томонларини топиш лозим.

АФН-қатламларда ёруғлик таъсирида ўта юкори фотокучланиш  $\sim 10^4$  В ва магнит майдонида фотомангнит кучланиш пайдо бўлади. Булардан амалий мақсадларда фойдаланилса ўта сезгир янги ўлчов ва назорат ишларида қўлланилиши мумкин бўлган асбобларни яратиш мумкин. Бу асбобларнинг физикавий асосларини, техник лойиҳаларига боғлиқ назарий, амалий ечимларни излаш лозим.

АФН-қатламлардаги табiiй ва радиацион эскиришнинг (деградация) умумий қонуниятларини топиб, уларни амалий мақсадларда ҳисобга олиш керак бўлади.

Монографиядан инженер-техник ходимлар, талабалар, олий ва ўрта мактаб ўқитувчи ва ўқувчилари ва кенг китобхонлар оммаси фойдаланиши мумкин.

Монографияга муаллифларнинг кўп йиллар давомида генератор типдаги фотоприёмниклар устида олиб борган илмий изланишлари натижалари асос қилиб олинган.

Ўйлаймизки, китоб кўп сонли талабаларни ва илмий техникавий ходимларни ижодий изланишларга ундайди.

Монография қўлёзмасини ўқиб, ўзларининг қимматли фикр ва мулоҳазалари билан монографиянинг сифатини яхшилашга берган ёрдамлари учун академик Р.А. Мўминовга, профессор Р. Расулони, профессор Н.А. Султоновга муаллифлар ўзларининг самимий ташаккурларини билдирадидилар.

Мазкур монография ўзбек тилида биринчи марта чоп этилганлиги сабабли уни баъзи қамчиликлардан холи деб бўлмайди, албатта. Монографияни яхшилаш истагида бериладиган фикр ва мулоҳазаларни муаллифлар мамнуният билан қабул қиладилар.

Муаллифлар



## Фотоэлектрик генераторлар ва энергия муаммоси

Кишилик жамияти ривожлана бориши билан унинг энергияга талаби ортиб боради. Инсон фаолиятининг ҳамма соҳаларида айниқса, электр энергияга бўлган эҳтиёж ўта юқоридир. Иктисодий ривожланган мамлакатларда ҳар ўн йида электр энергия ишлаб чиқариш икки марта ортиши кузатилмоқда. Электр энергиясининг асосий қисми иссиқлик электр станцияларида ишлаб чиқарилади. Ёқилғи захиралари эса ер қуррасида чегараланган. Шу сабабдан энергиянинг ноанъанавий турларидан самарали фойдаланишнинг илмий, техникавий воситаларини ишлаб чиқиш устида дунёнинг етакчи олим ва муҳандислари тадқиқот ишларини олиб бормоқдалар. Термоядро ва қуёш энергетикаси ҳар хил лойиҳаларининг техник, иктисодий ва экологик кўрсаткичлари таҳлил қилинмоқда.

Физиклар мана эллик йилдан ўтибдики, термоядро реакциясини улкан энергиясини тинчлик, фаровонлик йўлида, одамлар эҳтиёжи учун хизмат қилдиришга ҳаракат қиляпти. Енгил ядроларнинг қўшилиши ғояси ташқаридан қараганда унча қийин эмас масалага ўхшайди. Лекин, бу муаммо тараққиётнинг энг қийин илмий-техникавий муаммоларидан бири бўлиб, уни ҳал қилиниши одамзоднинг энергияга бўлган эҳтиёжини узил-кесил батамом ечиб қўяди.

Ҳозирги кунда ишлаб чиқарилаётган электр энергиясининг 40% дан юқориси атом электр станциялари (АЭС) улушига тўғри келади. Бу АЭС ларида ишлаб чиқарилаётган электр энергияси оғир радиактив элементлар ядросининг парчаланиши ҳисобига ҳосил бўлади. Термоядро реакцияси енгил ядроларнинг қўшилишига асосланади. Бунинг учун энг қулайи оғир водород-дейтерий ядроларининг синтезидир. Масалан, 1 л сувдаги дейтерий синтезида ажралиб чиққан энергия 350 л бензин ёнгандаги энергияга тенг қувватлидир. Ядро синтези ерда водород бомбаси портлашида амалга оширилган. Бундай бошқарилмайдиган термоядро реакциясни бошқариладиган қилиш керак. Термоядро реакцияси вақтида синтез қилинадиган модда бир неча ўн, юз миллионлаб температурагача қиздирилиши керак. Бундай ҳароратда енгил атомларнинг ядролари шундай катта тезлик оладики, натижада тўқнашув вақтида улар бир-биридан қочмай, аксинча қўшилиб кетади. Шу билан бирга ҳар қандай модда бундай улкан температурада шазма ҳолатига ўтади. Атомлар электрон қобилларини йўқотиб, мусбат зарядли ядро ва электронлар аралашмасидан иборат бўлиб қолади. Юқори температурали плазмани «ушлаб туриш» учун қучил магнит майдони ҳосил қиладиган «ТОКАМАК» типигади қурилма ясалади. У ташқи қўринишидан ва нишлаш принципи бўйича улкан трансформаторни эслатади. Унинг бирламчи ўрамлари электр манбасига уланиб, иккинчи ўрамлари тороид қўринишидаги берк вакуум камера билан жиҳозланади. Камера водород ёқи унинг оғир изотоплари билан тўлдирилади. Бирламчи ўрамлардан ўтган ўзгарувчан ток, камерада уюрмали майдон ҳосил қилади. У газни

поналаштиради. Ундан ўтган катта ток (100 минглаб ампер) газни плазма ҳолатга ўтказиб, юқори температураларгача (80 млн. градус) киздиради. Иккиламчи токнинг кучли қўндаланг магнит майдони плазмани камера деворларига яқинлаштирмай унинг марказида тороид ўқи бўйлаб, «шнурсимон» қилиб ушлаб туради. Бундай экспериментал қурилмалар температураси 80 млн. градусга яқин, зичлиги  $10^{15} \frac{\text{зарра}}{\text{см}^3}$  бўлган плазма ҳосил қилиб, уни 0,1 секунд вақт ушлаб туриш имкоинини берди.

«ТОКАМАК» реакторли термоядро электр станцияларининг экспериментал лойиҳалари асосида ҳақиқий саноат вариантларини лойиҳалаштириш учун камерадаги газ бир секундада қизиб, плазма ҳолатига кириши ва термоядро режимида камида 5-10 минут ёниши керак. Иккинчидан бундай кучли магнит майдони ҳосил қилишга сарфланган энергиядан, реактор ишлаб чиқарадиган энергия катта бўлиши учун магнит майдонини ўта ўтказувчанлик билан ишлайдиган ғалтақлар ҳосил қилиши керак. Термоядро реакциясини физик жихатдан намойиш қилиш учун бундай магнит системаси (ТОКАМАК-15) атом энергияси институтига қурилган. Навбатдаги масала термоядро электростанциясини яратиш. Шуни ҳам унутмаслик керакки, бу усул билан олинаётган энергия ҳозирча нисбатан қимматга тушади. Уни арзонлаштириш йўллари излаш керак бўлади. Бу соҳада «ТОКАМАК» да плазма ва ўта ўтказувчан системасининг табиати чуқур ўрганилмоқда. Термоядро реактори хали ишлаш арафасида, лекин унинг «ТОКАМАК» ўта ўтказувчан магнит системасидан фойдаланиб ишлайдиган, яғни электроэнергия генераторларининг лойиҳалари ишлаб чиқилмоқда. Ўта ўтказувчан магнит системасининг майдонидан паст температурали (2500°C) плазма ўтказилса, плазма таркибидаги ионлар кучли магнит майдонида ажралиб, унга мос қилиб жойлаштирилган электродларга тушади. Электр юритувчи куч ҳосил қилади. Магнит майдонидан катта тезликда ўтаётган плазма зарядлари электродларга тушиб, улгуриши учун магнит майдони ўта кучли бўлиши керак. Бундай принципда ишлайдиган генераторларни МГД-генераторлар деб юритилади. Магнит майдони каналининг кесими бир неча квадрат метр, узунлиги эса 10 м бўлган МГД-генератор 500 МВт қувват ишлаб чиқаради. Унинг майдони  $10^{10}$  Жоуль энергияни ўзида йиғиши мумкин. Энергетика тизимида хали термоядро реакторлари ва МГД-генераторлари ишлатилганича йўқ, лекин тажриба нагижаларининг кўрсатишича яқин келажакда улар энергетика тармоқларига тўла кириб келади. Экология нуқтаи-назардан инсоният ўз эҳтиёжига керак бўладиган ҳамма электр энергиясини ядро энергетикасидан ололмайди. Планета ҳароратини стабил сақлаш, озон қобиғининг бузилишини ва ер атмосфераси, муҳитининг ифлосланишини олдини олиш керак. Чунки, ердаги ҳаёт юқоридаги экологик факторлар билан аникланади. Ҳаттоки ер ҳароратини 1°C га кўтарилиши, унда катастрофик ўзгаришларга олиб келиши муқаррар. Шу боисдан, ядро энергетикаси билан бир қаторда ноанъанавий, «Экологик тоза» энергия манбалари ҳисобланган қуёш, сув

ва шамол энергиясидан фойдаланишнинг тадқиқот ишларини олиб бориш керак.

Дунёнинг кўп мамлакатларида кўш энергетикасидан электр энергияси олиш устида олимлар илмий изланишлар олиб боришмоқда. Натижалар жуда яхши. Булар ҳақида батафсил тўхталдик. Энди электр энергияси истеъмолчилари ҳақида фикр юритамиз. Инсонлар ўзларининг эҳтиёжлари учун қандай энергия ишлаб чиқармасинлар, ундан фойдаланиш жараёнида охир-окибат, бу энергиялар иссиқлик кўринишида Ерда ва унинг атмосферасига узатилади. Натижада ер ҳарорати кўтарилади. Бунинг олдини олиш мақсадида энергия истеъмолчиларининг ҳам экологик жиҳатдан қулай лойиҳаларини ишлаб чиқилмоқда. Ер, сув ва ҳаво транспортида ишлатилаётган двигателларнинг ҳаммасида айланувчи ва қўзғалмас қисмлар мавжуд. Шу билан бирга уларнинг кўпчилиги нефть маҳсулотларининг ёниши ҳисобига ишлайди. Секин-аста транспортда электродвигателлардан фойдаланишга ҳам ўтилмоқда. Бу ерда ҳам ўта катта электромагнит статор, ротор тизими сақланиб қолаверади. Табиийки, статордан, ротордан ток ўтади, иссиқлик ажралади, айланувчи қисмлар ишқаланиши натижасида ҳам ўз навбатида яна иссиқлик ажралади ва хоказо. Айланувчи қисмларни камайтириш, электромагнит системалардаги Жоуль иссиқлик ажралишини камайтириш учун янги двигателлар оиласини яратиш, уларда кучли магнит майдон ҳосил қилиш учун ўта ўтказувчан ўтказгичлардан фойдаланишга ўтиш керак бўлади.

Бу муаммоларни ечиш учун кўп лойиҳалар таклиф этилган. Филдираксиз поездлар яратиш йўлидаги лойиҳалар моделлари ҳам илмий-техникавий жиҳатдан ҳақиқатга яқин бўлгани билан иқтисодий томондан ўзини оқламайди. Масалан, Томск политехника институти профессори Б.П. Вейнберг таклиф этган магнит туннел модели ҳам диққатга сазовор. Унга асосан «туннел труба» ичида темир платформа бир электромагнитдан иккинчи электромагнитга қараб ишқаланишсиз учиши керак. Ўта ўтказувчан электромагнит (криотехника) ёрдамида ишлайдиган лойиҳада поезд (вагон) га электромагнит жойлаштирилиб, суюқ гелий билан совутилади. Ҳаракат вақтида поезддаги кучли магнит майдони алюминдан ясалган рельсларда уюрмали тоқлар ҳосил қилиб, унинг йўналиши (Ленц қондасига кўра) поезддаги магнит майдонида тесқари йўналганлиги учун, поездни рельсдан маълум баландликка кўтаради. Поездни ҳаракатга келтириш учун, учинчи рельс-чизикли двигател хизмат қилади. Бундай электродвигателнинг статори вазифасини йўл, поезд эса ротор вазифасини ўтайди. Роторнинг айланма ҳаракати илгариланма ҳаракати билан алмашади. Бундай двигател ишини таъминлаш учун йўлга жуда кўп ўтказувчан «стержен» лар жойлаштириш керак. Уларни маҳсус дастур асосида ток билан таъминлаб туриш зарур бўлади. Вагон-поезддаги ўта ўтказувчан ғалтак йўлидаги ток билан тортилиб ҳаракатга келади. Йўлдаги ток илгарилаб, ўзи билан поездни етаклаб ҳаракатлантиради. Ўта ўтказувчан магнитнинг индукцияси 1 Тл бўлганда кўтариш кучи бир метр квадратга  $4 \cdot 10^5$  Н га етади. Бу куч автобус шинасидаги босимга тенг босим

ҳосил қилади. Уни 2-3 баробар орттириш мумкин. «Магнит ёстик» да ҳаракатланувчи транспорт яратиш бўйича кенг иш олиб бориляпти. Ҳар хил лойиҳалар ҳар томонлама иктисодий, техник ва бошқа жиҳатлари бўйича таҳлил қилинмоқда. Япония муҳандислари яқин келажақда Токио ва Осака орасидаги 500 км масофага ўта ўтказувчан соленоид ёрламида ишловчи «магнит ёстик» да ҳаракатланувчи вагон-поездни ишга туширишга ҳаракат қилишмоқда. Бунда йўл бўйлаб магнит тўлқини чоғиб, ўзи билан вагон-поездни етаклайди. Резина ғилдираклар ёрламида тўхтатиш, юргизиб юбориш (самолётларнинг қўниши ва учишидаги каби) амалга оширилади. Электромагнит кучлар поездни рельсдан кўтарди ва унга 500 км/соат тезлик беради. Авиация ва темир йўл транспортида эришилган ютуқлар ўта ўтказувчанлик қўлланилган «вагон-поезд» да уйғунлаштирилади. Натижада катта тезлик, ҳар қандай об-ҳавода ишончли ва кўп юк кўтара оладиган транспорт тури яратилади. Сув ости транспортида МГД генераторларини двигател режимида ишлатиладиган лойиҳасини таклиф қилмоқда. Бу лойиҳада денгиз суви ишчи жисм бўлиб, у орқали ток ўтади. Ўта ўтказувчан соленоид магнит майдони билан таъсирлашиб сув ости кемасини ҳаракатга келтиради. Айланувчи қисмсиз шовқинсиз ишлайдиган ихчам МГД двигатели сув ости кемасини ҳаракатга келтирувчи машина бўлиб ишлайди. Космик кемаларда ва планеталараро автоматик станцияларда илазма двигатели ўзига хос қўлланиш олиши мумкин. Бу двигател ўзига хос плазма «пушка» си бўлиб, унинг плазма «бўлак» лари 100 км/секунд тезлик билан отилиб чиқиши натижасида космик ракета ўқдан 100 баробар катта реактив тезлик олиб ҳаракат қилади. Ер тортишиш майдонидан чиқиб олгандан сўнг плазма двигатели билан ҳар қандай катта космик кемани ҳаракатга келтириш мумкин. Бундан ташқари у жуда кўп вазифаларни бажариши мумкин. Космик шароитда юқори даражадаги радиацион муҳит мавжуд, ундан кемани химоя қилиш воситаси сифатида кучли магнит майдонидан фойдаланиш мумкин (чунки плазма двигателида кучли магнит майдони мавжуд). Бу двигателларнинг электр манбаси сифатида космосда фотоэлектрик генераторлар хизмат қилади.

Ўзидан ток ўтказувчи ҳар қандай система атрофида магнит майдони ҳосил бўлади. Бу магнит майдони табиийки ўзини ҳосил қилган токни ўтказгичга таъсир қилади. Токли ўтказгич магнит майдонинг шу ўтказгичнинг ўзига таъсири оддий шароитда сезилмайди. Чунки, электромагнит қурilmаларидаги ўтказгич қисмларининг ҳар бирига таъсир этаётган кучларнинг йўналиши ўзгача бўлиб, уларнинг тенг таъсир этувчиси нолга айланиши ёки системага таъсир этувчи бошқа кучлар (гравитация, эластиклик, ишқаланиш ва ҳоказо) билан мувозанатлашуви мумкин. Шу сабабли ҳаракат оддий шароитда сезилмайди. Агар электромагнит системадаги «хусусий Ампер кучлари» ни тенг таъсир этувчисини нолга айланмайдиган лойиҳаларининг техник ечимлари топилса, ҳамда уларни мувозанатловчи кучлар ҳаммасининг таъсири

минимал микдорга келтирилса, ҳар қандай электромагнит система, ўзининг хусусий магнит майдони таъсирида ҳаракатга келиши мумкин.

Ерда, ер остида, сувда, сув остида ва ҳавода, ҳамда космосда ҳаракатланувчи кичик ёки катта «кема» ларнинг ноаъёнавий энергиялар билан ишлайдиган янги лойиҳаларининг ҳаммасида, ўта ўтказувчан магнит системаларини қўллаш таклиф қилинади. Демак, буларнинг ҳаммасида («магнит ёстик») чада ҳаракатланувчи поезд, МГД-двигател билан ишловчи сув ости кемаси, плазма реактив двигателли космик кемалар ва бошқалар) кучли магнит майдонининг ҳаракатланувчи ўта катта кучлари пайдо бўлади. Техник ечими топилиб, бу кучлардан фойдаланиш имкониятларини берадиган лойиҳалар яратилса, янги тиндаги ҳар қандай об-ҳавода ҳавфсиз ҳаракатлана оладиган, шовкинсиз (айланувчи гилдирак, паррақлар, турбиналарсиз) ишлайдиган, ўта ишончли, машиналар оиласи яратилади. Бундай машиналарнинг ер, ҳаво ва космик шароитида ишлайдиган турлари учун электр энергиясининг манбаси сифатида, кўшимча қилиб фотоэлектрик генераторларидан (фотоприёмник) фойдаланиш мумкин. Космик кемалар ер атмосферасидан чиқарилгандан сўнг тўла равишда (ёки қисман) фотоэлектрик генераторлар энергияси ҳисобига ишлашлари ҳам мумкин.

Ерда юрадиган кичик транспорт воситаси ҳисобланган автомобиллар яқин келажакда тўла электромобилларга ўз ўрнини бўшатиб бериши керак. Бунинг учун биринчидан, фотоэлектрик генераторларнинг фойдали иш коэффициентлари юқори бўлиб, техник жиҳати қулай, содда теҳнология билан олинладиган ва юқори иқтисодий самара билан ишлайдиган турларини яратиш лозим. Ҳозирги шароитда бунинг тўла илмий асослари мавжуд бўлиб, фақат муҳандислик ечимларини топиб амалга ошириш керак бўлади. Иккинчидан, ўта ўтказгич системаларнинг юқори температураларда ишлай оладиган техник қулай турларини топиб, ўта ўтказувчан магнитлар яратиш керак. Ўшанда автомобил системасига ўзининг хусусий магнит майдонида ҳаракатлана оладиган кўшимча механика жойлаштириб, янги электромобил яратиш мумкин бўлади. Автомобилларни тўласича айланма қисмларисиз қилиш, унинг кўп функцияларини чегаралаб қўяди. Шунинг учун автомобилда гилдирак, мотор тизими сакланади. Электромотор билан биргаликда, навбатлашиб ишловчи, ўз магнит майдонда ҳаракатга келадиган электромагнит система қўйилиб, у электромобил оғирлигини 5-10% га кўпайтиради холос.

### **Фотоприёмникларнинг асосий параметр ва характеристикалари**

Фотоприёмниклар тайёрлашда ярим ўтказгичларнинг фотосезгирлигини текшириш зарур.

Ярим ўтказгичлардан тайёрланган ҳар бир фотоприёмникнинг хоссаларини ва қайси соҳада қўлланилиш чегарасини кўрсатувчи катор

параметр ва характеристикалари мавжуд. Буларга фотоприёмникнинг интеграл сезгирлиги ва спектрал характеристикаси кириб, булар ўз навбатида ярим ўтказгичнинг фотосезгирлигига боғлиқдир. Одатда фотоприёмниклар (ФП) учун сезгирлик тушунчасини икки хил маънода (монохроматик ва интеграл) фойдаланилади. Интеграл сезгирлик деганда ФП токининг (мА) ёруғлик манбасидан тушаётган нурланиш оқимига (лм) нисбати билан ўлчанадиган катталиқ тушунилади. Бошқача айтганда ФП нинг интеграл сезгирлиги деб температураси 2840°К бўлган вольфрам симли лампадан чиқаётган ёруғликнинг спектрал составида мос келган ҳар бир тўлқин узунлигига мос бўлган ёруғлик энергиясини ФП га тушаётган бирлик оқимига тўғри келган киска улаиш токига айтилади. Бу катталиқ ФП нинг маълум манбагагина нисбатан сифат кўрсаткичи бўлиб, ундан фойдаланиб ФП нинг бошқа ёруғлик манбаси таъсирида қандай ишлашини баҳолаб бўлмайди. Кремнийли ФП лар учун у 4-9 мА/лм бўлса, германийдан ясалганлари учун 15-25 мА/лм тартибда бўлади. Монохроматик сезгирлик деганда фототок қийматининг нурланишнинг ёруғлик энергиясига нисбатининг аниқ бир тўлқин узунлигига мос келувчи қиймати (мА/мВт) билан аниқланадиган катталиқ тушунилади. Монохроматик сезгирлик ФП нинг маълум монохроматик нурланиш берадиган манба таъсирида ишлаш самарадорлигини характерлайди. Фотоприёмникларда сезгирлик билан бир каторда сезгирлик остонаси (чегараси) деган катталиқ ҳам ишлатилади. У ФП лар сеза оладиган минимал ёруғлик энергияси билан боғлиқ бўлиб, у қанчалик оз бўлса сезгирлик остонаси шунча юқори, ФП сифатли ҳисобланади. Ҳар хил ярим ўтказгичлардан тайёрланган ФП ларнинг берилган монохроматик нурланишга нисбатан сезгирлиги ҳар хил бўлади. Шунинг учун у ФП ларнинг асосий характеристикаларидан бири бўлиб ҳисобланади. Буни билиш ФП нинг қайси соҳада қўлаш мумкинлигини аниқлайди. Фотоприёмникни характерлаш учун битта тўлқин узунлигига мос келган спектрал сезгирлигини билиш етарли бўлмайди. Унинг спектрал характеристикасини, яъни тўлқин узунликлари бўйича спектрал сезгирлигини билиш зарурдир. Фотоприёмникларнинг монохроматик сезгирлиги билан тўлқин узунлиги орасидаги боғланиш, уларнинг спектрал характеристикасини ифодалайди. Реал фотоприёмниклар учун бу қонуниятни қуйидагича ифодалаш мумкин.

$$\frac{J_{\phi}}{E} = (1 - R)Q\beta qN.$$

Бунда  $J_{\phi}$  - фототок;  $E$  -  $\lambda$  тўлқин узунлигига мос келувчи энергия;  $R$  - фотоприёмник сиртидан ёруғликнинг қайтиш коэффиценти;  $Q$  - тўплаш коэффиценти;  $\beta$  - квант чиқиши;  $N$  - бирлик энергияга мос келувчи фотонлар сони.

Бу соҳада жуда кўп тажрибалар қилинган, булардан германий ва кремний ФП ларга тегишли спектрал характеристикаларда максимал сезгирлик германий ФП ларда 1,5 мкм да, кремний ФП ларда 0,8 мкм кузагилади. Тўлқин узунлигининг 1,7 мкм қийматидан бошлаб германий ФП ларда, 1 мкм дан бошлаб кремний ФП ларда сезгирликнинг кескин камайиш соҳаси бошланади. Бу қийматлар мос равишда германий ва кремнийлар учун тўлқин узунлиқларининг қизил чегараларига мос келади. Спектрал характеристиканинг кўринишига ютилиш коэффициентининг тўлқин узунлигига боғлиқлиги ҳам таъсир қилади. Бу боғланиш ФП *p-n* ўтишдан ташқаридаги соҳа (база) нинг қалинлигини ва ундаги асосий бўлмаган ток ташувчиларининг диффузион узунлигини ўзгартиради. Натижада спектрал характеристикадаги максимумни силжитиш мумкин. Фотоприёмниклардаги бу хусусият оптрон жуфтлари танлашда жуда қўл келади. Юқоридаги хулосалар қисқа уланиш токи билан ёруғлик интенсивлиги чизикли боғланган ҳолда ўришли бўлиб, умумий ҳолда фототок билан интенсивлик орасидаги боғланиш мураккаб характерда бўлади. Ёруғлик ФП да электрон-тешик жуфтлари ҳосил қилибгина қолмасдан, балки бошқа параметрларни ҳам ўзгартириб юборади. Натижада рекомбинация ортади, ўтиш қаршилиги камаяди ва хоказо.

Температуранинг пасайиши билан сезгирликнинг чегараси қисқа тўлқин томон силжийди. Бунга сабаб температура пасайиши билан ярим ўтказгичларда ман қилинган зона энергетик кенглиги ортади. Бу қонуниятни

$$\Delta E = \Delta E(0) - \alpha T$$

кўринишда ёзиш мумкин. Бу ерда,  $\Delta E(0)$ - абсолют нол температурадаги зона кенглиги,  $\alpha$  - ўзгармас сон. Кремний учун

$$\Delta E(0) = 1,21 \text{ эВ}, \quad \alpha = 3,6 \cdot 10^{-4} \frac{\text{эВ}}{\text{град}},$$

у ҳолда

$$\Delta E(T) = (1,21 - 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ град}^{-1} \cdot T) \text{ эВ}$$

бўлади.

Бундан ташқари, юқори температураларда зарядлар активацияси фонон ютиши орқали юз берса, паст температураларда фонон чиқариш билан бўлади. Шунинг учун, биринчи ҳолда фотон энергияси  $\Delta E$  дан фонон энергияси қадар кам бўлса, активация бўлаверади, иккинчи ҳолда эса зарядлар активацияси учун фотон энергияси  $\Delta E$  дан фононнинг энергиясига тенг бўлган миқдорда катта бўлиши керак. Ҳарорат кўтарилса ярим ўтказгичларда ман қилинган зона кенглиги ( $\Delta E$ ) қисқаради. Натижада электрон-тешикли жуфтлар ҳосил қилиш учун камроқ энергияли фотонлар керак бўлади. У ҳолда ФП ларга тушаётган ёруғлик

тўлкинларининг ютилиш чегараси спектрнинг узун тўлкишли соҳасига караб силжийди. Температуранинг ўзгариши ёруғлик оқимининг ярим ўтказгичга ютилиши коэффицентини ва унга кириш чуқурлигини ҳам ўзгартиради. Ҳарорат кўтарилса ютилиш коэффиценти ортиб фотонлар сиртга яқин соҳаларда ютилиб қолади, яъни фотонларнинг ярим ўтказгич ҳажмига кириш чуқурлиги камаяди. Ҳароратнинг пасайиши билан ярим ўтказгич материалга ёруғлиқнинг ютилиши коэффиценти камайиб, фотонлар чуқурроқ соҳаларга кириб боради.

## Вольт-ампер характеристикалар

ФП га қўйилган кучланиш билан у орқали ўтаётган ток орасидаги боғланиш, ФП нинг вольт-ампер характеристикаси (ВАХ) деб юритилади. ФПнинг фотовольтаик ва фотолиод режимларидаги ишини баҳолаш мақсадида уни ёритмасдан қоронғи ҳолатда ВАХ си олинади. Бу ВАХ ёритилган ҳолатдаги ФП нинг ВАХ сидан фарк қилади. ФП ни ёритилганда унинг ВАХ си ўзгариб кетади. Генератор типидagi ФП (ФЭГ) ларда ёритилмаган ҳолат учун ВАХ ни қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$I = I_0 \left[ \exp\left(\frac{qu}{AkT}\right) - 1 \right],$$

бу ерда  $I$  - ФП орқали ўтаётган ток;  $I_0$  - тўйиниш токи;  $A$  -  $p$ - $n$  ўтишга боғлиқ параметр.  $A$  параметр 1-3 атрофида бўлади,  $I_0$  эса  $10^{-5}$ - $10^{-10}$  А/см<sup>2</sup> чегарада ўзгаради. Тўйиниш токи ФП тайёрланган ярим ўтказгичга боғлиқ бўлади. Масалан, СаAs ФП ларида  $A = 2$ ,  $I_0 = 10^{-9}$  -  $10^{-10}$   $\frac{A}{cm^2}$ , яъни, назарий маълумотларга мос келади.

Фотоэлектрик генераторларнинг (ФЭГ) ишчи параметрларига салт режими кучланиши  $U_{\infty}$ , қиска уланиш токи  $I_{кз}$  ва максимал қувват учун ФИК лари қиради.

$$U_{\infty} = \frac{AkT}{q} \ln\left(\frac{I_{\phi}}{I_0} + 1\right); \quad I_{кз} = \frac{WS}{1 + \frac{R_n}{R_{p-n}}}$$

Бу ерда  $S$  - ФЭГ нинг интеграл сезгирлиги,  $W$  - ёруғлик оқими энергиясининг қуввати. Ёруғлик оқимининг кичкина қийматларида  $R_{p-n} \gg R_n$  бўлиб,  $I_{кз} = SW$  қизикли боғланишга айланади.

Фотоэлектрик генератор истеъмолчига бераётган максимал қувват ( $W_{\infty}$ ) ВАХ чегаралаб турган тўртбурчакнинг юзасига сон жиҳатидан тенг



бўлади.  $\frac{W_m}{U_{\infty} I_{s,2}}$  нисбатни ФЭГ нинг ВАХ сени тўлдириш коэффициентини деб юритилади.

Салт режим кучланиши ( $U_{\infty}$ ) ифодасидаги ( $I_0$ ) тўйиниш токи температура ортиши билан ўзгаради. Шунга боғлиқ равишда  $U_{\infty}$  ҳам ўзгаради. Температура ортиши билан  $I_{s,2}$  нинг киймати чизикли ортса, салт кучланиш чизикли камаяди. Лекин, салт кучланишнинг ўзгариши  $I_{s,2}$  га нисбатан жадалроқ бўлади. Тўйиниш токи  $p-n$  ўтиш назариясига асосан, ёруғлик бўлмаган ҳолатдаги  $n$  ва  $p$  сохалар орқали асосий бўлмаган ток ташувчиларнинг диффузияси орқали аниқланади. Назарияга асосан тўйиниш токи киймати жуда кичик ( $10^{-10}$  А/см<sup>2</sup>) бўлиб, кучланишга боғлиқ бўлмайди. ФП ларда кузатилган экспериментал боғланишларда бу назарий ҳулосалар аниқ бажарилади. Агар  $p-n$  ўтишнинг ҳажмий зарядлар соҳасида зарядларнинг генерацион марказлари бўлса, улар тескари токнинг ортишига сабаб бўлади. Тескари токнинг бу қўшимча ортиши бу генерацион ток зичлигини аниқлайди. Генерацион токнинг киймати ҳажмий заряд соҳасининг каллинигига пропорционал бўлади ва генерацион марказларнинг энергетик ҳолати ва температуранинг функцияси ҳисобланади.

## Импульс ва частота характеристикалари

Фотоприёмниклар ҳар хил қурилмаларга мўлжаллаб ясалади. Улар бу қурилмаларда ўзига хос функционал вазибаларни бажаради. Бундай схемаларда ФП лар статик ҳамда динамик режимларда ишлаши мумкин. Фотоприёмниклар импульс режимида ишловчи схема ва қурилмаларда ишлатилганда уларнинг инерционлигини ва ФП ишлай оладиган критик частоталарни билишга тўғри келади. Бунинг учун уларнинг импульс ва частотавий характеристикаларини тадқиқот қилинади. Ёруғлик импульси ФП га тушиб, унда маълум сигнал ҳосил қилади. Бу сигналнинг вақт бўйича ўзгариш қонунияти ФПнинг импульс характеристикаси деб юритилади. Одатда бу характеристикани олиш учун ФП ни тўғри бурчакли ёруғлик импульси (туширилади) билан ёритилади. Электрон-тешик ўтишли тузилишга эга бўлган ФП ларга тўлқин узунлигининг максимуми  $\lambda = 0,91$  мкм бўлган GaAs светодиодининг тўғрибурчакли ёруғлик импульси таъсир этганда уларнинг чиқишда, импульс шаклланиш механизмининг юқори ва паст частотали қисмларини характерловчи иккита соҳаси кузатилади. Бундай тўлқин узунликка эга ( $\lambda = 0,091$  мкм) нурланиш  $p-n$  ўтиш ФП нинг ҳажмий заряд соҳасида ҳам, коллектор соҳасида ҳам зарядлар генерация қилади, лекин бу соҳалардаги зарядларнинг кўчиш жараёни турлича бўлади. Импульснинг юқори частотали қисмини характерловчи, сигнални тез ўсувчи қисмини ток ташувчиларнинг ҳажмий зарядлар соҳасидан «учиб ўтиш» вақти аниқлайди. Қуйи частотали қисм

эса коллектордаги диффузион жараён билан боғлиқ. Фотовольтаик режим вақтида ҳажмий зарядлар соҳаси кичик бўлганлиги учун нурланиш асосан коллекторда ютилиб, импульснинг кўтаришилиши ва пасайиш вақтлари асосан диффузия билан аниқланади. Бу қийматлар етарли юқори бўлиб, қаршилиги катта Si ли ФП ларда 300-500 нс га етади. Бу ФП нинг ёруғлик сезадиган фойдали юзасини майдони эса  $5\text{мм}^2$  бўлади.

Фотоприёмник синусоидал модуллашган ёруғлик сигнали билан ёритилганда, унда ҳосил бўлган сигнал амплитудаси билан частота орасидаги боғланиш ФП нинг частота характеристикаси бўлади. Частота характеристикаси ёрдамида ҳам ФП нинг инерционлигини аниқланади. Шу билан бирга частота характеристикаси ФП ишлай оладиган критик частотани ҳам аниқлашга имкон беради. Частота характеристикасининг формаси ва критик частота ФП нинг тузилишига ва унинг параметрларига, иш режимларига ва модуллашган нурланиш манбасининг параметрларига боғлиқ. Германия, кремнийдан ясалган баъзи ФП ларда критик частота бир неча 10-100 Г Гц га етади.

## Фотовольт

Юқори кучланишли аппаратураларни (масалан, электрон-оптик ўзгартиргичлар, электростатик кучайтиргичлар) таъминлаш мақсадида сунъий (табиий) ёруғлик билан ишловчи унча катта бўлмаган кичкина ёруғлик сезувчи майдонли микрофотогенераторлардан йиғиб, тайёрланади. «Фотовольт» таркибига кирувчи элементлар бир неча минг дона ФЭГ лардан иборат бўлиши мумкин. Уларнинг сони ишлатилиш жойи ва талаб қилинаётган кучланишнинг номинал қийматига боғлиқ равишда танланади. Масалан,  $1\text{ см}^2$  фойдали майдони бўлган фотовольт матрицага 250 тага яқин микрофотогенераторлар (МФГ) жойлашади. Саноат миқёсида  $3\text{ см}^2$  юзали 1000 дан ортиқ МФГ эга бўлган «фотовольт» лар ишлаб чиқариш йўлга қўйилган. Эксперимент натижалари кўрсатишича нурланиш қувати зичлиги  $10\text{кВт}/\text{м}^2$  бўлганда «фотовольт» ларнинг токи ва қуввати ёритилганлик билан (хона ҳароратида) чизикли боғланишда бўлган.

Энг яхши лойиҳаланган «фотовольт» лар 1000 нм ли монохроматик ёруғлик билан ёритилганда унинг ФИК 40% га етган. Бундай «фотовольт» лар ВАХ нинг юқори нагрузкали қисмларида ҳам қисқа туташувга яқин соҳаларда юқори кучланишни таъминлайди. Уларнинг тоқлари билан ёритилганлик орасидаги чизикли боғланиш  $0,1-100\text{ Вт}/\text{см}^2$  ларда сақланади. Бу чизикли боғланишнинг нурланиш қувватининг кенг диапазонларида сақланиб қолиши, «фотовольт» ни юқори интенсивликдаги кучланиш оқимларининг энергиясини ўлчашда фойдаланиш мумкинлигини кўрсатади. Саноат миқёсида ишлаб чиқарилаётган «фотовольт» лар радио, дозиметрик ва кундалик турмушда ишлатиладиган аппаратураларда қўлланилмоқда.

## Фотоприёмник ёруғлик сезувчи конденсатор сифатида

Генератор типдаги ФП ларда (ФЭГ) нурланиш энергиясини электр сигналларига айлантириш вазифасини асосан ярим ўтказгичли электрон-тешик ўтишлар бажаради. Маълумки, электрон-тешик ўтишларига кучланиш берилса, унинг сиғими ўзгаради. Генератор типдаги ФП ларда *p-n* ўтишлар ёритилганда уларда кучланиш ҳосил бўлиб, бу фотокучланиш *p-n* ўтишларнинг сиғимини ўзгартиради. Оддий *p-n* ўтишларга куйилган ташқи кучланиш вазифасини ФП ларда ёруғлик таъсирида генерацияланган фотокучланиш бажаради. Демак, ФП ларнинг *p-n* ўтишлари сиғимларини ёруғлик таъсирида ўзгартириш мумкин. Бундай ФП ларни ўзгарувчан сиғимли конденсаторлар сифатида радиоэлектрон курилмаларда ишлатиш мумкин. Бундай ярим ўтказгичли ёруғликка сезгир сиғимларни фотоварикап сифатида бир вақтда битта асбобнинг ўзида икки вазифани яъни ёруғлик энергиясини электр сигналларига айлантириб, бу сигналларни параметрик кучайтириш вазифасини ҳам амалга ошириш мумкин. Бунинг учун параметрик кўприк схемаси йиғилиб, унинг битта елкасига фотоварикап сифатида ишловчи ФЭГ уланади. Ўзгарувчан ёруғлик кўприк елкасидаги ФЭГ *p-n* ўтиши сиғимини ўзгартириб, бу ўзгариш параметрик кучайтиргичнинг чикишида унга мос сигнал ҳосил қилинди. Фотоэлектрик генераторларда *p-n* ўтишлар ўта кескин бўлади. Шу сабабли унинг сиғими ва фотокучланиш орасидаги боғланиш юқори даражада нозикли конуниятни беради. Фотоварикап сиғими билан ўзгармас кучланиш орасидаги  $C(U)$  боғланиш куйидагича бўлади:

$$\frac{C(U)}{C(0)} = \sqrt{\frac{U_1}{U + U_1}},$$

$U_1$  - электрон-тешикли ўтиш ёритилмаган ҳол учун потенциал тўсик баландлиги.

Фотоварикаплар товуш тўлқинларидан ультра товуш частотасигача ораликда ишлай олади. Фотоварикап ёритилмаган ҳолда унинг юза бирлигига мос келувчи сиғими  $C(0)$  кремнийли ФЭГ лар учун – 0,027-0,030 мкф/см<sup>2</sup> GaAs ли ФЭГ лар учун – 0,038-0,050 мкв/см<sup>2</sup> тартибида бўлади. Фотоварикапларнинг асосий характеристикаларидан бири бўлиб, ёруғлик окимининг бирлик ўзгаришига мос келувчи сиғимининг нисбий ўзгариши хисобланади. Уни фотоварикапнинг ёруғликни сезувчанлик коэффиценти деб юритилади. Кремнийдан ясалган ФЭГ лар учун бу коэффицент  $5,7 \frac{1}{\text{мВт}}$ , арсенид галлийларда  $240 \frac{1}{\text{мВт}}$  га етади.

## Фотоприёмникларнинг эффективлигига электрон ва тешик ўтказувчанлик соҳаларидаги ёт элементлар атомларининг тақсимланишинин таъсири

Ярим ўтказгич сиртига ёруғлик тушса, унинг таъсирида ҳосил бўлаётган электрон-тешик жуфтлари, нурланишнинг ютилаётган чуқурлигига боғлиқ равишда сиртдан ҳар хил чуқурликларда (масофаларда) генерацияланади. Масалан, (ФП сиртига) кремнийли ФП сиртга қисқа тўлқин узунлигидаги нурланиш тушса, у сиртга яқин юпка қатламдагина ютилади, бошқача айтганда, ҳажмга кирмайди. Аксинча, узун тўлқинли нурланиш ФП нинг чуқурроқ қисмигача қиради. Тўлқин узунлигига боғлиқ равишда нурланиш ҳажмий заряд соҳасининг  $n$  ёки  $p$  қисмларида ютилиб қолади.

Фотоприёмник қабул қилаётган нурланиш ҳосил қилган ҳамма электрон жуфтлари  $p-n$  ўтиш майдонида ажралган бўлса ва у ташқи занжирда ток ҳосил қилишда иштирок этганда ток бўйича ўзгартириш эффективлиги максимал қийматга эришади. Нурланишнинг ярим ўтказгичга кириши эффективлиги тўплаш коэффиценти билан характерланади. У сои жиҳатидан  $p-n$  ўтишда ажратилган ток ташувчилар ( $I_{к,т}$ ) сонининг фотоприёмникка тушаётган фотонлар сонига нисбатига тенг бўлиб, қуйидаги ифода орқали аниқланади:

$$Q = \frac{I_{к,т}}{qN},$$

бу ерда  $N$  - ярим ўтказгичга кирган фотонлар сони,  $q$  - электрон заряди,  $I_{к,т}$  - қисқа туташув токи.

Бунда коэффицентнинг квант чиқиши бирга тенг дейилиб, яъни ярим ўтказгичга кирган битта фотон битта электрон-тешик жуфттини пайдо қилади. Бундай тахмин фотон энергиясининг  $\Delta E < hv < 2\Delta E$  шартни қаноатлантирадиган қийматларида амалга ошади. Идеал фотоприёмниклар учун тўплаш коэффиценти ( $Q$ ) хусусий ютилиш соҳасининг ярим ўтказгич сезадиган тўлқин узунликларида бирга тенг бўлади. Реал асбобларда бу коэффицент ҳар доим бирдан кичик бўлади. Чунки, амалда ФП ларда нурланиш туфайли ҳосил бўлган ток ташувчиларининг ҳаммаси ҳам  $p-n$  ўтишга етиб бормай ўзаро рекомбинация натижасида, ман қилинган зонада жойлашган ёт атомларнинг энергетик сатҳлари марказларидаги йўқотишлар туфайли камаяди. Бу йўқотишлар фотоприёмникларнинг тузилишига,  $p-n$  соҳаларнинг геометрияси ва бу соҳалардаги ёт атомларнинг тақсимланиш концентрацияси билан боғлиқ. Фотоприёмникнинг  $p-n$  тузилишида бу ёт атомлар текис тақсимланган (бир жинсли) бўлиши ҳам, нотекис тақсимланган бўлиши ҳам мумкин. Агар фотоприёмникнинг  $p$  ҳамда  $n$  соҳаларида ёт атомлар концентрацияси текис

таксимланган бўлса, ёруғлик таъсирида вужудга келган ток ташувчилар факат диффузия жараёни натижасида ҳаракатланади. Бундай фотоприёмникларда  $p$ - $n$  ўтиш майдонида факат электрон-тешикли ўтишдан ток ташувчиларининг мос равишда диффузион узунликлари ( $Z_n$ ,  $Z_p$  ва  $Z$ ) тенг ёки улардан кичик бўлган масофаларда генерацияланган зарядларгина ажралади. Электрон-тешикли ўтишдан узокроқ масофада генерацияланган электрон-тешик жуфтларининг ўтиш майдонига етиб келиш эътимоллиги кичик бўлиб, улар ташқи занжирда мос равишда озрок ток ҳосил қилади. Тўплаш коэффициентлари ҳам электрон ( $Q_n$ ) ҳам тешикли ( $Q_p$ ) ташкил этувчилардан иборат бўлади:

$$Q = Q_n + Q_p.$$

Тўплаш коэффициентлари спектрларнинг қиска тўлкили соҳаларидаги камайиши ҳажмий ва сирт рекомбинацияси билан боғлиқ йўқотишлар ҳисобига содир бўлади. Тўплаш коэффициентлари графиклари максимумли бўлиб, ундан ўтгандан сўнг узун тўлкинли соҳаларда фотонларнинг ютилиши сусайиб, улар ярим ўтказгичнинг чуқурроқ қисмларига ютилмай кириб боради. Натижада бу соҳалар учун ютилиш коэффициенти спектрнинг узун тўлкинли соҳасида пасайиши кузатилади. Шуни алоҳида таъкидлаш лозимки, юпка базали фотоприёмникларда, базанинг кенглиги ( $w$ ) асосий бўлмаган ток ташувчиларнинг диффузион йўлидан ( $Z$ ) анча кичик ( $w/Z \ll 1$ ) бўлган ҳолларда фотоприёмникнинг тўплаш коэффициенти ( $Q$ ) бир жинсли таксимланиш учун  $\alpha w$ ,  $sw/D$  ва  $wZ$  параметрларнинг функцияси ҳисобланади.  $D$  - диффузия коэффициенти,  $\alpha$  - ютилиш коэффициенти,  $s$  - рекомбинация тезлиги.  $sw/D$  ва  $wZ$  параметрлар сирт ва ҳажмий рекомбинация билан боғлиқ йўқотишларни характерлайди.

Ютилиш коэффициенти катта бўлган ҳолларда сирт рекомбинациясининг таъсири кучлироқ сезилади. Параметрлар  $\alpha w \gg 1$  ва  $sw/D \gg 1$  бўлган ҳолларда тўплаш коэффициенти рекомбинация тезлигига тесқари пропорционал йўналишда камаяди. Бир жинсли базага эга бўлган фотоприёмникларда қиска тўлкинлар соҳасида юқори тўплаш коэффициентига эришиш анча қийин. Биринчидан, майда электрон-тешикли ўтишлар тайёрлаш қийин, иккинчидан, сирт ва ҳажмий рекомбинацияга боғлиқ йўқотишлар катта бўлади. Масалан, диффузион фотоприёмниклар учун база кенглиги  $w = 0,5$  мкм бўлганда  $\lambda = 0,4$  мкм ли тўлкинлар учун тўплаш коэффициенти  $Q = 0,1$  бўлади.

Фотоприёмник  $p$ - $n$  структураси бир жинсли бўлмасдан унинг  $n$  ва  $p$  соҳаларидаги ёд аралашма нотекис таксимланган бўлса, ҳатто биргина  $p$  соҳадагина нотекис таксимланиш кузатилса ҳам унда концентрация градиенти вужудга келади. Бу ҳолат ички электр майдоннинг ҳосил

бўлишига сабаб бўлади. Бу майдон қиймати концентрация градиентига пропорционал бўлиб, қуйидагича ифодаланadi:

$$E = \frac{kT}{q} \frac{1}{N(x)} \frac{dN(x)}{dx},$$

бу ерда  $N(x)$ - акцепторлар концентрацияси;  $\frac{dN(x)}{dx}$  -  $x$  нуктадаги ёт атомлар концентрацияси градиенти.

Бу майдон ток ташувчиларнинг  $p$ - $n$  ўтиш томон йўналган диффузион харакатини тезлаштиради. Натижада  $p$ - $n$  ўтиш майдонида ажралаётган зарядлар сони кўпайиб тўплаш коэффициентининг бир жинсли холатга нисбатан ортишига сабаб бўлади. Базасида ички электр майдонига бўлган фотоприёмниклар дрейф фотоприёмниклар деб юритилади. Бундай фотоприёмникнинг  $p$ -тип базасидаги акцепторларнинг таксимот конуниятини экспоненциал характерда дейиш мумкин:

$$N = N_s \exp(-\beta x),$$

бу ерда  $N_s$ - сиртдаги акцепторлар концентрацияси;  $\beta$ - доимий экспонентанинг эгрилигини характерловчи катталиқ бўлиб,  $\alpha_w$ ,  $sw/D$  ва  $\beta_w$  параметрларнинг функцияси ҳисобланади,  $w$ - $p$  базанинг калинлиги,  $D_n$ - фотоприёмник базасидаги электронларнинг диффузия коэффициентини. Ўлчамсиз параметр  $\beta_w$  базасидаги электр майдонини катталигини характерлайди. У тўплаш коэффициентини ўсишига сабаб бўлади. Бирок,  $\alpha_w$  нинг унча катта бўлмаган қийматларида ичкарига чуқурроқ кирувчи узун тўлкинлар учун  $p$ - катлам тиниқ бўлиб қолади ва  $p$ - катламдан улар ютилимай ўтиб кетади. Натижада базада асосий бўлмаган ток ташувчилар жуда кам генерацияланади. Шу сабабдан ички майдоннинг тўплаш коэффициентига таъсири сезиларли бўлмайди. Фотоприёмник кучли ютиладиган қисқа тўлкинлар билан ёритилган ( $\alpha_w$  параметрни катта қийматларида) холда фотонларнинг қарийиб кўпчилиқ қисми базанинг  $p$ - соҳасида ютилиб қолади. Шунга мос равишда асосий бўлмаган ток ташувчилар концентрацияси ҳам  $p$ - соҳада ортади. Ички майдоннинг тўплаш коэффициентига таъсири кучлироқ бўлади. Сирт рекомбинациясининг концентрацияси ортиши билан ( $sw/D$  ўсиши билан) тўплаш коэффициенти ҳам камая бошлайди. Ёруғлиқ таъсирида генерациялаган жуда кўп ташувчилар (зарядлар) электрон-тешикли ўтишга етиб келмай рекомбинацияга учрайди. Яъни « $\alpha_w$ » параметрнинг етарли катта қийматларида қарийиб ҳамма фотонлар сиртдаги катламда ютилиб, сирт рекомбинациясига учрайди. Натижада ташқи занжирда фототок ҳосил бўлмайди. Ички электр майдонининг етарли катта ( $\beta_w \gg 10$ ) ва сирт рекомбинациясининг тезлиги кичик бўлганда дрейф фотоприёмниклар учун қисқа тўлкин соҳасида тўплаш коэффициентининг назарий жиҳатидан

мумкин бўлган чегаравий қийматига эришиш мумкин. Бу албатта дрейф фотоприёмникнинг доимий майдон бўлгандаги идеал ҳолатга мос модели учун бажарилади. Амалда ФП ларда ёт элемент атомларининг экспоненциал тақсимотига эришиб бўлмайди. Ярим ўтказгич асбобларни яратиш технологиясининг илғор тажрибаларига асосан легирланган ярим ўтказгич қатламида ёт элемент атомларининг Гаусс тақсимотига эришиш мумкин (диффузия вақти ( $t$ ), коэффиценти ( $D$ ), ёт элементларнинг сиртдаги ( $N_0$ ) ва сиртдан чуқурроқ жойлашиш масофаси ( $x$ ) кабиларга боғлиқ хатоларни ҳисобга олган ҳолда). У ҳолда бундай ФП лардаги электр майдони ифодаси

$$E = \frac{kT}{q \cdot 2Dt} \cdot x$$

қўринишда бўлади. Майдон  $x$  масофанинг ортиши билан чизикли ўсади. Сирт яқинида нолга айланади ва  $p$ - $n$  ўтиш яқинида эса ўзининг максимумига эришади. Сирт рекомбинацияси тезлиги нолга тенг бўладиган ва етарли қатта электр майдонларида, майдоннинг  $x$  масофага боғлиқ равишда чизикли ўзгарадиган ҳоллари учун тўплаш коэффицентини ҳисоблаганда унинг қиймати бирга яқинлашади. Ионли нурлантириш ва диффузия усуллари ёрдамида кремнийга фосфорни киритиш йўли билан олинган фотоприёмниклар учун (аралашмаларнинг Гаусс тақсимотида) электр майдоннинг тўплаш коэффицентига амалдаги таъсирини баҳолаш мақсадида олиб борилган тажрибалар назарий маълумотлар билан мос келишини кўрсатади. Легирланган қатламдаги аралашмалари тақсимоти ҳар хил қонуниятли бўлган диффузион ФП лардаги тўплаш коэффицентларини солиштириш натижасида Гаусс тақсимотли ФП ларда унинг қиймати юқори эканлигини аниқлади. Бундай тақсимотга эришиш натижасида 0,5 мкм тўлқинли нурланишида ҳамма зарядлар рекомбинацияга учрамай тўлиқ  $p$ - $n$  ўтишга етиб келади. Тўплаш коэффиценти бирга яқинлашади. Фотоприёмникнинг легирланган қатламида аралашма атомларининг икки погонали (босқич) тақсимотга эга ҳар хил концентрацияли иккита соҳадан иборат бўлиши қисқа тўлқинларда  $p$ - $n$  ўтишлар сиртдан тахминан 1,2 мкм чуқурликларда жойлашган ҳолларда ҳам ФП ларда тўплаш коэффицентининг етарли ортишига эришиш имконини беради.

Спектрнинг узун тўлқинлар соҳасида ФП ларнинг тўплаш коэффицентини орттириш учун ярим ўтказгич ҳажмидаги асосий бўлмаган ток ташувчиларнинг диффузион йўлининг узунлигини орттириш керак бўлади. Спектрнинг 1,06 мкм ли тўлқинларигача тўплаш коэффицентининг юқори қийматига эришиш учун ФП лар тайёрлашда диффузион йўли узунлиги юқори материаллардан олиб,  $p$ - $n$  ўтиш ҳосил қилишнинг паст температурали усулини танлаш керак бўлади.

Амалда  $p$ - $i$ - $n$ - структурали ФП лар ҳам ишлатилади. Юпка, қаршилиги кичик бўлган  $p$  ва  $n$  қатламлар орасига қаршилиги етарли

катта бўлган кенг (қалин) қатлам  $i$  жойлашади. Агар бундай структурага ташки электр майдони қўйилмаса,  $i$ - қатламда электр майдони етарли бўлмагани учун заряд (генерацияланган) лар бу қатламда фақат диффузия ҳисобига ҳаракатланади. Бундай структуранинг  $i$ - қатламида диффузия йўлининг узунлигининг кичиклиги, рекомбинация тезлигининг юқорилиги ҳисобига ( $Z < d$ ) тўплаш коэффициентлари кичик бўлади. Фотоприёмник  $p-i-n$ - структурасига тескари йўналишда етарли катта кучланиш қўйилса, генерацияланган зарядлар кучли майдон таъсирида (кучланиш асосан  $i$ - қатламга тушади),  $i$ - қатламда рекомбинацияга учрашга улгурмай ундан гўёки «учиб» ўтади. У ҳолда  $p-i-n$ - структуранинг ФПнинг тўплаш коэффициенти  $Q = 1 - \exp(-\alpha d)$  ифодадан топилади. Бу ерда  $d$  -  $i$ - қатламнинг қалинлиги.  $d = 1/\alpha$  бўлганда генерацияланган зарядларнинг деярли ҳаммаси тўпланади.

### Фотоприёмникларнинг физикавий хоссалари

Фотоприёмниклар (ФП) асосан яримўтказгич (ЯЎ) моддалардан ясалади. Ёруғлик таъсирида ЯЎ ларнинг ҳар хил характеристика ва параметрлари ўзгаради. ФП лар ЯЎ лардаги бу ўзгаришларни электр сигналларига айлантириб беради. ФП лардаги бу жараён қаттиқ жисмларнинг зона назариясига асосланиб тушунтирилади. Зона назариясининг қисқача, соддалашган моделини қуйидагича ифодалаш мумкин.

Яримўтказгич атомларининг валент электронлари умумий ҳисобланиб, уларнинг шу типдаги атомларнинг яқинида пайдо бўлиш эҳтимоллиги бир хил дейиш мумкин. Кристалл панжара электр майдони даврийлигидан электронлар исталган энергияни қабул қилолмайди.

Валент электронлар қабул қиладиган ҳамма энергияларининг энергетик сатҳлари тўпланиб (энергияга қараб маълум тартибда пастдан юқорига қараб жойлашиши натижасида) энергетик зоналарни ҳосил қилади. Бу зоналарни валент зона деб юритилади.

Умуман, қаттиқ жисмларда электр ўтказувчанликда иштирок этувчи электронлар валентлик электронлардир. Чунки, энергетик схемадаги энг охириги тўлдирилган ёки қисман тўлдирилган энергетик зонадаги электронлар валентлик электронлардир. Шу сабабли, ярим ўтказгичларда абсолют нол ( $T = 0$ ) температурада охириги тўлдирилган энергетик зона валентлик зонаси бўлиб, кейинги бўш зонани эса ўтказувчанлик зонаси деб юритилади. Валент ва ўтказувчанлик зоналари ман қилинган (электрон учун тақиқланган) зона билан чегараланган бўлади. Бу зона энергетик сатҳларига мос қиладиган энергияларни кристаллда электрон қабул қилмайди. Ман қилинган зона кенлиги одатда  $\Delta E > kT$  бўлади.

Демак, (квант механикасида келиб чиқиб, Паули принципага асосан) кристалларда электронлар қайта тақсимланиб, паст энергетик



зонадан бошлаб юқори энергетик зонага қараб электронлар билан тўла борар экан.

Паст энергетик зоналар электронлар билан тўлган бўлиб, маълум энергетик зонадан бошлаб эса юқоридаги зоналар бутунлай бўш бўлиши ёки қисман тўлган бўлиши мумкин.

Зоналардаги электронларнинг тақсимланиши ва ман қилинган зоналарнинг кенглигига қараб, каттик жисмлар металл, ярим ўтказгич ва диэлектрикларга ажратилади.

Металларда охириги тўлдирилган зона билан тўлдирилмаган (бўш) энергетик зона бир-бири билан туташиб кетиши, бири иккинчисининг устига тушишиш мумкин. Бундан ташқари электронлар билан банд бўлган юқориги зона бутунлай тўлган бўлмай, балки қисман тўлган бўлиши мумкин. Валент зона фақатгина абсолют нол ( $T=0$ ) температурада электронлар билан тўлган бўлиб, ўтказувчанлик зонаси эса бутунлай бўш бўлади. Юқори температураларда эса валент зонасида электронлар билан банд қилинмаган энергетик сатхлар, ўтказувчанлик зонасида эса, банд қилинган энергетик сатхлар мавжуд бўлади.

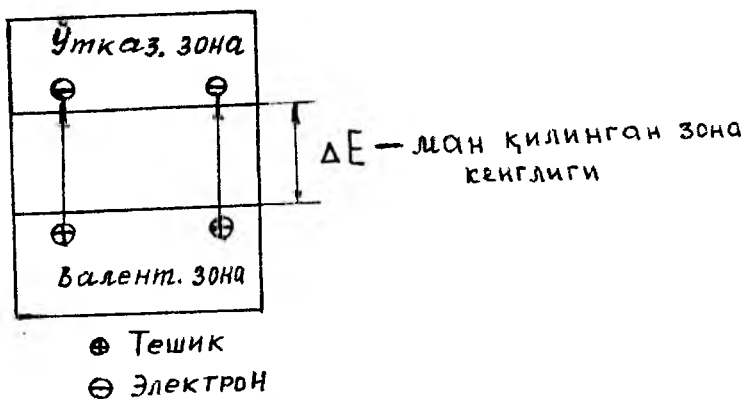
Бундан кўринадики, температура пасайиб бориши билан ярим ўтказгичларнинг электр ўтказувчанлиги камайиб, изоляторларга яқинлашиб қолади.  $T=0$  га яқин температураларда эса ярим ўтказгич диэлектрикка айланади.

Валент зонадаги электронлар электр ўтказувчанликда иштирок этиши учун уларга қўшимча энергия бериб ( $\sim \Delta E$ ) ўтказувчанлик зонасига ўтказиш керак.

Валент зонадаги электронлар ўтказувчанлик зонасига ўтиб кетиши билан ташлаб кетган бўш ўрин ҳаракат қила олиши мумкин. Бу бўш ўрин кристалларда мусбат зарядга эга бўлган зарра каби ҳаракат қилиб кўчиб юра олади. Валент зонадаги электронлар билан банд қилинмаган бу бўш ўринлар «тешик» лар дейилади. Тешикларнинг ҳаракати заряди микдор жихатидан электронларнинг зарядига тенг бўлган мусбат заряднинг ҳаракатига эквивалентдир. Шунинг учун тешиклар электронлар каби электр ўтказувчанликда иштирок этади. Умуман, тешиклар ҳам электронлар каби квант зарра бўлиб, электронлар эга бўлган ҳамма хусусиятларга эга. Масалан, спин  $\pm \frac{1}{2}$  қийматларни қабул қилиб, Ферми-

Дирак тақсимотига бўйсунди. Тешикнинг заряди мусбат электрон зарядига микдор жихатидан тенг, лекин массаси электрон массасидан катта бўлганлиги учун ҳаракатчанлиги кичик бўлади.

Таркибида ёт элемент атомлари бўлмаган тоза ярим ўтказгичларда ўтказувчанликни асосан ўтказувчанлик зонасидаги электронлар ва валент зонадаги тешиклар ҳосил қилади. Бундай ярим ўтказгичлар хусусий ўтказувчанликли ярим ўтказгич деб юритилади. Уларда ўтказувчанлик зонасидаги электронлар сони валент зонадаги тешиклар сонига тенг бўлади (1-расм).

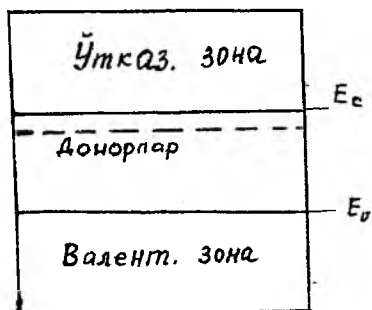


1-расм. Ярим ўтказгичларда тешикларнинг ҳосил бўлиши.

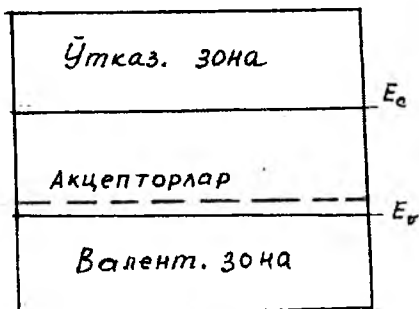
Ярим ўтказгич моддагисига ёт элемент атомлари аралаштирилса (киритилса), аралашма атомлари кристалл нанжара атомларни ўрнини эгаллаши ёки уларнинг орасига жойлашиб олиб, ярим ўтказгич энергетик зоналар схемасини ўзгартиради. Агар аралашма атомларининг концентрацияси  $10^{24} \text{ м}^{-3}$  дан катта бўлмаса, зоналар схемасида айтарлиқ ўзгариш бўлмайди, лекин қўшимча энергетик сатҳлар пайдо бўлади. Бу сатҳлар ҳаммаси ман қилинган зонада бир хил энергетик сатҳни ҳосил қилади.

Аралашма атомлари ҳосил қилган қўшимча энергетик сатҳлар ярим ўтказгич физик хоссаларида катта ўзгаришларга олиб келиши мумкин.

Бундан ташқари ярим ўтказгич кристалл нанжарасига киритилган ёт аралашма атомларининг энергетик сатҳлари ман қилинган зонада маълум қонуният билан жойлашади. Масалан, кремний (у даврий системанинг 4-группасига тегишли элемент) ярим ўтказгичининг нанжарасига 5-группа элементларининг атомларидан аралашма сифатида киритилса, аралашма атомлари кремний ман қилинган зонасининг ўтказувчанлик зонаси тағига яқин жойда энергетик сатҳни ҳосил қилади. Аралашма атомларининг энергетик сатҳлари ўтказувчанлик зонасига яқин жойлашгани учун улардаги электронлар «озгина энергия» олиб ўтказувчанлик зонасига ўтиб олишлари мумкин. Ундан сўнг аралашма атомлари ҳаракатсиз мусбат ионга айланади ва электр ўтказувчанликда иштирок этолмайдилар. Баъзи аралашма атомларининг электронлари ўтказувчанлик зонасига жуда яқин сатҳларини уй температурасидаёқ ташлаб тўла ўтказувчанлик зонасига ўтиб олган бўладилар. Натижада валент зонадаги тешикларнинг сонидан ўтказувчанлик зонасидаги электронларнинг сони юз мингларча марта ортиб кетиши мумкин. Шу сабабли бундай ярим ўтказгичларда ўтказувчанликни фақат электронлар ҳосил қилиб, уларни электронли ярим ўтказгичлар, аралашмаларни эса донорлар деб аташ одат бўлган (2-расм).



2-расм. Донорли ярим ўтказгичнинг энергетик схемаси.



3-расм. Акцепторли ярим ўтказгичнинг энергетик схемаси.

Агарда элементлар даврий системасидаги 4-группа элементи (масалан, кремний) панжарасига 3-группа элементининг атомларидан аралашма сифатида киритилса, улар ҳосил қилган энергетик сатҳлар энергетик схемада ман қилинган зонада валент зонанинг юқорисига яқин жойда қўшимча сатҳлар ҳосил қилади. Бу қўшимча сатҳлар валент зонага шундай яқин бўладики, валент зонадан электронлар ҳона ҳароратида ҳам уларга бемалол ўтиб олишлари мумкин.

Аралашма атомларининг қўшимча сатҳларига валент зонадан ўтган электронлар ўтказувчанликда иштирок этмайди. Лекин валент зонада улар қолдирган тешиклар ҳаракатланади ва электр ўтказувчанликда иштирок этади. Ярим ўтказгич ман қилинган зонасида, валент зонанинг юқори қисмига яқин жойда қўшимча энергетик сатҳни ҳосил қиладиган аралашмаларни акцепторлар, электр ўтказувчанлигини валент зонадаги тешиклар ҳосил қиладиган ярим ўтказгичларни тешикли ярим ўтказгичлар деб аталади (3-расм).

Аралашмаларнинг концентрацияси  $10^{25} \text{ м}^{-3}$  дан катта бўлса, уларнинг энергетик сатҳлари парчаланиб энергетик зонани ҳосил қилади. Бунда донорлар донор зоналари ҳосил қилади ва ўтказувчанлик зонасига қўшилиб кетади. Акцепторлар зонаси валент зонага қўшилади. Натижада ман қилинган зона кенглиги камаяди. Бундай ярим ўтказгичларни «айниган» ҳолатга ўтган дейилиб, улардаги электрон ва тешиклар Ферми-Дирак тақсимотига итоат этади. Ярим ўтказгичлардаги электрон ва тешикларнинг концентрацияси  $10^{24} \text{ м}^{-3}$  дан ортиб кетмаса, уларга Максвелл-Больцман тақсимоти қўлланилади. Бу тақсимотни Ферми-Дирак тақсимотининг хусусий холи деб қараш мумкин.

Қаттиқ жисмларда электронларнинг классик ва квант механикасидаги тақсимот қонуниятлари билан тўлароқ танишмоқ учун махсус манбаларга мурожаат этмоқ керак [61-67].

Ярим ўтказгичларда кузатиладиган кўпгина ходисаларнинг моҳиятини билмок учун электронларнинг энергиялар буйича таксимот функцияларини билиш керак бўлади.

Ярим ўтказгичга тушган ёруғлик квантлари энергиясининг ( $P$ ) маълум қисми ( $P_R$ ) қайтади. Бир қисми ( $P_G$ ) ярим ўтказгич ҳажмида ютилиб қолиш мумкин. Ёруғликнинг маълум қисми ундан ўтиб кетиши ( $P_I$ ) мумкин. У ҳолда

$$\frac{P_R}{P} + \frac{P_G}{P} + \frac{P_I}{P}$$

нисбатлар мос равишда қайтган, ютилган ва ўтиб кетган энергия қисмларига тўғри келади. Энергиянинг сакланиш қонунига асосан ҳар қандай тўлқин узунлигидаги ёруғлик учун

$$\frac{P_R}{P} + \frac{P_G}{P} + \frac{P_I}{P} = 1$$

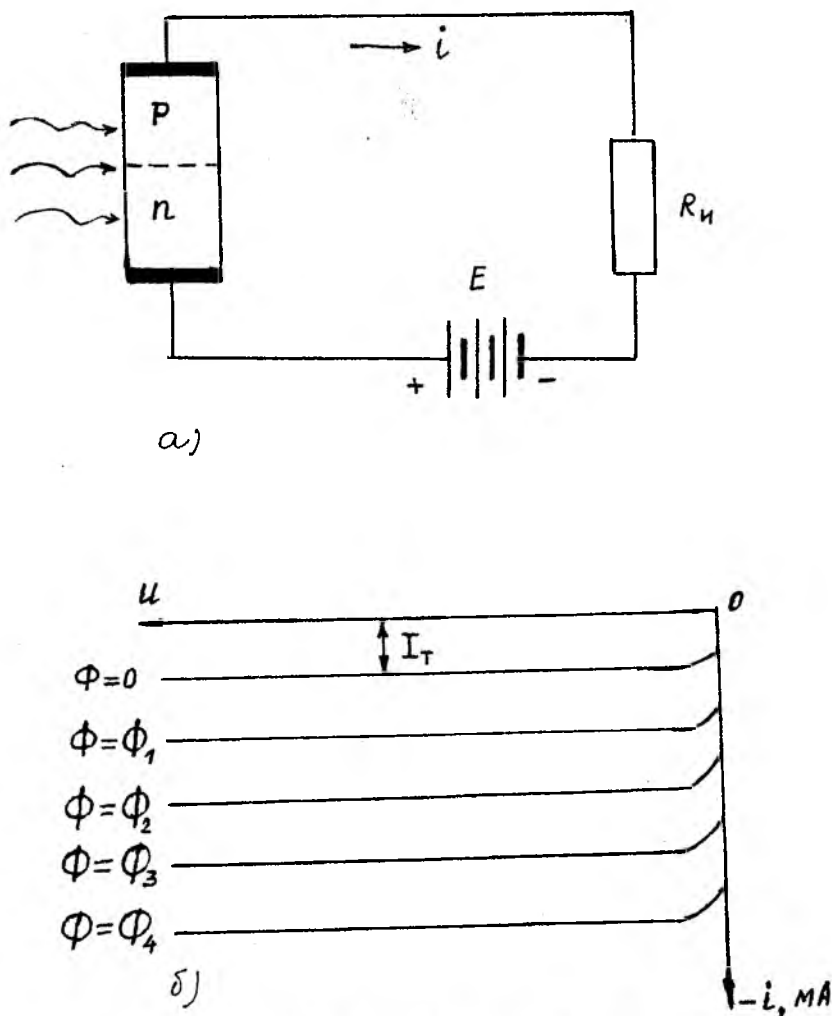
муносабат ўринли бўлади.

Агар ярим ўтказгичга ютилган ёруғлик энергияси ман қилинган зона кенглигига мос келувчи энергияга ( $\Delta E$ ) тенг ёки ундан катта бўлган ҳолларда валент зонадан (ва аралашмалар энергетик сатҳларидан) ўтказувчанлик зонасига электронларнинг ўтиши (ёки валент зонадан аралашмалар энергетик сатҳларига) натижасида ҳаракатчан электрон ва тешиқлар вужудга келади. Бу эса ярим ўтказгич ўтказувчанлигининг ортишига сабаб бўлади. Ярим ўтказгичларнинг бу хусусиятидан фойдаланиб энг содда фотоприёмник (ФП) лар ясалади. Ёритилганда ўтказувчанликнинг ўзгаришига асосланиб ишлайдиган ФП лар фоторезисторлар (ФР) ёки фотокаршилиқ (ФК) лар деб ҳам юритилади. Бундай ФР ларнинг асосий характеристикаси интеграл сезгирлиги бўлиб, у ёруғлик окимининг ўзгариши билан ФП қаршилигининг ўзгариш даражасини билдиради. ФР ларга ёруғлик тушмаган вақтдаги токи унга ёруғлик тушганда ортади. Токнинг бу орттирмаси фототок деб юритилади. ФР ларнинг ёруғлик тўлқинларини сеза олиш хусусияти, уларнинг спектрал сезгирлиги дейилади. ФР лар учун улар сеза оладиган ёки электр сигналлари ҳосил қиладиган энг кичик ёруғлик окими даражаси ҳам муҳимдир. Бу катталиқ «бўсага» сезгирликдир.

Ярим ўтказгичли ФП ларнинг деярли кўпчилиги электрон-тешиқли ( $n-p$ - ўтиш) ўтиш хоссаларига асослангандир.  $p-n$ - ўтиш ярим ўтказгич ўтказувчанлигининг бир турдан иккинчи турга ўтадиган қисми бўлиб, унинг бир томонида ( $n$ - тип) ўтказувчанлик асосан электронлар ҳисобига бўлса, иккинчи томонида ( $p$ - тип) эса тешиқлар ҳисобига бўлади.

Ярим ўтказгичда махсус усуллар билан  $n-p$ - ўтиш ҳосил қилинади. Агар  $n-p$ - ўтишли ярим ўтказгичга ёруғлик тушса,  $n-p$ - ўтишда содир бўладиган жараёнлар ҳисобига ёруғлик электр сигналига айланади. Бу

асосда ишлайдиган ФП ларни фотодиодлар (ФД) деб юритилади. ФД ларнинг иш фаолияти ёруғлик таъсирида  $n$ - $p$ - ўтишларнинг вольт-ампер характеристика (ВАХ) ларининг ўзгаришига асосланган (4-расм).



4-расм. ФД нинг уланниш схемаси (а), ВАХ (б).

Ярим ўтказгичлардаги электрон-тешикли ўтишларнинг жуда кўп ажойиб хусусиятлари бўлиб, улар асосида ҳар хил ФП лар ясалади (масалан, фототранзисторлар, фототиристорлар, фотоварикаплар, куёш элементлари ва бошқалар).

## Фотозлектр юритувчи куч

Ярим ўтаказгичнинг сиртига ёруғлик оқими тушса, ўша сиртга яқин жойларда кўшимча заряд ташувчилар пайдо бўлади. Бу кўшимча зарядлар сиртдан ярим ўтаказгич ичкарасига томон киришга ҳаракат қилади. Бунинг натижасида сиртда ва ярим ўтаказгич ичкарасида электронейтраллик бузилади. Ярим ўтаказгичларда нотекис ёритилиш натижасида ҳосил бўладиган электр майдон ҳажмий электр юритувчи кучи (ЭЮК), Дембер ЭЮК си деб юритилади. Дембер ЭЮК сиртдаги заряд ташувчилар концентрациясига боғлиқ бўлиб, уларнинг электрон ва тешикларининг ҳаракатчанлиги тенг бўлмаслиги шартдир.

Дембер фото ЭЮК си фотодиффузион эффект натижаси бўлиб, у ёритилган ва ёритилмаган сиртлар орасидаги потенциаллар фарқига тенг. Ёруғлик фақат ярим ўтаказгич сирти яқинида заряд ташувчилар ҳосил қилади. Улар заряд ташувчиларнинг концентрацияси оз бўлган ҳажмга диффузияланади. Электрон ва тешикларнинг ҳаракатчанлиги ҳар хиллиги туфайли диффузия жараёнида ярим ўтаказгичнинг турли соҳаларида концентрациянинг градиентини вужудга келтиради. Фото ЭЮК нинг ҳосил бўлишининг асосий сабабчиси ана шундадир. Ҳақиқатдан ҳам ярим ўтаказгич сиртига ёруғлик тушса, унда заряд ташувчиларнинг тақсимоли бузилади. Натижада концентрация градиенти вужудга келади. Агар ёритилган сирт олдида мусбат зарядлар манфий зарядга нисбатан кўпайса, бу соҳада мусбат, ярим ўтаказгичнинг ўша сиртидан ичкари соҳаси эса манфий зарядланиб қолади. Бу эса ярим ўтаказгичда ҳажмий электр майдони вужудга келтиради. Ярим ўтаказгичларда бир текис ёритилмаслик натижасида ҳосил бўладиган ҳажмий электр майдони келтириб чиқарадиган фото ЭЮК Дембер ЭЮК сидир. Унинг қиймати ярим ўтаказгичнинг параметрлари билан боғлиқ. Ярим ўтаказгичдаги тўла ток электрон ва тешикларнинг диффузион ҳамда майдон таъсиридаги ҳосил бўладиган «дрейф» тоқларидан иборат бўлади. Бир ўлчовли ҳол учун тўла ток ифодасини ёзмаз:

$$j = q \left[ (u_n n + u_p p) E + D_n \frac{dn}{dx} - D_p \frac{dp}{dx} \right].$$

Бу ифодани ташки занжир очик ( $j = 0$ ) бўлган ҳол учун ёзиб,  $E$  га нисбатан ечсак, қуйидаги ифода ҳосил бўлади:

$$E = \frac{kT}{q} \frac{u_n \frac{dn}{dx} - u_p \frac{dp}{dx}}{u_n \cdot n_p + u_p \cdot p}.$$

Фото ЭЮК ни эса  $\varepsilon = \int_{x_1}^{x_2} E dx$  дан топамиз. Хусусий ҳолда  $p = n$ ,  $\frac{dn}{dx} = \frac{dp}{dx}$  деб

олсак,

$$\varepsilon = \int_{n_1}^{n_2} \frac{kT}{q} \frac{u_n - u_p}{u_n + u_p} d \ln n,$$

бундан

$$\varepsilon = \frac{kT}{q} \frac{u_n - u_p}{u_n + u_p} \ln \frac{n_2}{n_1},$$

бунда  $n_1$  ва  $n_2$  лар ярим ўтказгичнинг ёритилган ва ёритилмаган томонларидаги заряд ташувчиларнинг концентрацияси. Бу ифодадан кўринадики, фото ЭЮК ҳосил бўлиши учун электрон ва тешикларнинг ҳаракатчанлиги бир-бирига тенг бўлмаслиги керак. Агар ёруғлик таъсирида фақат бир хил типдаги заряд ташувчилар ҳосил бўлса, ЭЮК ифодаси соддалашиб куйидаги кўринишни олади:

$$\varepsilon = \frac{kT}{q} \ln \frac{n_2}{n_1}.$$

Фотоприёмникларнинг интеграл сезгирлиги ва спектрал характеристикаси унинг қайси соҳада қўлланилиш чегарасини кўрсатади. Булар ўз навбатида ярим ўтказгичнинг фотосезгирлиги билан боғлиқ. Фоториёмникнинг интеграл сезгирлиги «к», қиска туташув токи  $j_{кт}$ , ёруғлик оқими  $\Phi$  билан боғлиқ,

$$K = \frac{j_{кт}}{\Phi}; \quad j_{кт} = \frac{K\Phi}{R_k \left( \frac{1}{R_{p-n}} + \frac{1}{R_m} \right) + 1}.$$

Фотоприёмникнинг « $R_k$ » кетма-кет қаршилиги бўлиб, у  $p-n$  ўтишнинг ( $R_{p-n}$ ) ва шунт қаршиликлари ( $R_m$ ) қараганда етарли кичик бўлган ҳолларда

$$j_{кт} = k\Phi$$

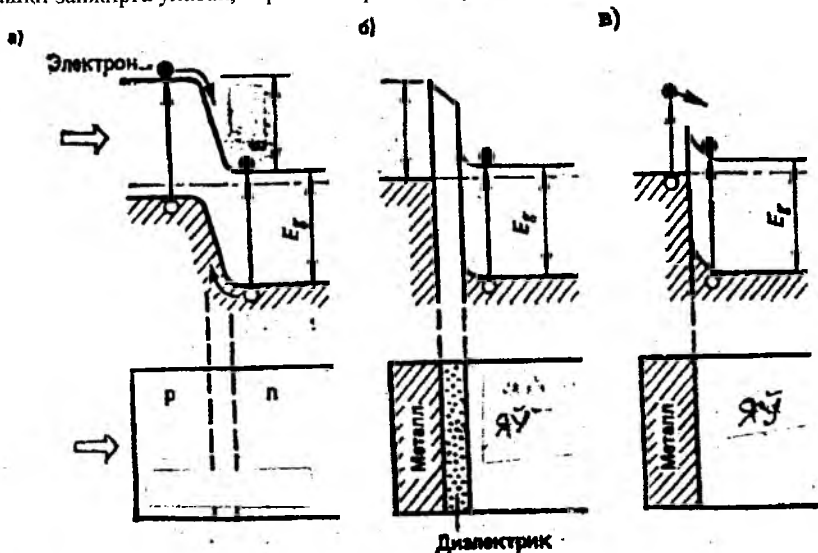
чизикли боғланиш бажарилади. Ташки қаршилик уланиши билан ёруғлик интенсивлигининг ўсишига боғлиқ равишда чизикли боғланишнинг бузилиши кузатилиб, ташки қаршиликнинг роли орта боради.

Ярим ўтказгичнинг  $p-n$  ўтишларида ҳосил бўладиган фото ЭЮК фотовольтаик эффектнинг натижаси бўлиб, ярим ўтказгичларнинг бир жинсли легирланмаган соҳаларида ёки уларнинг ҳар хил типлари контактида зарядларнинг ёруғлик таъсирида ажралишидан келиб чиқади.

Ярим ўтказгичларда қандайдир йўл билан  $p-n$  ўтишлар (потенциал тўсиқлар) ҳосил қилинган бўлса, ёруғлик ярим ўтказгичда ютилиши натижасида электрон-тешик жуфтлари ҳосил бўлади. Бу жуфтлар  $p-n$  ўтишга яқин борганда майдон таъсирида ажралади. Ҳосил бўлган

жуфтларнинг соии ярим ўтказгич ичкарисига қараб экспоненциал камайиб боради.

Электрон-тешик жуфти  $p$ - $n$ - ўтишда ажралиш натижасида электронлар  $n$ - сохага, тешиклар эса  $p$ - сохага ўтиб, тўплана бошлайди. Бу жараёнлар  $p$ - $n$ - ўтишда фото-ЭЮК нинг ҳосил бўлишига олиб келади. Агар ташки занжирга уласак, берк занжирдан ток ўта бошлайди (5-расм).



5-расм. Фотовольтаик эффект механизми.

Тургун ҳолатда  $p$ - $n$ - ўтиш орқали ўтадиган умумий ток нолга тенг бўлиб, «вентил» режим учун фото ЭЮК ифодасини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\varepsilon = \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{I_\Phi}{I_S} + 1 \right).$$

Умумий ҳолда,  $p$ - $n$ - ўтиш бирорта ташки занжирга уланиб, занжир берк бўлса, бу ҳол учун  $n$ - $p$ - ўтишли фотодиод умумий тенгламаси ўринли бўлиб,

$$I_\Phi - I_S \left( e^{\frac{q\varepsilon}{kT}} - 1 \right) = I,$$

бу ифодадан занжирнинг берк бўлган ҳолатига тўғри келувчи ЭЮК ифодасини келтириб чиқарилади.



$$\varepsilon = \frac{kT}{q} \ln \left( 1 + \frac{I_{\Phi} - I}{I_s} \right).$$

Магнит майдонида жойлашган ярим ўтказгичларда фотоэлектромагнит эффект вужудга келади. Бу ҳолда ёруғлик таъсирида туғилган зарядлар концентрациясининг ўзгариши магнит майдонининг таъсирида амалга ошади.

Холл фото ЭЮК ҳамда АФМ ЭЮК лар фотоэлектромагнит эффекти натижасидир.

Ёруғлик энергиясини тўғридан-тўғри электр энергиясига айлантирувчи фотодатчикларнинг ҳаммаси юкорида баён қилинган эффектлар асосида ишлайди.

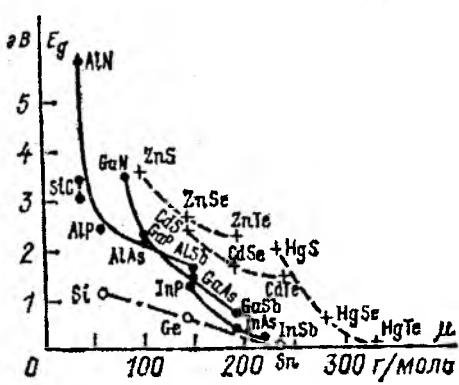
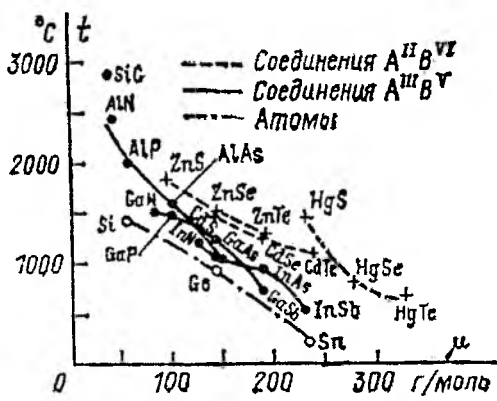
### Ярим ўтказгичли бирикмалар

Фотоприёмниклар (ФП) асосан ярим ўтказгич бирикмалардан ясаллади. Ярим ўтказгич характеридаги хусусиятни ўзида мужассамлаштирган икки ва ундан ортиқ элементларнинг махсус аралашмаси ярим ўтказгич бирикмалар (ЯЎБ) деб юритилади. Масалан,  $A^{III} B^V$  типидagi ЯЎБ. Улар учинчи ва бешинчи группа элементларининг бирикмаси ҳисобланади. Бу тип ЯЎБ ларнинг типик вакиллари арсенид галлий ( $GaAs$ ), фосфид галлий ( $GaP$ ), индий фосфид ва бошқалар. Ярим ўтказгич асбоблар яашда яна  $A^{II} B^{VI}$  типдagi ЯЎБ лардаи ҳам кенг фойдаланилади. Уларга мисол қилиб, теллурид кадмий ( $CdTe$ ), кадмий селен ( $CdSe$ ) ва бошқаларни келтириш мумкин ( $ZnSe$ ,  $ZnS$ ,  $HgTe$ ).

$A^{III} B^V$  типидagi ЯЎБ ларда кристалл панжара тузилиши тўғри тетраэдр (цинковой блеск) структурада бўлади.

Даврий системанинг тўртинчи группасидagi ярим ўтказгичларга мансуб элементларнинг атомлари кристалл панжара (КП) да ковалент боғланишда бўлади. Лекин ҳар хил группа элементларидан ташкил топган ЯЎБ даги атомлар орасида ион характердаги кучли боғланиш вужудга келади. Бунга сабаб бу элементларнинг атомларини ташки электрон қобикларидаги электронлар сонининг ҳар хиллиги бўлса керак.

Шуни ҳам таъкидлаш керакки,  $A^{III} B^V$  тип ЯЎБ ларда ион характердаги боғланиш  $A^{II} B^{IV}$  тип ЯЎБ лардан кучлироқ бўлади. Ҳар бир ЯЎБ ларда моляр массанинг ортиши билан атомларининг ўлчамлари ҳам ортиши кузатилади. Бунинг натижасида панжара доимийси ортиб, боғланиш энергиясини камайтиради. Табиийки, ЯЎБ нинг бундан сўнг тақикланган зонаси кенглиги ортади. Агарда ЯЎБ лардagi элементларнинг моляр массаси бир хил бўлса ( $A^{III} B^V$  ва  $A^{II} B^{IV}$  ларда) ион боғланиш кучайиб, унинг энергияси ортади. Бу эса ЯЎБ ларнинг эриш ҳароратининг ва тақикланган зонаси кенглигининг ортишига олиб келади (6-расм).



6-расм. Ярим ўтказгич бирикмаларнинг эриш харорати ва таъкиланган зонаси кенглигининг моляр массага боғлиқлик қонунияти.

Ўтказувчанлик зонасининг тубида тўлқин сонини  $K=0$  бўлган ярим ўтказгичлар (ЯЎ) хусусий ўтказувчанликка эга бўлади. Бу хусусиятга эга эмаслари ҳаммаси аралашмالي ЯЎБ ёки ёт элементлар киритилган ЯЎ лар группасига киради. Хусусий ўтказувчанлик (ХЎ) га эга бўлган ЯЎБ ларда электронлар харакатчанлиги юкори бўлади. ХЎ га эга бўлган арсенид галлий ЯЎБ да электронлар харакатчанлиги хақиқатан ҳам юкорилиги кузатилган. ЯЎБ лар таркибидаги элементлар сонини ўзгартириб, керакли тўлқин узунлик берадиган юкори фотоэлектрик хусусиятларга эга бўлган кўп таркибли ЯЎБ лар олиш технологияси ишлаб чиқилган. Кўп таркибли ЯЎБ лардаги элементлар атомларининг бирикиш жараёнинин бошқариш

Йўли билан КР доимийсини истаган чегарада ўзгартириб, зона тузилишини керакли кўринишга келтириш мумкин.

Бу эса ЯЎБ даги элементларни танлаш билан исталган максатда ишлатиш мумкин бўлган ФП лар ва бошқа ЯЎ асбобларни ясада ишлатиладиган янги типдаги моддалар синфини яратиш мумкинлигини кўрсатади.

## Аморф моддалар

Кристалларда атом ва молекулалар унинг уччала ўлчамларида маълум тартиб билан жойлашган бўлади. Бундай тартибли жойлашиш аморф моддаларда бўлмайди. Аморф моддалар суюқ ва газ ҳолатидаги моддани тез совутиш йўли билан олинади. Аморф моддаларни ишлаб чиқариш технологияси нисбатан содда, таннархи эса анча арзондир. Аморф моддаларда атом ва молекулаларнинг тартибсиз жойлашганлиги сабабли улардаги электрон сатҳлар структураси ҳам кристалл ЯЎ ларникидан фарқ килади. Бу фарқ унча катта бўлмаганлиги сабабли энергетик зоналари бир-бирига ўхшайди. Фақат аралашма атомларига мос келувчи (локал) сатҳлар билан фарқланади. Аморф ЯЎ лар орасида олимлар фикрини ўзига жалб этган материал аморф кремнийдир. У кенг ютилиш спектрига эга бўлганлиги ва арзонлиги учун куёш батареялари (ҚБ) ясада қўлланилади. Аморф кремний юкори фото ўтказувчанликка эга бўлганлиги учун электрофотографияда ишлатилади. Бунинг учун металл пластинка устига аморф кремнийнинг юпка қатлами ҳосил қилинади. Электр майдони берилса пластинка манфий, кремний қатлами мусбат зарядланиб қолади. Бу структурага ёруғлик тушса, электрон-тешик жуфтларини ҳосил килади. Улар структуранинг ёруғлик тушган жойларидаги зарядларни нейтраллайди.

Олтингугурт, селен ва теллур халькогенидларидан олинган аморф ЯЎ лар коммутацион занжирларда хотира элементларида қўлланилмоқда. Ҳозирда аморф гетероўтишли структуралар кенг ўрганилмоқда (химиявий тузилиши бўйича фарқ қилувчи иккита ЯЎ материал контакти гетероўтиш деб юритилади. Гетероўтишлар системасини гетероструктура деб аташ одат бўлган). Чунки, улардан видео техникада фойдаланиш мумкин. Масалан, селен, мишьяк ва теллур ЯЎБ сининг аморф материалдан узатувчи телевизион трубкаларнинг электрон дастани қабул қилувчи нишонлари (сатикон) ясалади.

Аморф магнит материаллар ҳам кенг қўлланишларга эга. Механик муштақамлиги ва юкори магнит киритувчанликка эгаллиги туфайли махсус пўлатларни ва пермаллой материалларни ўрнида ишлатилмоқда. Кадмий, кобальт бирикмаларининг юпка қатламларини цилиндрик магнит доменларидаги хотира элементида ишлатиш мумкин.

## Дисплей нима?

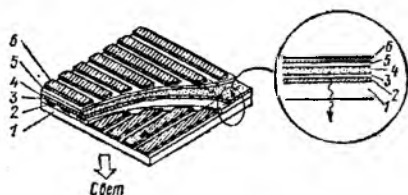
ЭХМ ларига маълумотларни (ёки ахборотларни) киртишда ёки ундан маълумотларни олишда кўп ҳолларда кўзимиз ёрдамида (ёки кўриш органи воситасида) бу вазифани бажарамиз.

Кўриш ёрдамида маълумотларни ўзлаштиришга (қабул қилишга, идрок этишга) имкон берувчи қурилма дисплей деб юритилади. У ЭХМ билан одам ўргасидаги маълумот алмашиш жараёнидаги асосий воситачи қурол бўлиб хизмат қилади.

Улар юкори тезкорлик билан тасвирнинг енгил ва тез идрок қилинишини таъминлашлари керак. Маълумотлар исталган кўринишда ифодаланиши ва енгил янгиланиши зарур. Дисплейларни ишлатиш қулай, ишончли бўлиши билан бирга ЭХМ билан одам орасида эффектив мулоқотни таъминлаши керак. Бу талабларни фақат электроникагина амалга оширмай, эргономик текширишлар (кишининг иш қобилияти билан боғлиқ факторлар) ҳам олиб бориш зарур бўлади.

Ишлаш принципи бўйича дисплейлар актив ва пасив бўлади. Актив дисплейларда ёруғлик сочиш ҳар хил физик ходислар асосида амалга ошади. Пасив дисплейлар ташки ёруғлик манбасининг нурланишини ўзларидан ўтказиш ва қайтариш ҳисобига ишлайди.

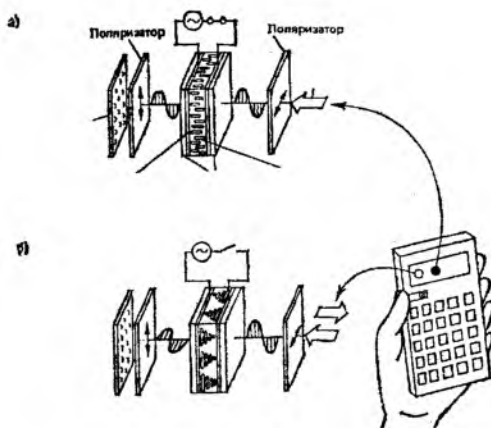
Актив дисплейларга люминесцент дисплейлар ва ёруғлик диоди матрицаларини мисол қилиш мумкин (7-расм).



7-расм. Электролюминесцент дисплей. 1-шиша пластинка; 2-шаффоф электрод; 3-диэлектрик ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ); 4-актив катлам; 5-диэлектрик ( $\text{Y}_2\text{O}_3$ ); 6-электрод (А  $\ell$ ).

Пасив дисплейлар асосан суюқ кристаллардан ясалиб, жуда кичкина ток ва кучланишларда ишлайди. Ўлчамларини жуда кичкина ва енгил қилиш мумкинлиги туфайли, улар микрокалькуляторларда, соатларда кенг қўлланилади (8-расм).

Пасив дисплейларнинг электрохром тури ҳам мавжуд бўлиб, уларнинг иши электрохимиявий реакцияларда ишчи моддада бўладиган қайтувчан жараёнларга асосланган. Бу дисплейларда тасвирнинг аниқлиги кузатиш йўналишига боғлиқ бўлмайди.



8-расм. Пассив дисплей: а-ёругликнинг ютилиш; б-ёругликнинг қайтиши.

## Суюқ кристаллар

Суюқ кристаллар (СК) юқорида эслатганимиздек, электрон техниканинг жуда кўп соҳаларида ишлатилади. СК лар оқувчанликда суюкликларни эслатса, молекулаларининг маълум геометрия бўйича тартибли жойлашиши каттик жисм (КЖ) лардаги кристалл панжара тузилишини кўрсатади.

Баъзи моддалар СК ларга хос хусусиятларни маълум ҳарорат оралиғида намоён қилади. Бундай СК моддалар термотроп СК деб юритилади. СК ларга хос хусусиятлар баъзи моддаларда эритма ҳолатида намоён бўлади. Бундай моддалар лиотроп СК деб аталади. Ҳозиргача ўрганилган СК моддаларни уч турга ажратиш мумкин (9-расм).



9-расм. Суюқ кристалларда молекулаларнинг жойлашуви: а-нематик СК; б-сметтик СК; в-холестерик СК.

Биринчи турга нематиклар дейилиб, уларнинг тузилишида (структураси) характерли томони шундаки, молекулаларининг масса марказлари ихтиёрий (тартибсиз) жойлашади, лекин ҳамма молекулалар битта ўқ йўналишида тортилган бўлади.

Иккинчи тур СК ларда молекулалар бир ўк бўйлаб тортилиши билан бирга уларнинг масса марказлари аниқ бир текисликка тегишли бўлади. Молекулаларнинг ўша текисликда жойлашишига келсак ихтиёрий бўлади. Бундай СК турига смектиklar деб юритилади.

Учинчи тур СК да молекулалар паралелл текисликларда жойлашади ва ўша текисликда маълум ўк бўйлаб тортилган бўлади. Бир паралелл текисликдан иккинчисига ўтишида ўклари ўзаро бир хил бурчакка бурилган бўлади. Бундай СК лар холестериклар деб аталади. СК ларнинг молекулалари одатда узунчоқ цилиндр шаклларида бўлиб, ўлчамлари ками билан 1,3-1,4 Нм (13-14А°) бўлади.

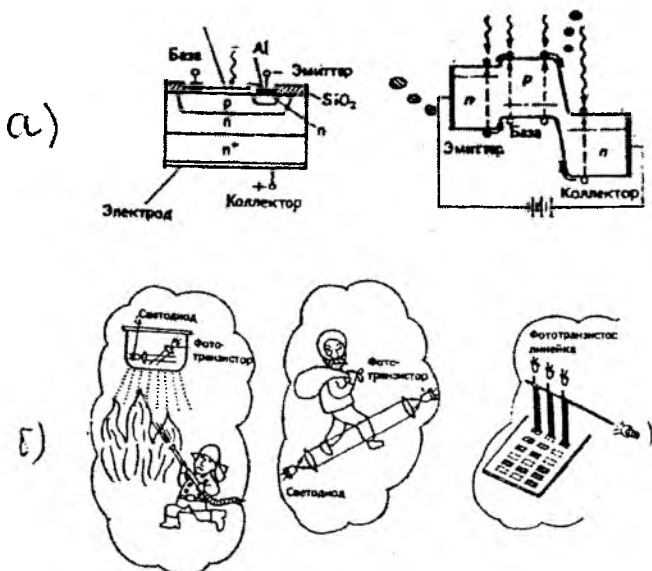
СК ларда кузатиладиган асосий хусусият уларнинг (молекулалари) структураси ташки таъсир натижасида тез ва енгил ўзгаради. Яна бир ажойиб хусусияти структурасидаги тартиблилик билан боғлиқ бўлиб, бу хусусият электр, магнит ва оптик анизотропияни келтириб чиқаради.

Бу икки ўзига хос хислати туфайли СК физик хусусиятларини кам энергия сарфлаб, кичик электр кучланишларда ўзгартириш мумкинлиги сабабидан уларни оптик ўзгартиргичларда қўлланилади.

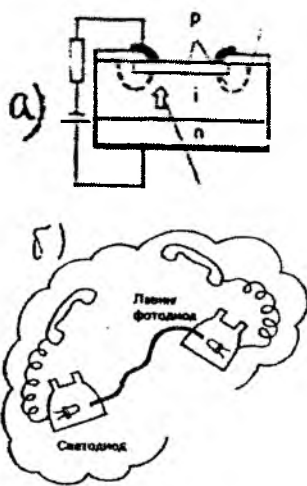
СК лар ўзига тушаётган ёруғликнинг кутбланишини ўзгаришига боғлиқ равишда ранг ўзгартирувчи индикаторларда, СК ли дисплей системаларида қўлланилади. СК лар фойдаланилган индикаторларда ёруғликнинг қайтиши ва сочилишдан фойдаланиб, ажойиб асбоблар ясалган (микрокалькуляторлар, соатлар, автомобилларнинг асбоб панеллари, стереокучайтиргичнинг чегараловчи блоклари ва х.о.).

## Фототранзистор

Фототранзистор (ФТ) лар *n-p-n* ёки *p-n-p* структурада ясалади. Фототокни оддий транзисторлар каби кучайтиради. Эмиттер ўтишига тўғри, коллектор ўтишига эса тескари йўналишда кучланиш кўйилади. Базага кучланиш берилмайди. Нурланиш таъсирида ҳосил бўлган электрон-тешик жуфтларининг тешиклари базада йиғилади. Электронлар эмиттер ёки коллекторга ўтади. Базадаги мусбат потенциалнинг ортиши эмиттердан электронларнинг базага киришига (инжекция) олиб келади. Натижада, фототок ортади. Кучайтириш, коэффициентини  $10\text{-}10^3$  га тенг бўлган германий ва кремнийдан ясалган ФТ лар ҳар хил электрон қурилмаларда ишлатилмоқда (10-расм). Бу ФТ лар одатда (бир неча ўн) килогерцларда ишлайди. Ишчи частотаси юкори бўлган ФТ лар яшаш учун канал эффектли ФТ лардан фойдаланилмоқда. Толали оптик алоқа системасида ФТ лар билан биргаликда бир қаторда юкори узатувчанлик қобилиятига эга бўлган «лавин» фотодиодлар ҳам ишлатилади (11-расм).



10-рasm. Фототранзисторнинг тузилиши ва ишлaш принципи (а). Фототранзистор асосида яратилган оптоэлектрон қурилмалар (б)

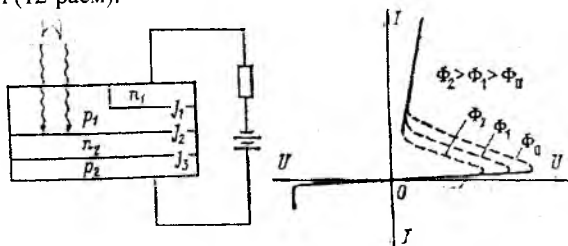


11-рasm. «Лавини» фотодиод (а), уни оптик алоқада фойдаланиш схемаси (б).

## Фототиристор

Тиристорлар тўртта ва ундан ортик электрон-тешик ўтишлардан иборат структурали бўлиб, узиб-улаш вазифасини бажарувчи элемент сифатида ишлатилади. Тиристорнинг ички қатламларига кучланиш берилса электр занжирига ток уланишини таъминлаши мумкин. Фототиристор структураси тиристорникидек бўлади. Вольт-ампер характеристикалари ҳам бир хил бўлиб, у ёруғлик таъсирида ишга тушади. Одагда бу асбоб бошқарилувчи ёруғлик оқими таъсирида ишлаб, катта токли электр занжирларини бошқаришда қулайлик туғдиради.

Унинг тезкорлиги юқори бўлиб, ёруғлик тушиши билан 1 мкс атрофида ишга тушини мумкин. Шу сабабли ЭХМ ларида, хотира элементларида ишлатилади. Ёнғиннинг олдини олишда қўлланиладиган электрон қурилмаларнинг асосий элементи (датчиги) сифатида ҳам ишлатилади (12-расм).



12-расм. Фототиристорнинг тузилиши ва вольт-ампер характеристикаси.  $\Phi$ —ёруғлик оқими; штрих чизик—манфий қарниликли қисм.

Фототиристор схемасидаги  $J_1$  ва  $J_2$  ўтишларга қўйилган тўғри кучланиш,  $J_2$  ўтишда тесқари кучланиш ҳосил қилади. Фототиристор занжиридан ток ўтмайди. Агар  $J_2$  ўтишга ёруғлик тушса, электрон-тешик жуфтлари ҳосил бўлиб, улар ўтиш майдонида ажралади. Натижада,  $J_2$  ўтишдаги тесқари уланиш, тўғрисиға алмашади. Ток фототиристорда ортиб, занжирнинг уланиш вазиятиға ўтишиға сабаб бўлади.

Ёруғлик оқимининг ортиши билан ишга тушириш кучланиши камай боради. Ёруғлик тушиши билан асбоб бирданиға ишга тушади, лекин ёруғлик тўхтатилганда асбоб ишчи ҳолатда қолаверади. Фототиристорни ёруғлик тушмаган вазиятдаги ҳолатиға қайтариш учун кучланишни камайтирувчи қўшимча занжир қўлланилади. Ўзгарувчан ток занжирларида уларға эҳтиёж қолмайди.

Фототиристорларнинг бошқарилувчи ёруғлик манбаси сифатида арсенид-галлийли ёруғлик диодлари ва лазерлари қўлланилади. Бу мақсадда оддий чўгланма лампалардан фойдаланса ҳам бўлади. Ҳозирги вақтда ҳар хил мақсадларда ишлатилувчи фототиристорли оптронларнинг бозори чаккон.



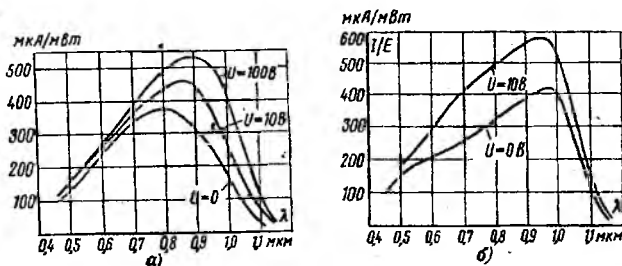
Фототиристорли фотоприёмниклар электр занжиридаги қувватни бошқариш билан бирга манфий каршиликли ёруғлик диодларидаги нурланишни ҳам бошқара олади. Бундай асбобларни оптик триггер, ёруғлик кучайтиригчи ва инфра қизил (ИК)-нурланишни қуринадиган нурга айлантирувчи функционал элемент сифатида ҳам ишлатиш мумкин.

### Фотодатчиклар

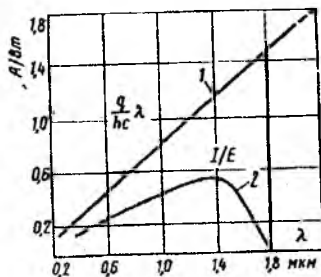
Фотодатчиклар ёрдамида ёруғлик катталиклари электр катталикларига айлантирилади. Айлантириш жараёнида ҳар хил эффектлардан фойдаланилади. Бу эффектлар ЯЎ ларда ёруғлик таъсирида электрон ва тешиқларнинг ҳосил бўлиши билан боғлиқ бўлса, кўп ҳолларда электр сигналлари вужудга келишига сабаб бўлади. Чунки ёруғлик таъсирида ЯЎ ларда ҳосил бўладиган электрон ва тешиқларнинг ташқи занжир орқали ўтиши электр ўлчов асбоблари орқали қайд қилинади. Фотодатчикларнинг иш фаолияти асосан қуйидаги эффектларга боғлиқ:

1. Фотозлектрон эмиссия (ташқи фотоэффект);
2. Ички фотоэффект (фото ЭЮК, фотоўтказувчанлик);
3. Фотохимиявий реакциялар;
4. Пирозлектрик эффект.

Ҳозирги вақтда бу эффектлар билан бир қаторда параметрик эффект, Джозефсон эффектлари инфра қизил нурлар детекторларида фойдаланилмоқда.



13-расм. Кремнийдан ясалган фотодатчикнинг спектрал харақтеристикаси. а-ёт атомлар киритилмаган; б-аралашма атомлари мавжуд.



14-расм. Германиядан ясалган фотодатчик спектрал характеристикаси. 1-идеал фотодатчик; 2-реал фотодатчик.

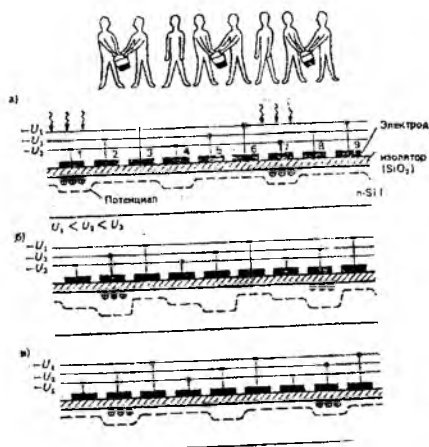
Оптик датчикларнинг асосий характеристикаси спектрал сезгирлигидир. Материалларнинг сезгирлиги ёруклик тўлқин узунлигига боғлиқ (13, 14-расмлар). Шу сабабли, фотодатчик учун материал ташлашда аниқ тўлқин узунлиги белгиланади. Фотоэлектрик эффектлар фойдаланилганда уларнинг сезгирлиги модданинг зона тузилиши билан аниқланади. Пирозэлектрик эффектлар билан ишланганда сезгирлик чегараси кенгайди, натижада катта тўлқин сохаларида ҳам ишлаш имкони туғилади. Фотодатчиклар учун муҳим характеристикалардан бири ишга тушириш тезкорлигидир. Фотовольтаик эффектлар билан ишлайдиган фотодатчикларда бу кўрсаткич юқори бўлади. Бундай фотодатчиклар секунднинг миллиондан бир ва ундан кичика вақт улушларида ишга тушиши мумкин. Бу соҳада лавин фотодиодларни «мутлок» инертсиз дейиш мумкин. Фотодатчиклар учун остана сезгирлик ҳам муҳимдир. У фотодатчик сигнал ҳосил қилгандан сўнгги фойдали сигналнинг мумкин (йўл қўйиладиган) бўлган даражасини фойдасиз сигналга нисбати орқали аниқланади. Остана сезгирлик фотодатчиклар ичида фотоэлектрон кучайтиргичларда юқори 13, 14-расм.

Фотодатчикларнинг махсус турлари ёрдамида рангни ҳам ажратиш ва уларнинг тўлқин узунликларини аниқлаш мумкин.

Бундай ранг фотодатчикларининг энг соддаси қуйидагича ишлайди. Битта кремний пластинкасига спектрал характеристикаси ҳар хил бўлган фотодиод жойлаштирилади. Бу пластина электр занжирига уланганда ток кучи ва йўналишга боғлиқ равишда ранг ажратади. Икки ўлчамли фотодатчиклар кенг қўлланишга эга бўлиб, ясси сиртларда ёритилганликни анализ қилиш билан ясси тасвирларни ўрганиш имконини беради. Зарядли боғланиш асосида ишлайдиган қаттиқ жисмли тасвир ўзгартиргичлар ёрдамида узатувчи телевизион трубкалар алмаштирилмоқда. Уларнинг ўлчамлари кичик бўлганлигидан кам энергия сарфлайди. Таннархи паст бўлиши билан бирга, ишлаш муддатлари каттадир. Бу асбоблар инфра қизил (тасвир) нурлар фотодатчиклари сифатида геологик кидирувда, медицинада ва метеорологик кузатишларда қўлланилмоқда.

## Заряд боғланишли асбоблар

Ярим ўтказгич ичида ҳосил килинган потенциал ўраларда ёруғлик таъсирида туғилган зарядлар тўйланади. Бу ярим ўтказгичларга ташқи майдон электр кучланиши кўйилса, уларнинг потенциал ўралари ўз шакл ва кўринишини ўзгартиради. Натижада, потенциал ўралардаги тўпланган зарядлар ярим ўтказгич сирти бўйлаб ҳаракат қилишга мажбур бўлади. Потенциал ўраларнинг ўзгарган шакл ва кўринишлари зарядларнинг сиртга чиқиб ҳаракат қилишига имконият яратади. Бундай ҳодисаларга асосланган асбоблар синфи заряд боғланишли асбоблар деб юритилади (ПЗС) (15-расм).



15-расм. Заряд боғланишли асбобларнинг ишлаш принципи.

а-(1) контактга қўйилган юқори манфий кучланиш таъсирида потенциал ўрада «тешик» лар тўланади;

б-(2) контактга қўйилган юқори манфий кучланиш потенциал ўранинг ўнга томонга қараб чуқурлашишига олиб келади. Натижада «тешик» лар ўша томонга ўтиб олади;

в-потенциал ўранинг конфигурацияси ўзгаради, яъни дастлабки ҳолатга ўлади.

Бу жараён қайтадан такрорланади. Такрорланиш даврида заряд кетма-кет силжиб вақт бўйича ўзгарувчи сигнални беради.

Тасвирни ўзгарувчан электр сигналга айланттирувчи вакуум асбобларда тасвир ҳар бир алмашиш такти оралиғида ҳажмий заряд кўринишида сақланади. Видиконлар пайдо бўлиши билан тасвирни хотирада сақловчи сезгир элементни вазифасини қаттиқ жисм ўз қўлига олди. Лекин, тасвирни кўринадиган экранда тиклаш вазифасини ҳамон электрон нур бажарар эди.

Заряд боғланишли асбоблар қўлланилганда тасвирни хотирада сақловчи ва уни экранда тиклаш вазифалари битта сезгир ярим ўтказгич

каттик элементида бажарилади. Бундай асбоблар жуда кўп ижобий сифатларга эга. Уларни кичик ўлчамларда яшаш мумкин. Шу сабабли кам энергия сарфлайди. Тасвирларнинг аниқлиги ортади. Қолдик тасвир деб аталувчи фойдасиз сигналлар йўқолади.

Бундай асбоблар тузилиши МОП- структурали диодларни эслатади. Бундай диодга тескари йўналишда кучланиш қўйилса, эркин зарядларга тансик бўлган қатлам ( $n-Si$ ) ҳосил бўлади. Ярим ўтказгич сиртида эркин ҳаракатланувчи зарядлар бўлмайди. Бу қатлам потенциал ўра (ҳисобланиб) вазифасини ўтаб, ёруғлик таъсирида туғилган асосий бўлмаган ток ташувчиларни ўзида тўплаш хусусиятига эга. Бошқарувчи электродларга уч фазали кучланиш сигнали берилиб, зарядларни узатиш (ўтказиш) жараёни амалга оширилади. Дастлаб, потенциал ўраларда 1 контактдаги манфий потенциал таъсирида тешиқлар тўпланади.

Агар 2 контактга катта манфий потенциал қўйилса, бу контакт томонда потенциал ўра чуқурлашиб, ўша томонга тешиқлар кўчатилади. Потенциал ўра шакли ўзагаради. Ундан сўнг кейинги даврий ўзгариш бошланади. Ҳар бир даврий такрорланиш жараёнида зарядлар кетма-кет силжийди ва бу ўзгариш вақт бўйича ўзгарувчи сигнал сифатида идрок этилади.

Сирт – канал типдаги заряд боғланишли асбобларда потенциал ўралар асосан ярим ўтказгич сиртида ҳосил бўлганлиги учун ярим ўтказгич сиртидаги дефектлар йўқотилиши керак. Акс ҳолда зарядлар бу дефектлар майдонида тамоман йўқолиши (нейтрал ҳолатга ўтиши) мумкин. Бундан қутулиш мақсадида чуқур каналли заряд боғланишли асбоблар кенг қўлланилмоқда, чунки уларда зарядларнинг кўчиши ярим ўтказгич сиртида эмас ичкарасида (ҳажмида) содир бўлади. Агарда ёритилмиш ва унинг кайд қилиш бир вақтда кечса зарядлар кўчиши қатор бўйлаб юз беради. Ёритилиш ва унинг кайд этилиши вақт бўйича ажратилган (ҳар хил вақт дақиқаларида) бўлса, зарядлар кўчиши қатор бўйича юз беради. Бу типдаги асбоблар телевизион трубкалардагина эмас, хотира қурилмаларида, сигналларни қайта ишлаш системаларида ҳам қўлланилмоқда 15-расм.

## Куёш элементлари

Инсониятнинг энг муҳим ва долзарб муаммоларидан бири жуда катта миқдордаги куёшдан келаётган нурланиш энергиясидан максимал ҳамда самарали фойдаланиш масаласидир. Куёш нурланишининг кески тўлқинли қисми, асосан Ер атмосферасида ютилиб қолади. Ер сиртига эса узун тўлқинли қисми етиб келади.

Куёш энергиясидан фойдаланишнинг жуда ҳам кўп усуллари мавжуд бўлиб, булардан энг самаралиси унинг нурланиш энергиясини тўғридан тўғри электр энергиясига айлантириб ишлатишдир. Бундай вазифани ярим ўтказгичли куёш элементи бажаради. Бошқа усулларга нисбатан куёш элементларининг нурланиш энергиясини электр энергиясига

айлантиришдаги фойдали иш коэффициенти (ФИК) энг катта бўлган курилма ҳисобланади. Куёш элементлари генератор типдаги фотоэлементлар (фотоэлектрик генератор) энг кўп тарқалган вакили бўлиб, кенг қўлланилишга эга. Ярим ўтказгичли куёш элементларини электр манбаси сифатида ишлатишда куёшдан келаётган нурланишнинг спектрал таркибини билиш масаланинг асосий томонларидан бири бўлиб ҳисобланади. Шунинг учун куёш элементларини тайёрлашда куёш спектрининг қайси қисмидан фойдаланиш юқори самара беришини билиш учун куёш элементи тайёрланадиган ярим ўтказгич материалнинг оптик ва электр хусусиятларини билиш зарур бўлади.

Шу билан бирга куёш нурланишининг спектрал таркибидаги тўлқин узунликлари бўйича энергия тақсимотини билган ҳолда ярим ўтказгич материали танлаб олинади. Ярим ўтказгич материалнинг куёш элементи ясаш учун зарур бўлган хусусиятларининг кўпчилиги ўша материалнинг ман қилинган зонаси кенглиги ( $\Delta E$ ) билан боғлиқ.

Маълумки, электрон-тешик жуфтини ҳосил қилиш учун энергияси  $\Delta E$  га тенг ёки ундан катта бўлган фотон ютилиши керак, яъни:

$$h\nu \geq \Delta E,$$

бунда  $\Delta E$  дан кичик энергияли фотонлар валент зонадан ўтказувчанлик зонасига электрон чиқара олмайди. Демак, тақиқланган зонаси кенглиги ва нурланиш таркибидаги фотонлар энергияси қийматларини мақсадга мувофиқ танлаш натижасида фотоннинг ортиқча энергияси иссиқликка айланишига ёки нурланиш спектрининг маълум қисмига тўғри келувчи энергиянинг бекорга сарф бўлиши олди олинади. Куёш элементидаги қисқа уланиш токини

$$j_{ky} = q(1-r)(1 - e^{-\alpha d}) \rho n_{\phi}(\Delta E)$$

кўринишида ёзсак бўлади. Бунда  $n_{\phi}(\Delta E)$  – энергияси  $h\nu \geq \Delta E$  тартибда бўлган куёш элементининг бирлик юзасига вақт бирлигида тушаётган фотонлар сонини билдиради. Нурланишнинг қайтиш, ютилиш ва рекомбинация туфайли йўқолишини ҳисобга олмасак, қисқа уланиш токи

$$j_{ky} = -qn_{\phi}(\Delta E)$$

кўринишида бўлади. Бундан кўриладики, қисқа уланиш токи энергияси,  $h\nu \geq \Delta E$  тартибда бўлган фотонлар энергиясига боғлиқ бўлар экан.  $\Delta E$  нинг ортиши билан  $n_{\phi}(\Delta E)$  камай боради, демак  $j_{ky}$  ҳам камайди.

Энди салт ишлаш режимини танлаб фото ЭЮК нинг  $\Delta E$  га қандай боғланганини кўриб чиқамиз. Салт ишлаш кучланиши (фото ЭЮК) куйидагича ифодаланади:

$$V = \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{j_{ky}}{j_s} + 1 \right).$$

Ёритилиш жуда кичик бўлмаса,  $\frac{J_{xy}}{J_s} \gg 1$  деб олса бўлади, у ҳолда

$$V = \frac{kT}{q} \ln \frac{J_{xy}}{J_s},$$

бунда тўйиниш токи  $J_s = j_0 e^{-\frac{qV}{kT}}$  кўринишида бўлади. Шунинг учун

$$V = \frac{\Delta E}{q} + \frac{kT}{q} \ln \frac{J_{xy}}{j_0}.$$

Ушбу ифоданининг тахлилига асосан куёш элементидан олинadиган қувват маълум  $\Delta E$  да максимумга эришади. Демак,  $\Delta E$  куёш элементининг ФИК га таъсир қилувчи параметрлардан бирidir.

Куёш элементлари тўпланиб, куёш батареялари (куёш электр станциялари) ясалади. Уларнинг ФИК билан куёш элементи ясалган ярим ўтказгич материалининг ман қилинган зонаси кенглиги орасидаги боғланишдан фойдаланиб, куёш элементи яшаи учун энг қулай бўлган ярим ўтказгичларнинг зона кенглиги  $\Delta E = 1,1-1,5$  эВ (қилиб танланиши мумкин) оралиғида бўлиши аниқланган.

Шу билан бирга Куёшдан келаётган нурларнинг Ер сиртига тушаётган қисмига тўғри келувчи энергиясининг 90% дан кўпи кўринадиган нурлар соҳасига тўғри келади.

Ер сиртининг бирлик юзасига тушаётган Куёш радиациясининг активлиги ва спектрал таркиби унинг атмосферадаги чанг, сув буглари, газ молекуллари ва ҳоказоларда ютилишига боғлиқ бўлади. Атмосфера асосан ультрабинафша спектрни камайтиради. Агар атмосферанинг бундай таъсирларини ҳисобга олмасак, ёки уни ҳисобга олмаслик даражада кичик десак, **GaAs** ва **CdTe** материаллари куёш элементлари тайёрлаш учун энг яхши ярим ўтказгичлар бўлади. Лекин атмосферанинг таъсири ортиши билан буларга караганда **Si** афзалроқ бўлиб қолади. Кремнийдан куёш батареяларини тайёрлаш технологияси яхши ўрганилган, унинг Ердаги захираси етарли кўп бўлганлиги учун куёш батареялари **Si** ярим ўтказгичидан тайёрланади. Фақат тақикланган зонаси ҳамда ютилиш коэффициентинигина ҳисобга олганда, **Si** куёш батареялари учун қулай материал ҳисобланмайди. Шу билан бирга тайёрлаш технологияси қийинлиги туфайли унинг таннархи ўта қимматга тушади. Айниқса монокристалл кремнийдан ясалган куёш элементларида ФИК юқори (16%) бўлишига қарамадан ишлаб чиқариш қиймати ўта юқори. Монокристалл **Si** ни ўстириш технологиясини такомиллаштириш йўли билан таннархни камайтиришга қаратилган илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Кейинги пайтларда аморф кремнийдан куёш элементлари тайёрлашга катта эътибор берилаяпти. чунки уни биринчидан арзон тагликларга (масалан, шишага)

ўстириш, ўтказиш мумкин бўлса, иккинчидан монокристалл Si га нисбатан таннархи анча паст.

Тайёрлаш технологияси содда ва шунга боғлиқ равишда таннархи ҳам паст бўлган, ҳамда қуёш спектрал соҳасида ютиш коэффициенти ўта юқори материаллардан қуёш элементлари ясашга алоҳида эътибор берилмоқда.  $Cu_2S$  ва  $CdS$  ларининг таркибига кирувчи химиявий элементларнинг табиий захираси етарли кўп бўлиб, бу ярим ўтказгичларнинг ҳам ман этилган зонаси, спектрал соҳаси қуёш элементлари ясаш учун қулай бўлганидан олимлар илгаридан бу материалларга (1954 йил) эътибор беришган. Назарий ҳисоблашларнинг кўрсатишича, амалда булардан ясалган қуёш элементларининг ФИК 15% га етиши мумкин.

Ярим ўтказгичлар қалин бўлса, ёруғлик ўзи тушаётган сиртнинг юпка катламида ютилгани учун унинг сиртдан етарли ичкарида жойлашган катламлари фотоактив бўлмайди. Буни ҳисобга олиб, қуёш элементлари тайёрлашда ярим ўтказгичларнинг юпка пардаларидан ҳам фойдаланилади. Бу технология билан қуёш элементлари олишда ярим ўтказгич материалдан етарли кўп тежаб қолиш имкони туғилади. Юпка пардали қуёш элементлари олиш технологияси яхши ўрганилган. Юпка пардалар махсус тагликларга олинади. Тагликлар юқори температураларга чидамли, адгезияси, механик хусусиятлари яхши ва юқори диэлектриклик қобилиятига эга бўлган материаллардан тайёрланади. Қуёш элементлари қандай материалдан тайёрланишига қараб, тагликлар танланади. Масалан,  $Cu_2S$  ва  $CdS$  лардан юпка пардали қуёш элементлари тайёрлашда шиша ва полиамид тагликлардан фойдаланилади.

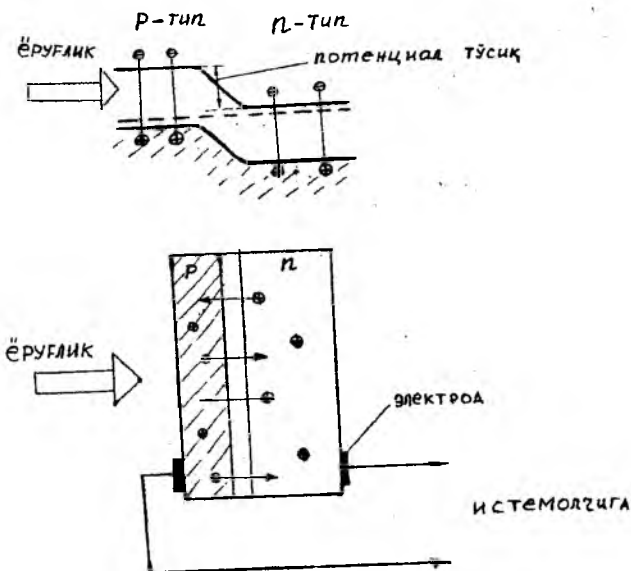
Қуёш элементларини ясаш технологияси, уларнинг тузилиши ва унга кирувчи химиявий элементлар, модда ва бирикмалар хилма-хил бўлиб, биргина китоб билан улар ҳақида тўлиқ маълумот бериш имконияти йўқ.

Қуёш элементлари ўта мураккаб қурилмалар қаторига киради. Мақсадимиз, юқори самарадорлик билан ишловчи ва катта ФИК берадиган қуёш элементларини яратиш йўлидаги жуда кўп сонли омишлардан энг асосийлари ҳақида фикр юритиш ва тахлил қилишдан иборат.

Қуёш элементлари (батареялари) генератор типдаги ФП лар бўлиб, қуёш нурини тўғридан-тўғри электр энергиясига айлантириб бериш учун хизмат қилади. Энг оддий қуёш элементи (ҚЭ) ясаш учун *n-p*- ўтишли ярим ўтказгичга омик контакт қилиш кифоя (16-расм).

ҚЭ га энергияси ман қилинган зона кенглигидан катта энергияли ёруғлик кванти тушса, у электрон-тешик жуфтларини ҳосил қилади. Улар потенциал тўсик майдонда ажралиб, *n*- ва *p*- соҳалар томон ҳаракат қилади. Натижада *n*- соҳада электронлар, *p*- соҳада тешиклар тўпланиб, электр майдонни ҳосил бўлишига сабаб бўлади. ҚЭ электр энергияси манбасига айланади. Уни ташқи истеъмолчига уланса ундан ток ўтади. ҚЭ ларидан қуёш батареялари (ҚБ) тузилади. ҚБ лари жуда кўп сондаги ҚЭ ларидан тузилган бўлиб, катта қувват олиш учун қилинади. Бундан ташқари ёруғлик таъсирида «туғилган» электрон тешик жуфтлари

рекомбинацияга учрамасдан тўласича потенциал тўсиқларига етиб бориши керак. Бунинг учун ҚБ ларида ишлатиладиган ярим ўтказгичлардаги ток ташувчиларнинг яшаш вақтлари юқори, материаллардаги сирт рекомбинациясининг тезлиги кичик бўлиши зарур. Агарда биз фақат ман қилинган зонасига, ютилиш коэффициентини ва Ер куррасида кўп тарқалганлигига эътибор берсак кремний элементининг ҳозирда кенг қўлланилаётганлигининг асл сабабини билиб оламиз. Нисбатан таннархи



16-расм. Қуёш элементларининг энергетик сатхлари диаграммаси ва тузилиши.

паст бўлган бошқа материаллардан ( $\text{GaAs}$ ,  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ,  $\text{JnB}$ ,  $\text{CdTe}$ ,  $\text{CdS}$  ва  $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$ ,  $\text{A}^{\text{II}}\text{B}^{\text{VI}}$ ) ҳам ҚЭ лари яшаш устида олимлар илмий изланишмоқда [51, 61]. Ярм ўтказгич сиртига тушган ёруғликнинг асосий қисми, сиртдаги 2-3 мкм ли қатламда ютилади. Одатда ҚЭ яшаш учун 250-300 мкм ли ярм ўтказгич пластинкалари олинади. ҚЭ ларида ишлатиладиган ярм ўтказгич материалларни тежаш (иктисод қилиш) мақсадида юпка қатламли ҚЭ лари яшашга алоҳида эътибор берилмоқда. Мис сульфиди ва кадмий сульфидлари гетероструктуралари асосида яратилаётган юпка қатламли ҚЭ ларининг ФИК 10% етганлиги маълум [51,61]. Аморф кремний юпка қатламларида ютилиш коэффициенти монокристалларига қараганда бир неча ўн баробар ортик. Шу билан бирга аморф кремнийда ёруғлик асосан унинг сиртидаги 1,5-2 мкм ли юпка қатламда ютилишини ҳисобга олсак, ундан юпка қатламли ҚЭ лари яшаш билан қимматбаҳо материалдан 100-150 марта камроқ сарфланишига эришамиз. Бу эса ўз навбатида таннархнинг ҳам мос равишда камайишига олиб келади. Аморф кремний



юпка қатламлари асосида яратилган ҚЭ ларида салт режим кучланиши 1,1 В, қисқа туташув токи 15-20 мА/см<sup>2</sup> га етади. Булардан кўринадики, аморф кремнийнинг юпка қатламлиларидан ясалган ҚЭ ларида ФИК бемалол 10% га боради. Аморф кремний ҚБ яшаш учун истиқболли материал ҳисобланади.

Юпка пардалари тузилишга эга бўлган қуёш элементлари яратишда қуйидагиларга эътибор бериш керак: 1) поликристалл микро тузилишга эга бўлган юпка пардаларни олиш технологияси чуқур ўрганиб, уларнинг микропараметрларининг парда тузилишига таъсирини аниқлаш; 2) дислокация, вакансия каби дефектлари бўлмаган, чуқур энергетик сатҳларда жойлашган ёғ элементлари бўлмаган юкори сифатли юпка пардалардан фотоактив юзаси катта майдонли бўлиб, микрокристаллчалари йирик бўлганларини олиш; 3) юпка поликристалл пардаларининг микрокристалл дончалари йирикроқ бўлса, ундан тайёрланган қуёш элементларидаги қисқа уланиш (ишчи токи) токи катта бўлиб, у қуёш элементининг ФИК га тўғридан-тўғри таъсир қилади. Шунинг учун поликристалл пардалардаги микрокристалл дончаларнинг ўзаро қўшни бўлган чегара соҳалари табиатини чуқур ўрганиш керак. Чунки бу соҳалар потенциал тўсиқлар вазифасини ўтаб, пардалардаги қўшни микрокристалл дончалар «жуфти» ўзига хос *p-n*- ўтиш вазифасини бажаради. Натижада, мукамал теҳнология билан тайёрланган поликристалл ярим ўтказгич пардалари бир неча юз миллионлаб элементар қуёш элементларини ўз ичига олган «улкан» қуёш батареяларини ҳосил қилади. Бундай «супер қуёш батарея» ларини яратиш технологиясини ишлаб чиқишнинг физико-химиявий фундаментал асосларини ишлаб чиқиш зарур; 4) қуёш батареялари ўзларига тушаётган ёруғлик энергиясининг маълум қисминигина электр энергиясига айлантиради. Қолган ёруғлик энергияси фойдасиз йўқотишларга кетади. Масалан, қайтиш, ютилмай ўтиб кетиш ва фотоактив бўлмаган ютилиш кабиларга сарфланади. Бундан ташқари ярим ўтказгичга ютилган фотонлар ҳосил қилган электрон-тешик жуфтларининг ҳам ички йўқотишлари ҳам кузатилади. Масалан, рекомбинацион йўқотишлар яъни ток билан боғлиқ, зона ичидаги ўтишлар билан боғлиқ йўқотишлар, яъни кучланиш билан алоқадор йўқотишлар ва ҳоказо.

Бундай энергия йўқотишларини ҳисобга оладиган, уларни минимумга келтириш имконини берадиган қуёш батареялари лойиҳаларини ишлаб чиқиш баъзилари ҳақида қисқача маълумот келтирамиз.

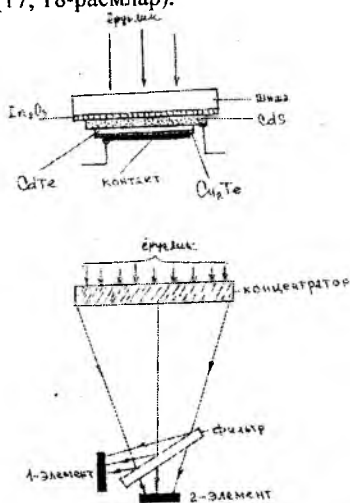
Аморф кремнийнинг кўпгина модификациялари ( $a\text{-Si:H}$ ,  $a\text{-Si:Ge:H}$ ,  $\text{IT}^b\text{-}a\text{-Si:H}$  ва  $\text{Sn}^b\text{-}a\text{-Si:H}$ ) мавжуд. Юкори кучланиш ва қувватли қуёш батареялари олиш учун аморф кремнийнинг қуёш элементларини кетма-кет улаб қуёш батареяларининг каскад системасини ҳосил қилиш мумкин. Бундай каскад системаларнинг асосий камчилиги уларда қисқа уланиш токи кичик бўлиб, системага кирувчи қуёш элементларининг номиналларини барқарорлиги яхши ўрганилмаган. Улар ҳақида

маълумотлар оз. Ёруғлик қабул қиладиган сиртининг юза майдони катта бўлган аморф кремний модификацияларидан ясалган юкори самарали куёш батареялари яратиш учун элементларда содир бўлаётган жараёнларни чуқур ўрганиш ва улар билан материал хусусиятлари орасидаги боғланиш қонуниятларини аниқлаш керак. Бу йўналишда олиб борилган тадқиқотлар натижасида юпка пардаларидан юкори самарали куёш батареялари яратиш мумкин бўлган ярим ўтказгич материаллар синфи аниқланди. Бундай материаллар каторида қуйидагиларни алоҳида келтириш мумкин (кавсларда ман этилган зоналар кенглиги Э-В ларда келтирилган):

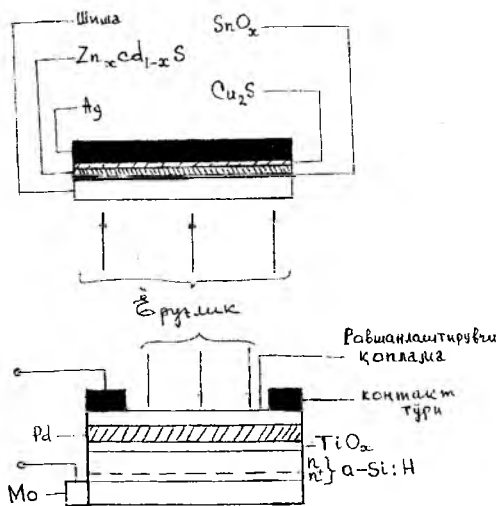
$\beta\text{-Zn}_4\text{Sb}_3$  (1,2),  $\text{CdSb}_3$  (1,25),  $\beta\text{-ZnB}$ (1,33),  $\text{CdSiAs}_2$  (1,55),  $\text{ZnSiAs}_2$  (1,75),  $\text{Bi}_2\text{S}_3$  (1,3),  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  (1,7),  $\text{PbSnSe}_2$ (1,05) ва  $\text{WSe}_2$  (1,35).

Энергиянинг элементлар ичидаги йўқотишларини камайтириш мақсадида, куёш батареяларининг каскадли системаларида ман этилган зонаси кенглиги билан фарк қилувчи ҳар хил ярим ўтказгичлардан фойдаланилади. Каскад системадаги кетма-кет уланган кўп сондаги ҳар хил спектрларга мўлжалланган ярим ўтказгич пардалари куёш спектрининг кўпроқ қисмини ютиб олишни таъминлаб беради. Каскадга қирувчи элементлар сони ва уларнинг ман этилган зонаси кенглигини тўғри танлаб, юкори ФИК ли куёш багареяларн олиш мумкин (масалан, ФИК 30% дан юкори бўлган).

Бундай куёш батареяларини амалда яшашнинг икки хил усулини тақлиф қилиш мумкин (17, 18-расмлар).



17-расм. Махсус фильтрли куёш батареялари.



18-расм. Кўп қатламли қуёш бағарялари.

**Биринчи усулда**, сирти ойнасимон қилинган қўн сондаги элементлардан ташкил топган махсус филтър қўлланилади. Филтърга тушган ёруғлик дасталарга бўлиниб кетади. Ҳар бир ёруғлик дастаси спектрига қараб, қуёш бағаряеси таркибдаги ўзига мос элементга йўналтирилади.

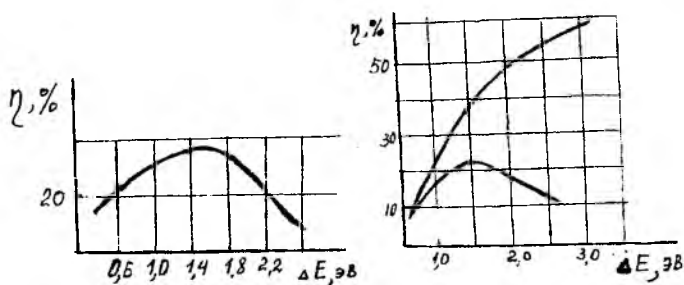
**Иккинчи усулда** ман қилинган зонаси кенглиги ҳар хил бўлган ярим ўтказгич материалларининг пардалари устма-уст қилиб жойлаштирилади. Бундай кўп қатламли қуёш элементдаги ярим ўтказгич пардалари шундай жойлашадики, унинг устки сиртида кенг зонали материал жойлашади. Ундан кейинги ярим ўтказгич юпка пардалари ман этилган зонаси кенглигига қараб (камайиш тартибда) жойлашади. Ёруғлик тушаётган сиртдан бошлаганда биринчи бўлган элементда катта энергияли фотонлар ютилиб қолади. Қолган қисми иккинчи элементга ўтади. У ҳам спектрига мос келган энергияли фотонларни ютиб, ўзи учун «ёт» бўлган фотонларни келгуси қатламга ўтказиб юборади. Шу тариха ҳар бир қатлам ўзига мос спектрал таркибдаги фотонни қабул қилиб, қолганлари келгуси қатламга ўтиб кетаверади. Бундай лойиҳа қуёш спектридаги нурланишнинг кўпроқ қисмидан фойдаланиш имконини беради. Шу ҳисобига ФИК ортади. Бундай қуёш бағаряларининг уч элементли каскади учун қуйидаги ярим ўтказгич материаллари қаторини таклиф қилиш мумкин:

$\text{CuInSe}_2$  (1,1 эВ) –  $\text{AgInS}_2$  (1,9 эВ) –  $\text{CdS}$  (2,4 эВ) бу материалларнинг кристалл панжара параметрлари яқин бўлиб, улар

орасидаги фарқ 1% дан ошмайди. Бундай уч элементли каскад учун ФИК 30% дан ортади.

Каскадли схемаларни монолит умумий база асосида яратиш ҳам мумкин. Бундай элементлараро уланишлар структуранинг ички хусусиятларидан келиб чиқиб амалга оширилади. Монолит каскад структураларни яшаш технологияси анча мураккаб бўлиб, уни амалга оширишнинг қулай усуллари топилса самарали қуёш батареялари яратишда муҳим қалам бўлади. Самарадорлиги юкори бўлган, катта ФИК билан ишлайдиган қуёш элементлари яратиш йўлидаги ушбу фундаментал тадқиқотларнинг муҳандислик ечимларини топишда изланишлар олиб борилмоқда. Ўзбекистон шароитида ҳам бу илмий изланишларни фаоллаштириш зарур. Кўп қатламли батареяларнинг ҳар бир элементининг ва монолит қуёш элементларининг самарадорлигини, ФИК ни легирлаш (базовий ярим ўтказгичга ёт элемент атомини киритиш) йўли билан орттириш мумкин.

Қуёш элементи кенг зонали материалдан фойдаланиб ясалган ҳолатларда, бу ярим ўтказгичга ёт элемент атомлари киритилса, бу атомлар ман қилинган зонада қўшимча энергетик сатхлар ҳосил қилади. Бу сатхларга мос келувчи спектрдаги фотонлар ютилиб қолади. Натижада қуёш элементига тушаётган спектрнинг кўпроқ қисми ютилиб, электр энергияси ҳосил қилинади. Ман қилинган зонасидаги энергетик сатхлар соининг ортиши билан қуёш элементининг ФИК ҳам ортади. Бу боғланишни битта *p-n*- ўтишли қуёш элементи учун қўллаб, унинг чегаравий ФИК ни ҳисоблаб ва ҳисоблаш натижаларини график кўринишда ифодалаш мумкин (19-расм).



19-расм. Қуёш элементларининг ФИК ва у ясалган модда тақикланган зонаси кенглиги орасидаги боғланиш.

## АФН электри билан танишишни истайсизми?

Инсонларнинг электр билан биринчи танишуви ҳақида ажойиб қизик афсоналар бор. Курук сочи коронги жойда тарок билан тарасангиз, баъзан майда учкунлар чиқади ва салгина чирсиллаган овоз эшитилади. Аммо бу

кучсиз ва беозор учқунлар дахшатли ва кучли яшиннинг кон-кардоши бўлса, аранг эшитиларли чирсиллаш овози каттик момокалдирокнинг кариндошидир.

Кишилар бундай ҳодисаларни қадим-қадим замонларда пайқашган. Жун газлама билан ишқалган қахрабонинг похол доналарини, пар ва бошқа енгил нарсаларни торта бошлаши эрамиздан анча олдин аниқланган эди. Грек донишмандлари қахрабонинг бу хоссасини унда махсус «рух» борлигидан деб изоҳлаган.

Бундан тахминан уч минг йилча муқаддам Грецияда Фалес деган философ яшаган. Унинг кизи бўлган. Бу киз ёш бўлса ҳам жун йигиришни билган экан. Отаси кизига жун йигириш учун финикиялик усталар ясаган қахрабо урчук инъом килибди. Кунлардан бир куни киз урчукни сувга тушириб юборибди; сувдан олганидан сўнг урчукдаги сув томчиларини эгнидаги жуи кийимининг бир чеккаси билан арта бошлабди, артиб бўлганидан кейин урчукка жун толалари ёпишиб қолганини пайқабди. Урчук хали хўл бўлса керак деб ўйлаб, уни янада каттикроқ ишқалабди, афусуки жун толалари урчукка баттар ёпишибди. Бу ҳодиса синчков кизга ғалати кўринибди, отасидан югуриб бориб, бу ғаройиб ходисанинг сабабини айтиб беришни сўрабди. Фалес кизининг айтганларини эшитиб, ҳайратда қолибди ва чинакам философ бўлгани учун кизининг қилганининг дархол такрорлабди ва ходисани текшира бошлабди. Таҷрибада кизининг айтган фикрлари тасдиқланибди. Бу воқеадан кейин Фалес қахрабодан ясалган бошқа урчук, доира ва таёқларни ҳам жун билан ишқалаб кўрган экан, натижа такрорланибди. Қахрабо грекча сўз бўлиб, «электрон» деган маънони билдиради. Электр деган ном ҳам ана шундан келиб чиққан. Кейинчалик шиша, олтингургурт, смола, пробка, ипак ва кўпгина моддаларда, масалан, капрон толасида ҳам қахрабодаги хоссалар борлиги маълум бўлди. Металларни, ёғоч резинани капрон газлама ёрдамида бир бемалол электрлаш мумкин. Бунинг учун капрон газлама билан неча уриш ёки ишқаш кифоя.

Шундай қилиб, жисмларнинг электрланиш сабаби – ишқаланиш деб айтилиши жуда тўғри экан. Жисмлар ишқаланиб электрланганда уларда қандай ҳодисалар рўй беради? Бу саволнинг жавобини атом бағридан топасиз. Ҳозирда электрни «қўлга ўргатишга» муяссар бўлиди; энди, электр катта фойда келтирмоқда. Электр энергияси олишнинг жуда кўп усуллари амалиётга айланди. Механик энергиядан, иссиқликдан ва ёруғликдан электр энергияси олиш инсоният учун одатдаги фаолият бўлиб қолди.

Ёруғликдан электр олиш ҳақида бироз фикр юритайлик. Инсоният олдида мавжуд бўлган ер ости ва ер устидаги ёқилғи-энергетик запаслардан тежаб-тергаб фойдаланишгина эмас, балки жамиятни «абдий» энергия билан таъминлаб турувчи сўнмас энергия манбаларини кидириб топиш ва инсон измига бериш вазифаси бор. Келажақдаги энергияга бўлган эҳтиёжни қондира оладиган асосий манба – саховатли қуёш энергиясидир. Қуёш сочаётган энергиянинг миллиондан бир

бўлагидан ҳам камроғи Ерга етиб келади. Юзаки карашда бу жуда озга ўхшайди. Аммо ер юзига етиб келадиган ёруғлик энергиясининг умумий миқдори ҳисоблаб чиқилса, унинг жуда кўп эканлиги маълум бўлади. Бу миқдор Ердаги ҳамма электр станцияларда ишлаб чиқарилаётган энергиядан 32 минг марта кўпдир.

Кани энди куёш нурлари энергияси электр энергияси бўлиб, симлар орқали юборилса!

Фотоэлементнинг кашф этилиши куёш нурини электрга айлантиришнинг янги истиқболларини очиб берди. Шу сабабли инсонлар қадимдан куёшга унинг ёруғлигидан электр олишга интилиб яшашган. Бу соҳада биринчилардан бўлиб, фотоэффектни кашф қилган (1879 йил) немис физиги Г. Герцнинг ишлари диққатга сазовордир. (Фотоэффект – ёруғлик таъсирида металл сиртидан электронлар чиқишидир. Бу ташқи фотоэффект. Ички фотоэффект – қаттиқ жисмлар ёруғлик таъсирида атомларидаги электронларнинг энергетик ҳолатлари бўйича қайта таксимланишидир). Фотоэффектни 1888 йилда биринчи бўлиб рус физиги А.Г. Столетов синчиклаб ўрганди.

Кейинчалик фотоэффектни ярим ўтказгич материалларда ўрганиш натижасида фотоқаршиликлар, фотодиодлар, фотоэлементлар ва бошқа юзлаб замонавий, ёруғлик билан ишлайдиган асбоб ва қурилмалар ясалди.

Фотоэлемент кичкина электр станция бўлиб, ёруғлик энергиясини электр энергиясига айлантириб беради. Ҳозирда ишлатилаётган (космик кемаларда, йўлдошларда ва бошқаларда) фотоэлементлардан иборат станцияларнинг қуввати унчалик катта эмас. Фабрика ва заводларимиз, қишлоқ хўжалиги ва турмуш эҳтиёжларимиз учун қанча электр энергияси керак бўлса, ўшанча электр энергиясини куёш нурларидан олиб бера оладиган қувватли станция вужудга келтирилса энергия муаммоси ҳал бўлган бўлар эди.

Илгари бунинг иложи йўқдек кўринарди. Фотоэлементларда электр энергиясига айлантириладиган нур энергиясининг салмоғи жуда кам; бунинг устига, бошқа жиддий қийинчиликлар ҳам бор. Лекин кейинги вақтда кремнийли ва бошқа ярим ўтказгичлардан фотоэлемент ясалди. Катталиги хавфсиз устара ничоғича келадиган кремний пластинкалардан тузилган ва умумий сатҳи дафтар сатҳидан ошмайдиган батареялар куёш нури билан ёритилганда кўчма радиоприёмниклар учун етарли электр токи беради. Шундай фотоэлементлар кўплаб ишлаб чиқарилса Қорақум чўлининг минг бир қисмини шу фотоэлементлар билан қоплаб, мамлакатимизнинг энергетик эҳтиёжларини тўла қондириш ва электр станцияларида кўмир билан нефть, газ ёқишдан воз кечиб экологик инкирозга ҳам маълум миқдорда чек қўйилган бўларди.

Буюк истиқлол бу ажойиб истиқболга шубҳасиз катта йўл очади ва уни «якин» келажакка айлантиради.

Кремнийли фотоэлементлардан иборат «черепица» билан ёпилган том уйни совуқдан ва ёмғирдан сақлаши билан бир қаторда, электр дазмол, электр плитка, сув қайнатгич, холодильник, радиоприёмник, телевизорга

хам ток тера олади. Бундай черепица: фотоэлементли том кишда бинони иситса, саратонда совутади. Аккумулятордан фойдаланилса, Куёшнинг электр энергиясидан кечаю-кундуз ҳар қандай об-хавода фойдаланиш мумкин.

Бундай электр манбалари Ер сунъий йўлдошлари учун жуда қулай. Космик кемаларга ўрнатилган фотоэлектр станциялар (Куёш багареялари) жуда фавкуллода шароитда илмий тадқиқотлар олиб бориш учун барча автоматик (ва ноавтоматик) асбобларни ток билан таъминлайди. Куёш электр станциялари ишлаб чиқарадиган «ёруғлик токи» яқин орада электр энергияси ҳосил қилишнинг энг оддий ва арзон усули бўлиб қолади.

Фотоэффектни юпқа ярим ўтказгич қатламларда ўрганиш АФН-эффектнинг очилишига олиб келди.

1946 йилда Старкевич, Сосновский ва Симпсонлар ёруғликни сезувчи ярим ўтказгич қатламларни тайёрлаш жараёнида ёритилган қатламларда юқори кучланиш ҳосил бўлиши мумкинлигини сезишди.

Бундай юпқа қатламлар вакуумда 250°C атрофида қиздирилган тагликка буглатилган кўрғошин сульфидини ўтказиш йўли билан тагликка олинган. Кучланиш ҳам бериб қўйилган эди. Бунда ёритилган қатламда ҳосил бўлган фотокучланиш 2 Вольт бўлган. Ярим ўтказгич материалнинг тақиқланган зонаси кенглиги  $\Delta E_g = 0,4$  эВ эканини ҳисобга олсак, 2 В жуда юқори аномал кучланиш ҳисобланади. Чунки, мавжуд назарияга асосан ёруғлик таъсирида ҳосил бўладиган фотокучланиш микдори тақиқиланган зона кенглиги билан чегараланган бўлади (яъни,  $U_{\phi} \leq \frac{kT}{q}$  тартибида бўлиши шарт).

Авторларнинг фикрича, тагликка қўйилган кучланиш манфий ва мусбат зарядларни ажратади. Натижада кристаллар чегарасида ориентацияланган потенциал тўсиклар ҳосил бўлади. Бу тўсиклар кислород ионларининг қўйилган кучланиш йўналиши бўйлаб диффузияланиши натижасида содир бўлади ва маълум микдор фотокучланиш ҳосил қилади. Бу фикрларининг ҳақиқатга қанчалик яқин ёки узоклигини биз келгусида айтмиз.

Ёритиш натижасида юқори кучланиш берувчи қатламларга қизиқиш 1958 йил матбуотда эълон қилинган Пенсак ва Гольдштейнларнинг [1] ишларидан сўнг авж олди. Улар ўз ишларида теллурид кадмий материалдан тайёрланган қатламларда уй температурасида тахминан юз, суюқ азот температурасида эса минг вольт фотокучланиш олиш мумкинлигини кўрсатдилар.

Академик Э.И. Адирович ишларидан [2] сўнг бу аномал фотоэлектрик ходиса АФН-эффект деб юритила бошланди. (Бу эффектни биз келгусида қисқача АФН деб юритамиз). Бу эффектни ўрганиш, ярим ўтказгичлар физикаси учун, қолаверса юқори фотокучланиш олиб, уни амалий мақсадларда микроэлектроника, оптоэлектрониканинг

ривожланиши учун хизмат қилдириш эътиборга лойик, шу куннинг масаласидир.

Пенсак ва Гольдштейнлар юкори кучланишнинг ҳосил бўлишини жуда кўп  $p-n$  ўтишларнинг юпка каватларини тайёрлаш жараёнида ҳосил бўлиши ва уларнинг кетма-кет жойлашиб улкан сондаги микрофотоэлементлардан ( $p-n$  ва  $n-p$  ўтишлардан) иборат фотобатарея ҳосил қилиши билан тушунтиришди. Лекин бу модел нима сабабдан  $p-n$  ва  $n-p$  ўтишлардаги фотокучланишлар бир-бирини йўқотишмайди деган саволга тўла жавоб бера олмаган.

1911 йили ўша даврнинг энг йирик физиклари 34 ёшли Альберт Эйнштейнни Пруссия академиясининг ҳақиқий аъзоллигига сайлаш учун тавсия этишди. Тавсияномада, қуйидагилар ҳам ёзилган эди: «Умуман, айтиш мумкинки, замонавий физиканинг А. Эйнштейн салмоқли хисса қўшмаган бирорта муаммоси йўқ. Агар айрим изланишлар, масалан, унинг ёруғлик кванти ҳақидаги гипотезаси мақсадга олиб келмаган бўлса, буни унинг айби деб билмаслик керак, чунки янги ғоялар илгари сурилганда, аиникса аниқ фанлар бўйича таваккал қилмаслик мумкин эмас».

АФН ўта ноёб ходисалар каторига кириб, унга мансуб бўлган ажойиб хусусият ва хислатларни амалий мақсадларга йўналтиришдаги илгари суриладиган фикр ва лойиҳаларда ҳамда АФН ички дунёсини очишдаги тахмин ва илмий фаразларда маълум даражада таваккаллик қилинганлиги ҳам яхши натижалар берди.

## АФН ясаб олишни истасангиз

АФН-қатламлар асосан вакуумда материални термик йўл билан буғлатилиб олинади.

Вакуумли қурилмани оддий форвакуум ва диффузион насослар билан йиғиш мумкин ёки тайёр қурилмалардан фойдаланиш ҳам қулай.

Юпка қатламларни тайёрлашда диффузион насосдан ёғ молекулалари қатлам тайёрланаётган камерага кирмаслиги керак. Чунки бундай молекулалар қопланаётган сиртни эгаллаб, АФН-қатлам сифатига таъсир қилиши мумкин. Ёғ молекулаларининг ишчи камерага кирмаслигини таъминлаш учун ёғ қайтаргич ишлатиш мақсадга мувофиқдир.

Вакуум камерадаги сийракланиш даражасини яхшилаш учун «азотли туткичлар» ишлатилади. Бундай туткичлар суюқ азот ёрдамида совутиб турилади. Туткич ёғ қайтаргич билан бирга диффузион насоснинг юкори қисмига ўрнатилади. Улар сув, ёғ буғларини ўзида тутиб қолади. Бунинг ҳисобига ишчи ҳажмда «тозалик» ва сийракланиш даражаси ортади. Баъзи материаллардан АФН олишда ўта юкори сийракланиш талаб қилинади ( $\sim 10^{-4}$  мм симоб ус.).

Бундай ҳолларда махсус юкори вакуум титан насослари ишлатилади.

Вакуумда термик ўтказиш йўли нисбатан қулай, шунинг учун катта юзаларда ҳам юпка қатламлар олиш имкони бор. Олинган қатламлар



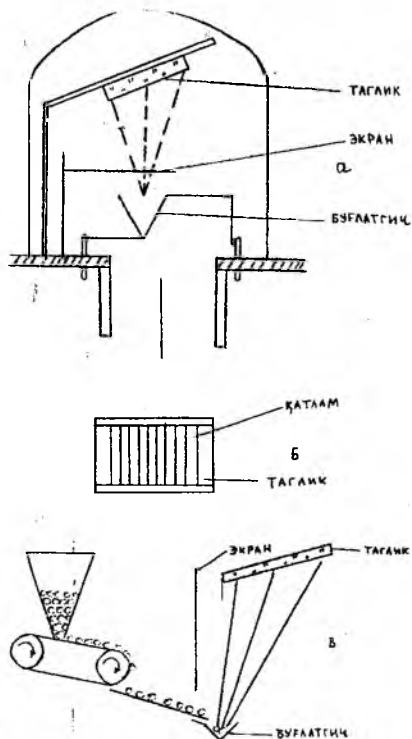
тайёрланишига мос ҳолда аморф, поликристалл тузилишларга эга бўлиши мумкин. Ҳар қандай юпка ярим ўтказгич қатламлар олиш каби АФН-қатламлар олишда ҳам аниқ оптимал режим топиш даркор. Бунинг учун тажриба йўли билан ҳар бир материал учун буғлатиш тезлиги, таглик температураси, ишчи ҳажмдаги босим, буғланаётган материалнинг молекуляр оқимининг тагликка тушиш бурчаги каби параметрлар танланиши керак. Ҳар бир материалдан АФН тайёрлаш технологиясида ўзига хос томонлари бўлади. Масалан, баъзи материаллардан АФН тайёрлашда, буғлатиш жараёнида ёт аралашмалар аралаштириш керак бўлади. Баъзиларини буғлатиб, тайёрлаб олингандан сўнг вакуумда ёки бирор газ муҳитида термик ишлов бериш талаб қилинади. Шундай қилиб, муайян материал хусусиятларидан келиб чиқиб, уларнинг ҳар бири учун технологик жараён танланади. Оптимал технологик параметрлардан озгина четга чиқиш қаватларда АФН нинг мутлақо йўқолишига сабаб бўлади. Асосий параметрлар қаторига тайёрланган қаватларнинг қалинлиги ( $d$ ) ҳам киради. Қуйидаги жадвалда баъзи материаллар учун оптимал технологик параметрлар келтирилган:

Яримўтказгич материал	Босим P, Тор.	Таглик температураси T °C	Буғлатиш бурчаги	Қатлам қалинлиги d, мкм
<b>CdTe</b>	$10^{-5}$	250	30°	1
<b>Si</b>	$10^{-6}$	300-500	45°	0,1-3
<b>Ge</b>	$10^{-4}$	200	40°	0,5-0,1
<b>Ga As</b>	$10^{-5}$	50-100	45°	0,2
<b>GaP</b>	$10^{-3}$	80	60°	0,1
<b>PbS</b>	$10^{-5}$	250	45°	1-0,1
<b>Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub></b>	$10^{-4}$	200	40°	1,5-2

Таглик сифатида юзаси силлиқланган бир жинсли шиша пластинка ишлатилади. АФН кучланиш киймати таглик турига ҳам боғлиқ. Баъзи материаллар учун юзаси силлиқланган фарфор ёки цитал пластинкалар ҳам ишлатиш мумкин. Материалларни буғлатиш учун махсус алюминий ёки бериллий оксидидан тайёрланган буғлатгичлар ишлатилади.

Расмларда тагликка ярим ўтказгич материални ўтказиш жараёни (а), қатламнинг умумий кўриниши (б) ва турли материалларнинг майда бўлакчаларини кетма-кет дискрет буғлатиш усули (в) билан кўп қаватли қатламлар тайёрлаш қурилмаси кўрсатилган.

Материални буғлатириб тагликка ўтказиш алоҳида камерада амалга оширилади. Бундай камерада юпка қатлам ҳосил қилиш тўғридан-тўғри буғлатиш, дискрет буғлатиш (портлаш билан буғлатиш), бир неча манбадан дисперс буғлатиш билан амалга оширилиши мумкин.



20-расм. Юпка ярим ўтказгич қатламлар олиш қурилмаси.

АФН-катлам ҳосил қилинаётган таглик ичкаридан ёки ташқаридан иситилиши мумкин. Агар қурилмада имконият бўлса, ташқаридан қиздириш маъқулроқдир. Бунда биринчидан ичкаридаги операциялар камаяди, иккинчидан печкадаи бирор қолдик модданинг тасодифий учиш эҳтимоллиги йўқолади. Бунинг учун диаметри кичикроқ бўлган калпок ишлатиш керак бўлади. Бу эса ташқаридан мақсадга мувофиқ температура бериш учун имконият беради.

Маълумки, юпка қатламлар тайёрлашда юкори вакуум ҳосил қилиниб, жуда оз қолдик газ молекулалари қолгунча сўриб олинади ва жараён берк ҳажмда олиб борилади. Ана шундай вакуумда термик йўл билан ўтказишни уч қисмга бўлиш мумкин: а) буғлатгичдан материалнинг атомлар оқимини ҳосил қилиш; б) бу оқимнинг таглик томон учиш; в) тагликда конденсацияланиш. Ҳозирги пайтда бирикмали ярим ўтказгич материаллардан олинган юпка қатламларда стехиометрияни сақлашга қаратилган бир неча технологик методлар мавжуд:

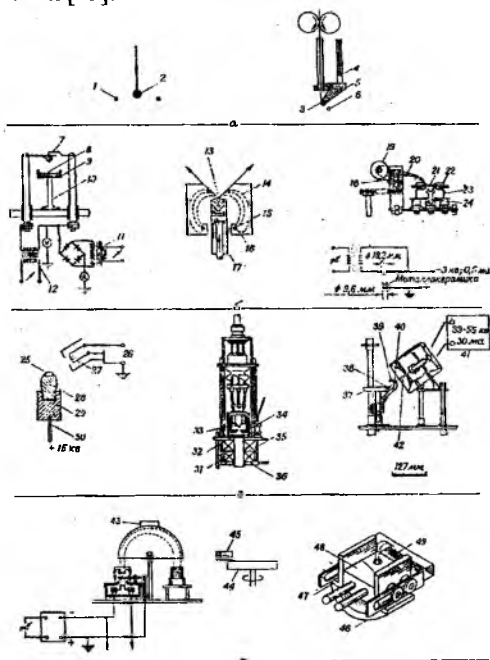
а) ярим ўтказгич бирикмасининг ҳамма компонентларини дисперс буғлатиш ёки уч температура методи [3];

б) мураккаб ярим ўтказгич материални дискрет («иортлашли») буғлатиш [3];

в) буғлангириб ўтказилиш жараёнида қатламни (секин учувчи компонент билан) бойитиш.

Биз юкорида кўрган методлар АФН тайёрлаш учун қулай ва стехиометрик таркибни сақлашга имкон беради. Кўп компонентли материаллардан АФН тайёрлаш жуда қийин. Чунки ҳар бир компонент учун алоҳида буғлатгич қилишга, температура танлаш ва манбалар йиғиш зарур бўлади. Бу эса анча мураккаб масала. Кўпинча АФН тайёрлаш жараёни қайси материал учун, қандай метод танлашни кўрсатиб беради. Ҳар бир АФН олинadиган модданинг хусусиятларидан келиб чиқиб, вакуумда моддани буғлатгичларнинг лойиҳалари ҳам хилма-хил бўлиши табиий бир ҳодисадир.

Элементар ярим ўтказгичларни (Si, Ge, Te, Se, Cd ва бошқалар) буғлатишда электрон қиздириш усулини қўллаш ҳам мумкин. Бу усул билан буғлатишда ишлатиладиган буғлатгичларнинг баъзи лойиҳалари 21-расмда келтирилган [45].



21-расм. а- томчидан буғлаиш; б- кўзгалмас анодли буғлатгич; в- йиғилган электрон нури билан буғлатгич; г- эгри чизикли электрон нури билан буғлатиш;

1, 6, 23, 33- катодлар; 2, 3- томчи, томчи соҳаси; 5- анод; 8- буглатиладиган материал; 9- тигеъ ёки буглатгич; 26, 41-кучланиш манбалари; 34- диафрагма; 35- электромагнит фокусловчи система; 43, 45, 46- магнитлар; 48- сув билан совутиш системаси [45].

## Сантиметрда 100000 генератор

АФН юпка ярим ўтказгич қатлами ҳажмида ёруғлик таъсирида зарядларнинг қайта тақсимланиши натижаси эканлиги ҳозирда кўп тажрибалар асосида тасдиқланган. Ёруғлик таъсирида АФН-қатламда туғиладиган зарядларнинг қайта тақсимланиши вужудга келтирадиган фотокучланишнинг механизми уч жараён билан боғлиқ бўлиши мумкин.

Биринчидан, заряд ташувчиларнинг  $p$ - $n$  ўтишда ажралиши.

Иккинчидан, ҳар хил ҳаракатчанликка эга бўлган заряд ташувчиларнинг диффузияси (Дембер эффекти).

Учинчидан, ўрнашган сатҳларда ҳажмий зарядларнинг ҳосил бўлиши. Охириги моделнинг ўзи фотодиффузия ёки фотовольтаик эффект натижаси ҳам бўлиши мумкин.

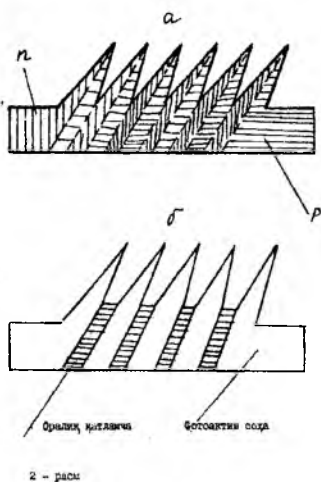
Маълумки юкори аномал фотокучланиш (АФН) берадиган ярим ўтказгич қатламлари буглатилаётган материал молекуляр оқими тагликка қиялаб (бурчак остида) тушгандагина ҳосил бўлиши тажрибада тасдиқланган. Ҳар қандай юпка поликристалл қатламларни маълум тартиб билан жойлашган кристаллитлар «катори» дан иборат деб қараш мумкин. Бу кристаллитлар орасида оралик ўтиш қатлами вужудга келиб, унга Рига халқаро анжумани 1955 йил «контактин» [4] номини берган.

Демак, ярим ўтказгич юпка қатламлари актив қисми (кристаллитлар) фотосезгир областлардан иборат бўлиб, бу областлар бир-биридан ўзаро эркин заряд ташувчилар билан айирбошлашга ҳалакит берувчи қатламчалар («контактин») билан ажратилган. Бу қатламчалар катта қаршиликли ёки кичик қаршиликли бўлиши мумкин. Бу қатламчаларнинг вазифаси шуки, улар қўшни микрокристаллитлар контакти орқали улардаги заряд ташувчиларнинг концентрациясининг тенглашишига тўсқинлик қилади. Ҳар бир микрокристаллитларни эса алоҳида микрофотогенератор деб ҳисоблаш мумкин. Юкорида баён қилинган АФН-қатламнинг модели Дембер модели АФН деб юритилади. Унда вужудга келувчи фотокучланиш катталиги:

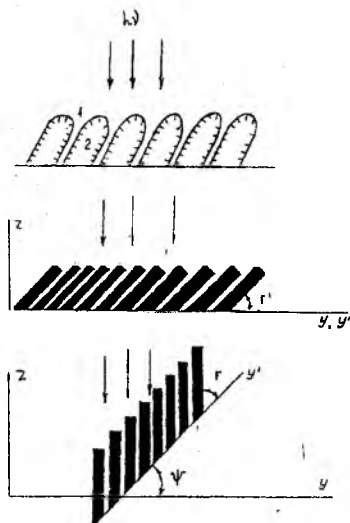
$$V_{\text{АФН}} = N \frac{kT}{q} \frac{b-1}{b+1} \ln \frac{1+\Delta\delta_2}{1+\Delta\delta_1} \frac{\delta_0}{\delta_0} \quad (1)$$

формула билан ифодаланади. Модел лойиҳасининг чизмаси 22-расмда кўрсатилган.

Бу ерда  $\delta_0$  – қатламнинг ёритилмаган пайтдаги ўтказувчанлиги,  $\Delta\delta_1$  ва  $\Delta\delta_2$   $i$ - нчи фотоэлемент учларидаги фотоўтказувчанлик,  $b = \mu_n/\mu_p$ ,  $N$  - микрообластлар сони.



22-расм. Электрон-тешик ўтишли (а) ва Демберли (б) АФН-қатлам ларнинг моделлари.



23-расм. «Устунсимон» кристаллчалар шаклидаги АФН-моделлари.

22,б-расмда  $p-n$  ўтишли модел лойиҳаси ифодланган. Бу моделда кучланиш бир турдаги ўтишларда (масалан,  $p-n$ ) ҳосил бўлган элементар фотокучланишларнинг қўшилиши натижаси бўлиб, иккинчи турдаги ўтишлар ( $n-p$ ) бу пайтда ёритилмаган бўлади.

Микро  $p-n$  ўтишли модели АФН-қатламда ҳосил бўладиган фотокучланиш катталиги

$$V_{\text{АФН}} = N \frac{kT}{q} \ln \left( 1 + \frac{J_{\text{ФН}}}{J_{\text{S}}} \right) \quad (2)$$

формуладан топилиши мумкин. Бу ерда  $J_{\text{ФН}}$  ва  $J_{\text{S}}$   $i$ - нчи  $p-n$  ўтишдаги тўйиниш токи ва фототок. (1) ва (2) формулалар бир хил характерли бўлгани учун, тажрибадан олинган кўпчилик фактлар АФН ни вужудга келтирувчи элементар жараёнлар моҳиятини ажратиб бера олмайди.

$J_{\text{Ф}} \sim B$ ,  $\Delta \delta \sim B$ ,  $J_{\text{S}} \sim R_0$  ва  $\Delta \delta \sim \frac{1}{R}$  эканлигини ( $B$ - ёруғлик интенсивлиги,  $R_0$ - ёритилмаган қатлам қаршилиги) назарда тутсак, ҳам фотодиффузия моделида, ҳам фотовольтаик моделда ушбу қонуният тўғри

$$V_{\text{АФН}} = f(B, R_0) \quad (3)$$

эканлигини, яъни АФН фақат катта қаршиликли қатламлардагина вужудга келиши мумкинлигини кўрамиз. Ўлчашлар буни тасдиқлайди. Бошқача айтганда, АФН-қатлам ток генератори бўлиб, юқори кучланиш манбаи сифатида фақат катта қаршиликли нағрузка билан ишлаши мумкин. АФН нинг вужудга келишида юқорида келтирилган иккала фактор ҳам иштирок этсада, асосий роли қатламнинг топологияси ҳосил қиладиган асимметрик ёритилиш жараёни бажаради. Бунинг ҳаммаси бугълатилаётган материал молекуляр оқимининг тагликка анизотроп ўгириши натижасидир.

Тагликка қиялатиб ўтказиш билан амалга ошириладиган АФН-қатлам тайёрлашнинг махсус технологиясигина  $p-n$  ва  $n-p$  кўшни жойлашган ўтишларда вужудга келадиган фотокучланишларнинг компенсацияланмай қолишини таъминлайди. Ҳар бир  $p-n-p$  ячейкалардаги унча катта бўлмаган ( $V_a < kT/q$ ) кучланишлар тўпланиб, киловольтлар ҳосил бўлиши учун жуда кўп сондаги элементар микрокристаллар ( $p-n$  ўтишлар) кетма-кет уланиши керак.

АФН-қатлам структурасини ва ундаги микрокристаллитлар соини аниқлаш мақсадида электронли микроскопларда текширишлар олиб борилди. Натижада структура «устунсимон» шаклдаги (23-расм) кристаллчаларнинг даврий кетма-кет жойлашувидан иборат эканлиги, унинг даврийлиги ва ҳамма геометрик ўлчамлари аниқланди [5].

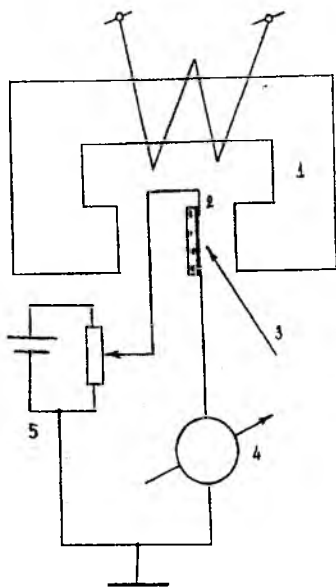
$CdTe$  ва  $Sb_2Se_3$  АФН-қатламларида олиб борилган электрон микроскопик ва фотوماгнит ўлчашлар натижалари кўрсатадики, 1 см узунликдаги АФН-қатламда 100000 дан сртик микрокристаллитлар кетма-кет жойлашган. Уларнинг ҳар бири  $kT/q$  тартибда кучланиш ҳосил қилувчи генераторлардир.

### Микроскопда аранг кўринадиган кристаллчанинг катта иши

Тагликка қиялатиб бугълатиш йўли билан қатлам сиртидаги ҳар хил чуқурликда жойлашган  $p-n$  ва  $n-p$  ўтишлар ҳосил бўлади. Бу ўтишларнинг асимметрик ёритилганлиги туфайли  $p-n$  ва  $n-p$  ўтишлардаги элементар ( $V < kT/q$ ) фотокучланишлар бир-бирини компенсацияламайди. Шу сабабли аномал юқори фотокучланиш ( $\sim 10000$  В/см) ҳосил бўлади.

$CdTe$  ва  $Sb_2Se_3$  лардан тайёрланган АФН-қатламлар бир неча минг микроскопик  $p-n$  ўтишлардан ташкил топган (қатламнинг 1 см узунлигига  $10^5$   $p-n$  ўтиш мос келади) [2,6]. Шу сабабли бу қатламлардаги фотوماгнит кучланиш ҳам аномал юқори қиймат бериши мумкин. Фотوماгнит кучланишни ўрганиш учун 24-расмдаги схемани йиғиш кифоя. Аномал юқори фотوماгнит кучланишни ўзгарувчан магнит майдонида ҳосил қилинганда ортикча (фойдасиз) «паразит» сигналлардан синхрон ишловчи детектор ёрдамида қутилиш мумкин. Бу усул контактлар

ноэквиопотенциаллигининг таъсиридан кутилиш учун ўзгарувчан магнит майдонида ўтказилган Холл эффектини ўлчаш усулига ўхшаб амалга оширилади. Нисбатан катта АФН-кучланиш билан бир вақтда қатламдаги фотемагнит кучланишни ўлчашда қулай усулни танлаш мақсадида мавжуд усуллар таҳлил қилиб чиқилган. Таҳлил асосида фотемагнит аномал кучланишни ўлчаш учун мўлжалланган қурилма лойиҳаси (электр схемаси) ишлаб чиқилган. Қурилмадаги магнит қутблари орасидаги масофани ўзгартириш учун махсус мослама яратилган. Унинг ёрдамида магнит майдон кучланганлигини (индукцияси) электромагнит галтагидаги токни ўзгартирмасдан маълум чегарада бошқаришнинг (ўзгартиришнинг) қўшимча имконияти туғилди.



24-расм. 1- электромагнит; 2- АФН-катлам; 3- ОИ-24 ёруғлик манбаи; 4-В2-5 электромтр; 5-АФН кучланишнинг компенсация қилиш схемаси.

Фотемагнит кучланишнинг ўлчашнинг 24-расмдаги схемасида доимий магнит майдони ва доимий ёруғлик интенсивлиги қўлланилиб, бу мавжуд усуллар ичида энг қулайидир. Бунда катлам қаршилиги билан кириш қаршилигини мослаш осон бўлган электромтрлардан фойдаланиш мумкин.

Фотемагнит ва фотоэлектрик кучланишлар биргаликда ҳосил бўлгани учун фотоэлектрик кучланиш ташки манба кучланиши билан мувозанатлаб, ундан сўнг фотемагнит кучланиш ўлчанади. АФН-катламларида ўлчанган фотемагнит кучланиш киймати айрим (намуна) катламларда 100 Вольтгача етган. Бу жуда катта кийматдир. Чунки, бир

жинсли ярим ўтказгичлар ва  $p$ - $n$  ўтишларда одагда фотоманит кучланиш 1-10 мкВ/Э тартибда бўлиши аниқланган. Ю.И. Равич илгари сурган гоёсига [7] асосан электрон-тешикли ўтишлар сонини орттирилса, фотокучланиш ҳам ортиши керак.

Демак, оддий  $p$ - $n$  ягона ўтишларида 1 Эрстедга 1 мкВ=10<sup>6</sup> В хосил бўлади. АФН-катламларда эса бу миқдор бир неча ўн миллион марта ортади. АФН- микрокристалликларнинг бу улкан фотоманит кучланишлари янги типдаги сезгирлиги жуда юкори ўлчов асбоблари ва оптоэлектрон назорат қурилмалари ясашга имкониятлар очади. Бундай асбобларнинг дастлабки техник лойиҳалари ҳақида куйида фикр юритилади. Бундай лойиҳалардаги инженерлик счимларда учрайдиган (кийинчилик) муаммолар калити якин келажакда ўз жавобини топади.

### АФН нинг электр модели

АФН-катламларнинг жуда кўп характеристикалари тажрибада ўрганилган. Тажриба натижалари хар хил моддадан тайёрланган АФН табиатини аниқлашга имкон беради. Тажрибаларда олинган нагижаларини эса маълум физик модел доирасида тахлил қилинади.

Фотовольтаик механизмга эга катламларда вольтампер характеристика (ВАХ) ларнинг чизикли бўлишига сабаб шуки, хатто 10<sup>3</sup> В/см тартибдаги электр майдонлари таъсирида ҳам, кетма-кет жойлашган  $p$ - $n$  ўтишлар сони кўп бўлганлигидан (~10<sup>5</sup>), хар бир ўтишга тўғри келувчи кучланиш ~0,01 В бўлиб,  $kT/q$  В дан кичик бўлади. Фотодиффузион табиатли АФН-катламларда ВАХ нинг чизикли бўлиши шартдир, катлам қаршилигининг қиймати эса юкори қаршиликли оралик катламчалар билан боғлиқ.

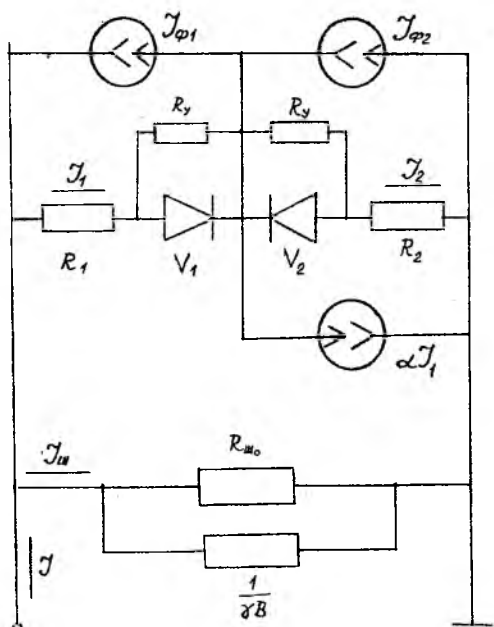
АФН-катлам фотокучланиши билан ёритиш бурчаги орасидаги боғланиш  $V_{\text{АФН}}(\varphi)$  графигидаги ишоранинг ўзгариш, ўзгармаслигига қараб, АФН-катламларда хосил бўладиган фотокучланиш фотодиффузион табиатга эгами ёки  $p$ - $n$  ўтишли табиатга эгами сифат жиҳатидан ажратиб бериш мумкин. Олинган тажриба натижаларига [2, 6, 9, 23] асосланиб айтиш мумкинки CdTe ва Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> котишмаларида АФН табиати  $p$ - $n$  ўтишга асосланиб тушунтирилади, чунки бу моддалардан ясалган АФН ўз ишорасини саклайди. Кремний, арсенид галлий каби моддалардан ясалган АФН-катламларда ходиса табиати фотодиффузион характерда бўлиб, бунини  $V_{\text{АФН}}(\varphi)$  боғланиш графигидаги ишоранинг ўзгаришидан билиб олиш мумкин. АФН-катламнинг  $p$ - $n$  ва  $n$ - $p$  ўтишлардан ва фотоўтказувчан ҳажмдан иборат физик моделини эквивалент схема (25-расм) билан алмаштирилса, АФН-катламларнинг вольтампер характеристикаларининг (ВАХ) формуласини топишга имкон тугилади. Бу эквивалент схемани тузишда Принс-Куммероваларнинг фотодиодлар умумлашган модели [8] асос қилиб олинди. Лекин шуни алоҳида таъкидлаш керакки, АФН-катлам



физик моделини тақдим этиб, унинг учун аналитик ифода (қонуният) топишда, танланган муқобил электр схемасида АФН-эффектнинг ўзига хос томонлари, экспериментал ва назарий тадқиқотлардан олинган жуда кўп сондаги натижалар ҳисобга олинган. АФН-эффектни жуда кўп ярим ўтказгич моддаларининг юпка қатламларида ўрганиш натижасида шу нарса аён бўлдики, юпка фотосезгир ярим ўтказгич қатламлар ҳажмининг кўп қисмини фотовольтаик жихатдан актив бўлмаган қатлам ташкил қилар экан. Қатламни очик сирти томонидан ва шиша таглик томонидан бир вақтнинг ўзида ёритиб олинган люкс-вольт характеристикаларни (ЛВХ) қатламнинг фақат очик сиртидан ёки қатламнинг фақат шиша тагликка ўтирган томонидан ёритиб олинган ЛВХ ларга қиёслаш натижасида бу илмий хулоса тажрибада исботланган. Муқобил фотозлектрик схемадаги фотосунт деб аталган занжир тармоғи ҳам ЛВХ лар таҳлилининг натижаси сифатида модел муқобил схемасига киритилган. АФН моделини танлашда фойдаланилган хулосаларни АФН-эффектни ўрганишга багишланган бошқа экспериментлар ҳам тўлиқ тасдиқлайди. Табиийки, қатламни очик сирт томонидангина ёритилганда фотосунтнинг таъсири унчалик катта бўлмайди, чунки ёруғликнинг асосий қисми сиртга яқин жойлашган фотовольтаик актив қатламда ютилиб қолади. АФН-қатламнинг оқ ва монохроматик ёруғликларда текширилган спектрал қонуниятлар бунини тўла тасдиқлайди.

Бундай эквивалент схема учун қуйидаги тенгламалар системасини ёзиш мумкин:

$$\left. \begin{aligned}
 V &= (J_1 R_1 + V_1) - (J_2 R_2 + V_2), \\
 V_{1,2} &= N \frac{kT}{2q} \ln \left( \frac{J_{\text{неп.1,2}}}{J_{S1,2}} + 1 \right), \\
 J_1 &= J + J_{\Phi 1} - J_m, \quad J_{\Phi 1} = a_1 B, \quad J_m = \frac{V}{R_m}, \\
 J_1 &= J_{\Phi 2} + J_m + \alpha J_1 - J, \quad J_{\Phi 2} = a_2 B.
 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$



25-расм. АФН қатламларининг эквивалент схемаси.

Бу тенгламалар системасини ёзишда, АФН-қатлам нағрузкага эмас, кучланиш манбаси  $V$  га уланган деб ҳисобланган бўлиб,  $p$ - $n$  ўтишга мусбат кучланиш (тўғри йўналиш),  $n$ - $p$  ўтишга манфий кучланиш (тескари йўналиш) қўйилган бўлади. Электрон ўтказувчанликли ( $n$ ) ва тешик ўтказувчанликли ( $p$ ) соҳаларнинг кенгликлари етарли юпқа бўлса, (эмиттер ва коллекторлар)  $p$ - $n$  ва  $n$ - $p$  ўтишлар орасида инжекция туфайли зарядлар алмашинови содир бўлади.

Эквивалент схемада бу боғланиш  $\alpha J_1$  ток генератори билан кўрсатилган. Электрон-тешикли ўтишларнинг жуда кўп сондаги ( $\sim 10^5$ ) кетма-кет уланган қаторини ҳосил қилувчи АФН структурада ҳар бир, эмиттер, иккита коллектор орасида жойлашган эканини ҳисобга олсак,  $\alpha = \alpha_n + \alpha_p$  деб ёзиш мумкин. Олиб ўтиш коэффициентини ( $\alpha$ ) 0 дан 1 гача қийматлар оралиғини қабул қилиши мумкин. У ҳолда  $\alpha = 1$  бўлганда ( $W < L$ ) электрон-тешик ўтишларнинг квазинейтрал областлари кенглиги ( $W$ ) ток ташувчиларнинг диффузион йўли узунлигидан ( $L$ ) кичик,  $\alpha = 0$  бўлганда эса катта ( $W > L$ ) бўлади.  $J_{\mu} = aB$  - фотовольтаик эффект эквивалент ток генератори, ( $B$ -ёруғлик интенсивлиги),  $J_{\text{реп.1,2}} = J_{1,2} - (V_{1,2}/R_{1,1})$  - тўғри ва тескари уланган  $p$ - $n$  ўтишлардаги тоқлар,  $R_{1,1}$  - ҳар бир электрон-

тешик ўтишнинг актив қисмига параллел уланган ҳажмнинг қаршилигиндир,  $\frac{1}{R_m} = \frac{1}{R_m} + \gamma B$  фотошунг эса қатлам ҳажмини ифодалайди.

Моделнинг муқобил фотоэлектр схемасидан кўринадик,  $J_{\phi 1} \geq J_{\phi 2}$  (ёки  $J_{\phi 2} \geq J_{\phi 1}$ ) бўлса, ташки занжирда фототок нолга тенг бўлмайди. Реал структураларда бу факт,  $n-p$  ўтиш,  $p-n$  ўтишлар соясида қолади, деган фикрни билдиради. Бу АФН-қатламларнинг тагликка қиялатиб ўтказиш натижасидир. Юқорида келтирилган (4) тенгламалар системасини ечишда  $a_1 \approx a_2 \approx a$ ,  $a_1 - a_2 = \eta a$ ,  $\eta a \ll a$ ,  $R_1 = R_2 = R$ ,  $J_{s1} \approx J_{s2} = J_s$ ,  $J_{\phi 1} - J_{\phi 2} = \eta a B$  деб ҳисобланади.

Бундай соддалаштириш,  $n-p$  ўтишларнинг ҳаммаси бир хил ўхшаш деган маънони билдиради. Шундай қилиб, АФН-қатлам моделининг муқобил фотоэлектр схемаси учун ёзилган тенгламалар системасини ечиб, ВАХ учун куйидаги ифодани ҳосил қиламиз:

$$J = \frac{\frac{V}{R_m J_s} - \frac{aB}{J_s} - 1 + \frac{V_1}{J_s R_{sr}} + \left[ (1 + \alpha) \frac{aB}{J_s} + \frac{V}{R_m J_s} (1 - \alpha) + 1 \frac{V}{J_s R_{sr}} \right] e^{-A}}{1 + (1 - \alpha) e^{-A}}, \quad (5)$$

$$A = \frac{2q}{NkT} \left\{ V - R \left[ (2 - \alpha) \left( J - \frac{V}{R_m} \right) + aB(\eta - \alpha) \right] \right\}.$$

АФН-қатламнинг ВАХ си учун топилган ушбу ифодани умумий ҳолда таҳлил қилиш анча мураккаб масала бўлиб, амалий мақсадлар учун фойдаланишда ноқулайликларни келтириб чиқаради. Берилган ифода (5) ни тадқиқ қилишда хусусий ҳоллардан, чегаравий (ҳолатлар) шартлардан фойдаланиш уни ўрганишни енгиллаштиради. Ярим ўтказгичларнинг юпка қатламларида АФН-эффектни ўрганиш (иоликристалл қатламлардаги) ўта кўп қатламли (СМС) структуралар назариясига олиб келар экан. Бу соҳалаги дастлабки назарий тадқиқотларда асосан 3-4 электрон-тешик ўтишлар қаторлари кўриб чиқилган бўлса,  $n-p-n$  ўтишларнинг ўта кўп сондаги тизимларининг (СМС) реал моделлари учун эса умумий ҳолда кўриб чиқилмаган. Ўта кўп сондаги  $n-p-n$  ўтишлар тизими соҳасида олиб бориладиган назарий тадқиқотлар ярим ўтказгичлар физикасида жавобини кугаётган жуда кўп муаммоларни ойдинлаштиради. Супер кўп қатламли системаларнинг бир жинсли соддалаштирилган моделлари учун эса баъзи бир назарий тадқиқотлар олиб борилган [4,10].

### АФН спектрлари ҳақида

АФН спектрларига жуда кўп авторлар ўз ишларини бағишлаган [2]. Si, CdTe, Ge, Se, Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>, Cd, GaP ва бошқа халькогенид бирикмалар АФН-қатламларидаги фотоқучланиш спектрларини ўрганиш натижалари шуни кўрсатадики, АФН хусусий ютилиш соҳасидаги ёруғлик таъсирида пайдо

бўлади. Турли моддалар учун келтирилган спектрал характеристикалардан кўринадики, спектрал боғланишлар ичида фотокучланишлар ўз ишорасини ўзгартирган  $V_{\text{АФН}}(\lambda)$ . боғланишлар ҳам бор. Шу нарса ҳам маълум бўлдики, ишора алмашиш нуктасининг абсцисса ўқидаги ўрни катламларни олиш жараёнидаги технологик параметрларга ҳам боғлиқ экан. Спектрал боғланиш характериини таҳлил қилиб, АФН табиати ҳақида маълумот олиш мумкин экан. Демак, спектрал тақсимланишга қараб, АФН ҳосил бўлишининг элементар жараёнлари хақида фикр юритиш мумкин. АФН-катламларни қисқа ва узун тўлқинли ёруғлик билан ёритиб кўрайлик.  $V_{\text{АФН}}(\lambda)$  боғланишдан кўринадики, қисқа тўлқинлар соҳасидан узун тўлқинли ёруғлик соҳасига ўтганимизда, фотокучланиш ўз ишорасини ўзгартариши кузатилди.  $p-n$  ўтиш моделига асосан буни қуйидагича таҳлил қилиш мумкин. Маълумки,  $p-n$  ўтишлар каторида, катлам сиртига яқин жойларда бир хил ўтишлар (масалан,  $p-n$  ўтиш) жойлашса, сиртдан чуқурроқда иккинчи тип ўтишлар (масалан,  $n-p$  ўтиш) жойлашади. Қисқа тўлқинлар асосан катламнинг сиртига яқин соҳаларда ютилиб қолади. Узун тўлқинлар асосан катламнинг чуқурроқ қисмларигача кириб бора олади. Буни эътиборга олсак, ёруғлик узун тўлқинлар соҳасига ўтганда катламнинг чуқурроқ жойларида жойлашган ( $n-p$ ) ўтишлар ишлай бошлайди ва уларни активлашиши натижаси  $V_{\text{АФН}}(\lambda)$  спектридаги ишора алмашишига сабаб бўлади.

АФН-катламларнинг фотодиффузион моделида фотокучланиш спектридаги ишоранинг алмашиши аномал-дембер эффекти ҳисобига содир бўлади [11]. Агар АФН Дембер-эффекти ҳисобига содир бўлаётган бўлса, у ҳолда фақат ток ташувчилар генерациясигина эмас, балки уларнинг концентрацияси ҳам муҳим аҳамиятга эга.

Маълумки, нормал Дембер-эффектида ортиқча ток ташувчилар ёритилган сирт яқинида пайдо бўлиб, электрон ва тешиқлар ҳаракатчанлигининг фарқи натижасида, бу сирт ёнида ишораси, камроқ ҳаракатчанликка эга бўлган ток ташувчиларга мос бўлган ҳажмий заряд ҳосил бўлади. Бирок, нисбатан камроқ ютилувчи (узун тўлқинли ёруғлик) ёруғлик билан ёритилганда ток ташувчилар катламларда деярли бир текисда вужудга келади, натижада сиртдаги рекомбинация тезлиги жуда катта бўлганда фототашувчиларнинг катлам ичкарисидаги концентрацияси ёритилаётган сиртдагига қараганда ортиқ бўлади. Бу ҳолда, фотоэлектрон ва фототешиқларнинг диффузион оқими тушаётган ёруғликка қарама-қарши йўналишда бўлади (ёритилаётган сирт зарядининг ишораси, ҳаракатчанлиги ортиқроқ ток ташувчиларники билан мос келади). Демак, ёритилаётган сиртдаги рекомбинация тезлиги катта бўлганда фотокучланиш узун тўлқинли ёруғлик билан ёритилгандагидан бошқача бўлади.

Қисқа тўлқинларга ўтилганда эса ютилиш коэффициенти ортиши натижасида электрон-тешиқ жуфтлари фақат ёритилаётган сиртга яқин жойларда вужудга келади, биполяр диффузия оқими йўналиши

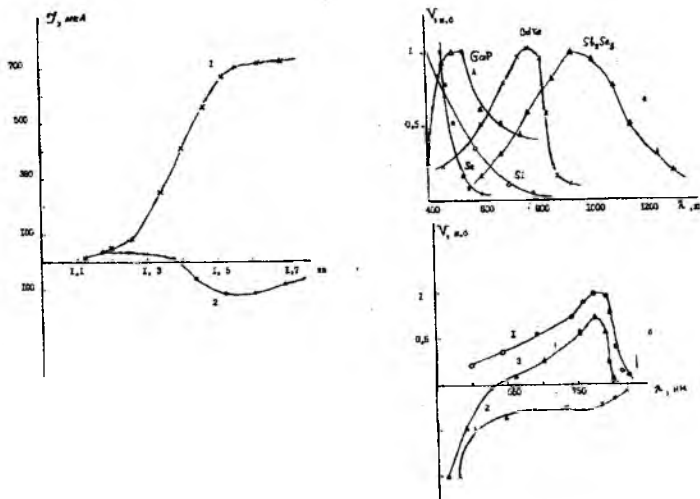
сиртлардаги рекомбинация тезликларига боғлиқ бўлмай қолади ва узун тўлқинли ёруғлик таъсиридаги фотокучланишнинг бурчак диаграммасида ишора ўзгариши керак. Аксинча, фотовольтаик механизмга эга бўлган фотокучланишнинг бурчак диаграммасида ҳеч қандай тўлқин узунлигида ишора ўзгармаслиги керак. Демак, аномал Дембер эффекти ва  $p$ - $n$  ўтишларда кузатиладиган фотокучланиш ишорасининг ўзгармаслик муаммосини қисқа тўлқинлар соҳасида АФН спектрини ўрганиш билан ҳал қилинади.

Худди шу йўл билан ўрта тўлқинлар соҳасида фотомагнит эффект қисқа туташув токи спектридаги ишоранинг алмашинувини ҳам тушунтириш мумкин [12].

Фототок спектри ( $J_{\phi}(\lambda)$ )  $\lambda$  нинг ҳеч қандай қийматларида ўз ишорасини алмаштирмайди. Спектрнинг  $\alpha d > 1$  бўлганда  $\lambda$  нинг ўсиши билан  $J_{\phi}$  нинг максимумга интилиши кузатилади.  $\alpha d < 1$  бўлган соҳаларда эса фототок камайиши кузатилади.  $J_{\phi}(\lambda)$  ва  $J_{\text{ФМЭ}}(\lambda)$  спектрлари чизиклари, рекомбинация тезликларининг ҳар қандай қийматларида ютилиш эгрилигини  $\alpha(\lambda)$  такрорлайди.

АФН-қатламлар спектрига катта электр майдонларининг ва иссиқликнинг ҳар хил таъсирларини ўрганиш натижасида қатлам тузилиши, таркиби ҳақида қўшимча маълумотлар олиш мумкин. Шу билан бирга электр майдони қатлам моддасининг фундаментал ютилиш чегарасини ҳам силжитади. Спектрал боғланиш эгрилигининг шаклини сезиларли ўзгартиради. Бу ўзгаришларни адсорбцион оптик фазовий таҳлил мақсадида ҳам фойдаланиш мумкин. Бу соҳада жавобини қутаётган назарий ва амалий муаммолар ҳал қилинса, янги асбоблар, модда тузилиши таркибини ўрганишнинг эффектив усуллари яратиш билан бир қаторда АФН-эффект физикаси учун ҳам янги, ўта муҳим маълумотларга эга бўлинади.

АФН-қатламлар спектрлари қутбланган ёруғликда тадқиқ қилинганда қутилмаган натижаларга олиб келиши мумкин. Қатлам тузилишининг оптик анизотропиясига боғлиқ ҳодисалар қутбланган ёруғликда унинг спектрларини ўрганиш жараёнида аниқроқ кўринади. Бу натижаларнинг амалда фойдаланиш имкониятларини аниқлаб олиш мумкин. Булар ҳақида, батафсил, кенгрок алоҳида фикр кейинроқ берилади. Баъзи АФН-қатламларнинг типик спектрал боғланишлари 26-расмда келтирилган. Шу билан бирга баъзи АФН-қатламларнинг спектрал боғланишларининг формалари, қатламларни олиш технологияси билан боғлиқ бўлган параметрларга қараб ҳам бир-биридан фарқ қилиши мумкин. Баъзи моддаларнинг АФН-қатламларини спектрал характеристикаларида эса фотокучланиш ишорасининг ўзгариши (инверсияси) ни кузатиш мумкин. Мураккаб ярим ўтказгич қотишмаларидан тайёрланган АФН-қатламларда технология жараёнида қотишмага кирган элементларнинг стехиометрик нисбатининг ўзгариши фототок спектрини ҳам ўзгартиради.



26-расм. АФН-катламларнинг типик спектрлари(а); теллурид кадмийнинг уч хил катлами учун АФН спектрлари(б); кадмий билан бойитилган теллурид кадмий ( $\text{CdTe}$ ) катламларида фототокнинг ўзгариши(в): 1-очик сиртдан ёритилганда, 2-таглик томондан ёруғлик тушганда.

## Теллурид кадмийда ( $\text{CdTe}$ ) АФН учун кадмий жавобгардир

АФН олиш технологиясидаги дастлабки интилишлар кўпчилиги катта кучланиш олиш билан боғлиқ. Бунинг икки хил сабаби бор: биринчидан АФН-катламларни амалий тадбиғи юқори кучланишни қандай ва қайси жойда ишлатиш масаласи, иккинчидан унинг физикасидир. Шу сабабли кўп авторлар сантиметрларда киловольтлар олишга ҳаракат қилишган. Ҳозиргача АФН олинган моддаларнинг ичида сантиметрда нисбатан катта кучланиш берадиган  $\text{CdTe}$  (10 кВ), ундан кейинги ўринда  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$ . Бу моддалардан олинган АФН-катламлар хона температурасида бир неча киловольт кучланиш бера олади. Баъзи моддалардан олинган АФН-катламлар совутилса, оддий шароитдаги фотокучланиш бир неча тартибга ортиши мумкин. Лекин совутиш учун кўшимча энергия ва қурилмалар керак. Бу эса ишлатишда ноқулайлик туғдиради. Киловольтлар берадиган АФН-катламлар олиб, амалий мақсадларда ишлатишга қизиққан кўнгина авторлар  $\text{CdTe}$  ва  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$  га мурожаат қила бошлашди. Фотокучланиш катталиги АФН-катламнинг олиш технологиясидаги кўпгина параметрлар билан боғлиқ. Шу билан бирга тажриба натижаларининг кўрсатишича АФН-катлам тайёрланадиган модда

структураси билан ҳам боғлиқ. Масалан,  $CdTe$  моддасидан АФН-катлам тайёрлаш жараёнида қатламдаги стехиометрик таркибни  $Cd$  ва  $Te$  нисбати ўзгартириши мумкин.

Шу йўл билан қатламнинг фотоэлектрик ( $V_{\text{АФН}}$ ) хусусиятларини тамоман ўзгартириб юбориш мумкин.  $CdTe$  да олиб борилган тажрибалар шуни кўрсатадики, юқори (киловольтлар) кучланиш берадиган АФН-қатламларнинг ҳаммаси кулранг (хира) тусга киради. Бу эса қатламда  $Cd$  концентрацияси ортиқ эканлигини кўрсатади.  $Cd$  АФН-қатламлари таркибда  $Te$  концентрациясининг ортиши билан қатлам ялтирокланиб, корамтир-жигаранг тусга киради. Таркиби  $Cd$  га бой  $CdTe$  АФН-қатламлари олиш учун икки манбали буғлатгичлар ишлатилади. Бундай манбанинг биридан  $Cd$  иккинчисидан эса  $CdTe$  учурилади.  $Cd$  га бой  $CdTe$  АФН-қатламларида  $n-n'$  - ўтишлар, стехиометрик таркибдаги  $CdTe$  АФН-қатламларида эса  $p-p'$  - типдаги ўтишлар ҳосил бўлиши тахмин қилинади. Бу ўтишлар албатта қатлам сиртидан ҳар хил чуқурликда жойлашади. Қиялатиб буғлатиш сабабли ҳосил бўлган кристаллчаларнинг «устунсимон» жойлашуви ҳар хил чуқурликда жойлашган электрон-тешик ўтишларнинг анизотропик ёритилишига сабаб бўлади. Шуни ҳам таъкидлаш керакки, иккинчи манба ёрдамида киритилаётган  $Cd$  кристалл нанжара тугунларидаги бўш жойларни эгаллайди ва панжарани тартибга солади. Бу эса потенциал тўсикларнинг қарама-қарши томонга алаштириши мумкин.  $CdTe$  нинг га  $Cd$  бой АФН-қатламларини олиб, 1 см узунликдаги қатламда 10 кВ га яқин фотокучланиш олишга эришилди. Бундай АФН-қатлам қалинлиги 1,5 мкм бўлиб, улар шиша тагликка  $40^\circ$  бурчак остида буғлатиб олинган. Кадмийга бой  $CdTe$  АФН-қатламлари нега ўта юқори (киловольтлар) фотокучланиш бериши масаласи келгуси илмий-текширишлар мавзуси бўлади. Маълумки, АФН-қатламдагина эмас, умуман юпқа қатламларда стехиометриянинг сақланиш сақланмаслигига, қараб, уларнинг кўпгина электрофизик, фотоэлектрик хусусиятлари ўзгариб кетиши табиийдир. Бу соҳада электронографик ва микроскопик текширишлар олиб бориш керак.

Электрон-микроскопда олиб борилган текширишлар [13] кристаллитлар ориентацияси молекуляр оқимнинг буғлатишдаги йўналишига боғлиқлиги, кристаллитлар сони ва ўлчамлари ҳақидагина маълумот бериш билан чекланмоқда [6].

Кристаллитларнинг АФН-қатлам бўйлаб чизикли зичлигини орттириш йўли билан ҳам фотокучланиш катталигини орттириш мумкин.

Тайёр олинган  $CdTe$  АФН-қатламлари  $Cd$  билан бойитиш мақсадида ҳавоси  $10^{-4}$ - $10^{-5}$  тор вакуумгача сийраклаштирилган кварц ампулага  $CdTe$  қатламлари жойлаштирилиб,  $Cd$  буғида юқори температурада қиздирилди. Кадмий буғларининг юқори босимини таъминлайдиган температураларда кадмий атомлари  $CdTe$  қатламига диффузияланади (киради). Натижада, диффузияланган кадмий атомлари  $CdTe$  қатламидаги кристаллчалар ораликларига жойлашиб, бемалол қатлам бўйлаб миграцияланиши мумкин. Бунинг натижасида бўлса керак баъзи қатламларнинг электр

Ўтказувчанлиги ва АФН кучланиши кескин ортиши кузатилади. Баъзи АФН-катламларда эса кадмий бугида ишлов берилгандан сўнг ҳатто дастлабки фотокучланиш ҳам йўқолган. Кадмий бугида CdTe катламларини термик ишлов бериш жараёнида бошқариладиган ва бошқариб бўлмайдиган жараёнлар содир бўлади. Кристаллитлар орасида диффузия туфайли миграцияланувчи кадмий атомлари қатлам сиртидан ҳар хил чуқурликларда жойлашувчи потенциал тўсиқлар ( $p-n$  ёки  $n-p$  ўтиш) топологиясига таъсир қилиб, фотоактив  $p-n$  ўтишларнинг баъзиларини нофотоактив ҳолатга ўтказишади. Натижада, фотокучланиш камаёди. Миграцияланувчи кадмий атомлари қатламдаги нофотоактив  $p-n$  ўтишларни фотоактив қилиб, қўйиши ҳам мумкин. Бу ҳол юз берганда фотокучланишнинг ортиши кузатилади. Қатлам ўтказувчанлигининг ( $\sim 1/R$ ) ўзгаришини ҳам юқоридаги йўл билан изоҳлаш мумкин. Кўпгина катламларда Cd бугида термик ишловдан сўнг қаршиликнинг ортиши кузатилади. Cd бугида термик ишловдан чиққан қатламларнинг люкс-вольт характеристикаларида фотокучланишнинг жуда тез тўйинишига чиқиши кузатилади. Фототок спектри ҳам ўзгаради.

Демак, кадмий бугида ишловдан чиққан қатламлардаги кристаллитлар орасидаги потенциал тўсиқлар характери дастлабки ҳолатдан кескин ўзгариб кетади. Бунга кадмий атомларининг кристаллитларо миграцияси сабаб бўлиши керак.

Кадмийга бой кадмий теллур АФН-катламларида аномал ФМЭ ни текшириш натижаларининг кўрсатишича, бу қатламларда аномал фотокучланиш билан бир қаторда, қатламлардаги аномал ферромагнит кучланишлари оддий АФН-катламларга нисбатан 2,3 марта ортаганлиги кузатилади. Кадмийга бой АФН-катламлар олиш технологиясини мукаммаллаштириш натижасида қатламлардаги фотовольтаик жиҳатдан, яъни фотоактив характердаги электрон-тешиқ ўтишлари сонини технологик йўл билан бошқариш мумкин бўлади. Кадмийга бой CdTe АФН-катламларининг ҳаммасида (биз текширган) аномал ФМЭ ти кузатилади. Кадмий теллурдан тайёрланган АФН-катламларнинг ҳаммасида ҳам аномал ФМЭ ти кузатилмайдди. Бу ҳолат ҳам АФН-катламларни тайёрлаш технологиясига ҳам боғлиқ. Маълумки, кадмий теллур АФН-катламларида ички фотоэлектрет (ташки қутбловчи электр майдонисиз) аномалияси кузатилади. Бу ҳодисага кадмий теллур қатламларининг кадмий билан бойитилиш даражасининг таъсири ўрганилди. Маълум бўлдики, кадмий теллурга киритилаётган қўшимча кадмий атомларининг маълум қийматларигача фотоэлектрет эффектнинг кучайиши кузатилади. Қўшимча кадмий атомларининг маълум қийматидан бошлаб фотоэлектрет эффектнинг сусайиши кузатилиб, қўшимча кадмий атомларининг етарли катта (ўга бойитилган ҳолатларда) қийматларида фотоэлектрет эффект тамоман йўқолиб кетади. Бу ҳолат юпка (1,5 мкм дан кичик қалинликларда) қатламларда тез содир бўлади. Фотоэлектрет кучланиши билан қўшимча кадмий атомларининг концентрацияси орасидаги боғланишни характери кўпгина текширилган намуналарда, дастлаб



кўшимча кадмий атомлари ортиши билан фотоэлектрет кучланиш ҳам монотон ортиб, «максимум» га эришади. Ундан сўнги кадмий атомларининг ортиши фотоэлектрет кучланишнинг монотон ортишига эмас, балки фотоэлектрет кучланишнинг монотон камайишига сабаб бўлади. Бу ҳодисанинг механизми тадқиқ қилишни талаб этади.

## АФН-қатламлар совутилса унинг фотокучланиши ортади

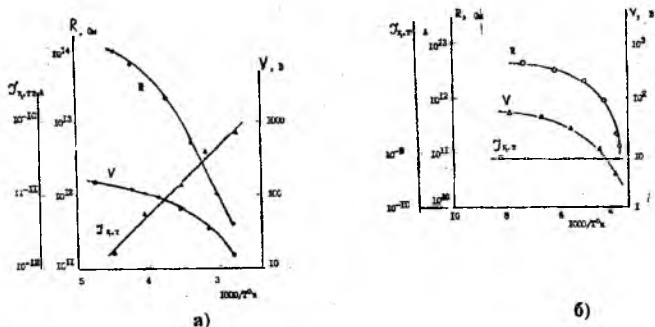
АФН-қатламга иссиқликнинг таъсирини текширишда қатламлар совутилганда ( $-75^{\circ}\text{C}$ ) улардаги кўпгина «пассив» потенциал тўсиқлар (яъни  $p$ - $n$  ўтиш) фотоактив ҳолатга ўтади, деган илмий тахмин асос қилиб олинди. Бу тахминларни асослаш мақсадида кўпгина АФН-қатламларда температурага боғлиқ ўлчашлар олиб борилди [2]. Бу ўлчашлар юқоридаги тахминларни тасдиқлади.

АФН-қатламдаги температуранинг пасайиши билан қатламларнинг фотокучланиш ва қаршилиги ортар экан. Температурага боғлиқ ўлчашларда асосан  $V_{\text{АФН}}(T)$ ,  $J_{\text{к.л}}(T)$  ва  $R(T)$  характеристикалар текширилди. Қатламлар ҳавоСИ  $10^{-2}$  мм  $\text{Hg}_{\text{уст.тача}}$  сийраклаштирилган махсус камера (криостат) ларга жойлаштирилди. Бундай камералар температурали ўлчашларга мўлжаллаб махсус ясалган бўлиб, қатламга ҳар хил температура, ёруғлик бериш имконияти бор.

27-расмда ўлчаш натижалари  $\text{CdTe}$  ва  $\text{GaAs}$  АФН-қатламлари учун келтирилган. Расмдаги  $J_{\text{к.т}}(T)$  характеристикадан кўринадики  $\text{CdTe}$  қатламларидаги қисқа туташув токи температурага қарийиб боғлиқ эмас экан. Қатламда ҳосил бўлаётган фотокучланиш билан қатлам қаршилигининг температурага боғланиши бир-бирига жуда ўхшайди.

Галлий арсениди қатламларидаги температурали боғланишлар характери теллурид кадмийдаги кузатилган боғланишларга тамоман ўхшамайдиган томонлари ҳам бор. Масалан, температура пасайиши билан қисқа туташув токи экспоненциал равишда камаяди. Фотокучланиш температура билан экспоненциал боғланган эмас. Қатлам қаршилиги температурага фақат  $300\text{--}250^{\circ}\text{K}$  ораликдагина экспоненциал боғланиш беради.

$\text{Sb}_2\text{Se}_3$  АФН-қатламларидаги температуравий боғланишлар характери теллурид кадмийга ўхшаб кетади. Лекин, халькогенидларда, германий ва кремний қатламларидаги температуравий боғланишлар галлий арсениди характеристикаларини такрорлайди. Текширилган АФН-қатламлар қарийиб ҳаммасида  $V_{\text{АФН}}(T)$  ва  $R(T)$  ва боғланишлар характери бир-бирига мос келиши [3]  $V_{\text{АФН}} = f(B, R)$  формуладан келиб чиқади. Бу эса АФН-қатламларда бирламчи жараён фототок генерацияси бўлиб, фотокучланиш эса фототокнинг юқори ички қаршиликли ( $\sim 10^{11}$  Ом) фотогенератордан ўтишини натижаси эканлигини кўрсатади.



27-расм. АФН-қатламлардаги  $V_{\text{AФН}}$ ,  $J_{\text{к.т.}}$  ва  $R$  ларнинг температуравий боғланишлари: а- CdTe ва б- GaAs.

Тор тақиқланган зонали ярим ўтказгич юпқа қатламларда ҳона температурасидаги ҳароратда аномал фотокучланиш ва фотомангнит кучланишлари умуман оз (масалан, кўрғошин сульфиди учун  $\Delta E = 0,4$  эВ ҳосил қилган аномал юқори фотокучланиши  $\sim 2$  В бўлган) бўлади. Бундай қатламлар суюқ азот ҳароратигача совитилса, аномал юқори фотокучланиши бир неча ўн минг вольтгача кўтарилиши кузатилади. Суюқ азот температураларида АФН-қатламларнинг спектрини ўрганиш, кўшимча чуқур тадқиқотлар олиб бориш кераклигини кўрсатади. Чунки, мавжуд назариялар асосида тушунтириб бўлмайдиган ҳодисалар, қонуниятлар кузатилиб, уларнинг механизмини аниқлаш учун АФН-қатламлардаги температуравий ҳодисаларни чуқурроқ тадқиқ қилиш керак бўлади. Маълумки, тор зонали ярим ўтказгичларнинг тақиқланган зонасидаги аралашма атомлари сатҳлари уй ҳароратидаёқ ионлашиб қолган бўлади. Бу бўш сатҳлар паст ҳароратларда фотоактив ҳолатга ўтади. Фотоэлектрик кучланиш ҳосил қилиш жараёнида қатнашади. Бу атомларнинг ҳиссасига тўғри келувчи улуш спектрал характеристикаларнинг узун тўлқин соҳасида «дум» сифатида кўриниши керак (модда спектри сингари).

Лекин, аномал фотоэлектрик, фотомангнит кучланиш генерация қиладиган юпқа ярим ўтказгич қатламларнинг аксариятида, спектрал характеристикаларнинг ёт аралашма атомларига тегишли узун тўлқин соҳасидаги қисми кўп ҳолларда кузатилмайди. Бундан АФН-қатлам юпқа пардаларида ёт аралашма атомлари киритилмаган деган хулосага келиш мумкин. Умуман олганда, бунга ўхшаш ҳолатлар, паст температураларда, кўпгина АФН-эффект кузатиладиган юпқа ярим ўтказгич пардаларида кузатилади. Бу натижалар ҳам чуқур тадқиқот қилишни талаб этади.

Мураккаб ярим ўтказгич бирикмаларидан тайёрланган АФН-қатламларда фотокучланишнинг юқори манфий температуравий коэффициенти (МТК), қисқа туташув тоқининг эса кичик МТК нинг кузатили улардан юқори сезгирликка эга бўлган, паст ҳароратда ишловчи

генератор типдаги фотоприёмниклар (ГТФП) яшаш мумкинлигини кўрсатади. Бундай ярим ўтказгич бирлашмалардан олинган АФН-катламлар паст температураларда ( $\sim 77^\circ\text{K}$ ) кучсиз ёруғликларни ( $\sim 10^6$  Вт·см<sup>-2</sup>) ҳам сеза олади. Улардан 10-20 кВ фотокучланиш берадиган ГТФП лар яшаш мумкин.

Охирги пайтларда кадмий, симоб ва теллур аралашмасидан тайёрланган (КСТ) катламларнинг фотоэлектрик хусусиятлари кенг ўрганилмоқда. Бу аралашма умуман тор зонали материал бўлиб, паст температураларда ишлайди. Унда олинган ГТФП ларнинг дастлабки намуналари яхши натижалар бериши кутилмоқда. Уларнинг юпка катламлари ёритилганда (паст ҳароратда) киловольтлар бериши билан бир қаторда таркибдаги элементларнинг нисбатининг бир оз ўзгариши ҳам спектрал соҳасини бошқа соҳаларга қатта ўзгариш билан ўтиб кетишига сабаб бўлади (1 мкм дан 20 мкм гача). Бу ўз навбатида кенг спектрал соҳаларда (кўринмас ва кўринадиган нурулар) ишлаш қобилиятига эга бўлган оддий ва ГТФП ярагиш имкониятини беради. Лекин, (CdHg)Te қотишмаларидаги температуравий боғланишларнинг табиатидаги аниқмасликлар чуқурроқ тадқиқотларни талаб этади. Шунга боғлиқ равишда (CdHg)Te қотишмасида ҳар доим жуда кўп сондаги деффектлар ва улар билан боғлиқ аралашма атомлари мавжуд. Уларнинг табиати кам ўрганилган. Кадмий, симоб ва теллур аралашмасини тайёрлашда, технологияга боғлиқ равишда, баъзи намуналар теллур билан бойитилган, баъзиларида эса ҳар доим симоб атомларининг етишмаслиги кузатилади. Симоб атомларининг етишмаслиги акцептор сатҳлари ҳосил қилса, уларнинг панжара тугунлари орасига кириб қолиши донор сатҳларни вужудга келтиради. Демак, (CdHg)Te қотишмаларида ҳар доим жуда кўп сондаги нуқтавий деффектлар мавжуд бўлиб, улар ичида асосийси тугунлар орасига жойлашган симоб атомлари ҳисобланади. Уларнинг концентрацияси етарли қатта бўлиб ( $10^{18}$ - $10^{19}$  см<sup>-3</sup>) тақиқланган зонада алоҳида “зонача” ҳосил қилади. Вакансимон ва тугунлараро атомларнинг бундай зонаси валент ёки ўтказувчанлик зонасига туташиб кетади. Бу ҳолатни ўрганиш (CdHg)Te катламларидаги кузатилган аниқмасликларга ойдинлик киритиши керак.

## Механик кучланишларни АФН қайд қилади

Қатта механик кучланишлар ёрдамида қаттиқ жисмларнинг физик хусусиятлари ҳақида маълумот олиш мумкин. АФН-катламлар бағишлаган ишларда асосан чўзилиш деформацияси қўлланилган [2]. Чунки, ҳозирги пайтда қаттиқ жисмлардаги олиб борилаётган тадқиқот ишларида қўлланилаётган гидростатик қисийш усулини юпка ярим ўтказгич АФН-катламлари учун қўллаб бўлмайди.

АФН-катламларда механик кучланишлар ҳосил қилиш ва унинг АФН-структурага ва унинг турли характеристикаларига таъсирини аниқ

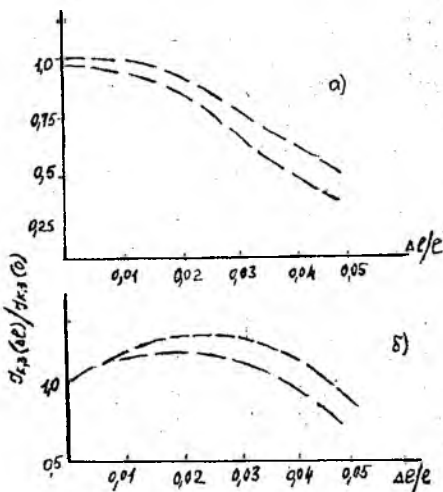
баҳолаш мақсадида АФН-қаватларни полимер тагликларга олиш технологияси ишлаб чиқилди. Эластик деформацияси даражаси юкори бўлган полимер тагликларнинг АФН-қатламлар билан адгезияси етарли даражада яхши бўлганлиги учун механик кучланишларни тагликдан қатламга узатиш имконини беради.

Таглик сифатида жуда мустаҳкам, иссиқликка чидамли бўлган полиэтилен тетрофталат юпка ленталаридан ишлатилди.

АФН-қатламнинг деформацион характеристикаларини қайд қилиш мақсадида оддий микрометрик винтдан фойдаланилди. Бу винтга жойлаштирилган мосламалар ёрдамида чўзилишни 10 мкм гача аниқлик билан ҳисобга олиш мумкин. Қатламда ҳосил бўлаётган фототок қисқа туташув режимида ўлчанди. 28-расмда АФН-қатламнинг деформацион характеристикалари сифатида  $J_{кт}(\Delta\ell/\ell)$  боғланиш графиклари кўрсатилган.  $CdTe$  ва  $Sb_2Se_3$  АФН-қатламларида  $J_{кт}(\Delta\ell/\ell)$  боғланиш  $\Delta\ell/\ell$  ортиши билан монотон равишда камайиши кузатилади.  $GaAs$  қатламлар учун эса бу боғланиш қабарик (дастлаб ўсади, сўнг камайиш бошланади) шаклга ўтади. Тажрибалар асосан  $\Delta\ell/\ell$  нинг 5% чегарасида ўтказилган. АФН-қатлам девормациясига доир тажриба натижаларини фотовольтаик ( $p-n$  ўтиш) ва фотодиффузион механизмлар нуқтаи-назаридан таҳлил қилайлик. Бунинг учун  $CdTe$  ва  $Sb_2Se_3$  АФН-қатламларнинг физик моделларига муурожаат қилинади. Моделга диққат билан қарасак, масалан,  $p-n$ -ўтишлар кетма-кет занжири чўзилганда, кристаллитлар орасидаги соҳалар (контактин) қаршилиги ортиб боради, бунинг натижасида деформация ( $\Delta\ell/\ell$ ) ортиши билан фототок камайиб бориши керак.  $CdTe$  қатламларида олинган натижалар буни тасдиқлайди.

Фотодиффузион механизм билан ишлайдиган АФН-қатламларида деформацион характеристикалар ( $J_{кт}(\Delta\ell/\ell)$ ) характери бошқача бўлиши керак. Элементар фотокучланишлар қатлам бўйлаб қўшилиши учун микрофотозэлементлар (кристаллитлар) орасида актив бўлмаган соҳалар бўлиши керак. Бу соҳалар ҳам икки қўшни микрофотозэлементлар орасидаги чегарада эркин заряд ташувчилар концентрацияларининг тенглашишига ҳалакит берувчи ажратувчи қатлам бўлиб, ҳам балласт қаршилиқ бўлиб хизмат қилади.

Қатлам чўзилганда бу соҳалар ҳам чўзилади ва бунда икки хил ҳодиса юз беради. Биринчидан актив соҳалар орасидаги «эркин» заряд ташувчилар концентрацияларининг тенглашишига ҳалакит берувчи ажратувчи қатлам қаршилиги ортади. Биринчи эффект иккинчисидан ортиқ бўлганда чўзилиш ортиши билан фототок монотон равишда ортиб боради. Иккита қўшни актив соҳалар орасида ток ташувчиларнинг алмашиши тўхтагач, иккинчи ҳодиса балласт қаршилиқнинг ортиши асосий рол ўйнаб қолади. Бу ҳол чўзилиш ортиши билан фототокнинг камайишига олиб келади.  $GaAs$  қатламларидаги фототокнинг чўзилишга боғланишини ифодаловчи графикни [2], шу иккала ҳодисанинг биргаликда амал қилиши натижаси деб изоҳлаш мумкин.



28-расм. Қисқа тугашув токининг АФН-қатлам чўзилишига боғлиқлик графиги ( $J_{\text{кТ}}(\Delta\epsilon/\epsilon)$ ):

а) кадмий теллуриди учун; б) галлий арсениди учун, (хар бир материалдан иккитадан намуна учун график келтирилган).

АФН-қатламларнинг деформацион характеристикаларининг табиати қатламларда ҳосил бўладиган аномал юкори фотокучланишнинг фотовольтаик (*n-p*- ўтиш), фотодиффузион механизмлари нуқтаи-назаридан таҳлил қилинди. Лекин, бундай таҳлил ходисаларнинг туб моҳиятини тўлиқ тушунтириб бера олмайди. Бу деформацион ходисаларнинг ҳақиқий моҳиятини билиш учун, механик кучланишлар вақтида зоналардаги ўзгаришлар моҳиятини билиш керак бўлади. Чунки, деформация тақикланган зона кенглигини ўзгартиради. Кўпгина АФН-эффekt кузатиладиган моддаларнинг тақикланган зонасида ёт элементлар ёки структуравий элементларнинг концентрацияси етарли катга бўлган ҳолларида ҳосил бўладиган қўшимча «зонача» лари ҳам бўлади. Бу «зонача» лар деформацияланиши натижасида, хали фанга маълум бўлмаган аномалиялар ва унга боғлиқ ходисалар кузатилиши мумкин. Масалан, ярим ўтказгич полуметалл ҳолатга ўтиб қолиши ва аксинча ходиса ҳам кузатилиши мумкин.

## АФН фотоэлектрет ҳолатга киради

АФН-қатламнинг люкс-вольт характеристикаларини текшириш жараёнида шу нарса маълум бўлдики, баъзи АФН-қатламларнинг (Si, Ge ва бошқаларда) люкс-вольт характеристикалари координата бошидан ўтмайди. Бу қатламларда 0,1-0,5 В дастлабки кучланиш борлиги маълум бўлди. Коронгида шу намуналарни контактларини очик саклаб, бир йилдан ортиқ ушланганда ҳам бу кучланиш ўзгаришсиз қолган. Вакуумда бу қатламларни 100°C гача қизидирилганда ҳам бу кучланиш йўқолмаган. Бу электрет кучланиш қатламини қия ҳолда ўтказиш жараёнида кутбловчи майдонсиз вужудга келади. Бу электрет ( $V_{эл}$ ) кучланиш ишораси қатламда вужудга келадиган  $V_{АФН}$  билан мос келиши ҳам, унга қарама-қарши ҳам бўлиши мумкин. Баъзи қатламларда  $V_{АФН}=0$  бўлишига қарамай  $V_{эл}$  нолдан фарқли бўлади.

Фотоэлектретнинг вужудга келишида асосий ролни «майда» сатҳлар бажаради. Табиийки «майда» сатҳларда фақат асосий бўлмаган ташувчилар фаолияти қаралади. Чунки асосий ташувчилар учун чуқур сатҳлар уларга мос зоналардан етарли узоқ жойлашганлиги (Ферми сатҳига нисбатан) сабабли уларнинг активлиги жуда паст бўлади.

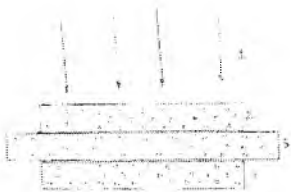
Ҳажмий зарядларнинг чуқур «майда» сатҳлар томонидан ушлаб қолинган асосий бўлмаган (номувозанатли) ташувчилари юпқа каватларда олинган фотоэлектретлардаги кутбланиш ва релаксация учун жавобгардир. «Майда» сатҳларда жойлашиб олган ток ташувчилар вужудга келтирган АФН даги релаксация табиати, фотоэлектрет релаксацияси билан бирдир. Шунинг учун микро *p-n* ўтишли АФН-қатламларда кутбловчи майдонсиз вужудга келувчи янги фотоэлектрет типини кутиш мумкин. Фотоэлектретнинг пайдо бўлиш жараёни куйидаги босқичлардан иборат: 1) эркин ток ташувчиларнинг диэлектрик ёки юқори қаршиликли ярим ўтказгичлардаги генерацияси; 2) электрон ва тешикларнинг фазовий бўлиниши; 3) фазовий бўлинган ток ташувчиларнинг етарли чуқур локал сатҳларга жойлашиши.

Биринчи, иккинчи жараёнлар ташқи фактор-ёруғлик ва электр майдони таъсирида содир бўлса, учинчиси эса қатламда «майда» сатҳларнинг бўлиши билан боғлиқ.

Микро *p-n* ўтишли структурада фотоэлектрет ёруғлик ва кутбловчи майдон билан биргаликда таъсир этганда вужудга келиши мумкин.

Шунингдек, ташқи майдонсиз фақат ёруғлик ҳисобига вужудга келиши ҳам мумкин. Кейинги ҳолатда ташқи кутбловчи майдон ролини ички *p-n* ўтишлар майдони бажаради. *p-n* ўтишли структурада (АФН) юз ва минг вольтлар тартибидаги фотокучланишлар генерация қилиниб, ҳосил бўлган бу юқори кучланиш кутбловчи майдон бўлади. Яқка *p-n* ўтишли структурада фотокучланиш вольтнинг улушларидан ошмайди. АФН-структурада 100 минглаб, *p-n* ўтишлар кетма-кет уланган занжири ҳосил бўлиб, улардаги элементар ( $V_i = kT/q$ ) кучланишлар йиғилиб улкан майдон ҳосил қилиши мумкин.

АФН-қатламлардаги фотоэлектрет ходиеасига бағишланган ишлар кўп эмас. Кадмий теллуриди ва  $Sb_2Se_3$  моддаларидаги фотоэлектрик ҳолатни [14] ишда ўрганилган. Фотоэлектретларнинг назарияси [2,15] ишларда ўз аксини толган. Бу ишларда кўрсатилишича фотоэлектрет ҳолатлар кадмий билан бойитилган  $CdTe$ , селенга бойитилган  $Sb_2Se_3$  АФН-қатламларда ва кумуш, мис (билан легирланган) атомлари киритилган  $CdTe$  қаватларида кузатилади. Бундай технология билан яратилган фотоэлектретларда ташқи электр майдони ишлатилмай кутбланишга эришилади. Уларнинг фотокутбланишини электродларининг уланмаган ҳолатида, ҳамда қиска туташтирилган ҳолатда амалга ошириш мумкин. Бунинг учун фотоэлектрет қатлам ўлчов асбобига уланади. Сўнг интенсивлиги тахминан  $8 \cdot 10^{-2}$  Вт/см<sup>2</sup> бўлган ёруғлик билан бир неча минут давомида ёритилиб турилади. Ёритилиш натижасида 1 см узунликда 500 В га яқин АФН ҳосил бўлади. Ёритилиш тўхтатгандан сўнг бир неча секунд АФН-қатлам электродлари (учлари) қиска туташтирилиб турилади ва АФН нинг тамоман йўқолишига эришилади. Ундан сўнг қатлам яна ўлчов асбобига уланади. Асбоб фотоэлектрет ҳолатга тўғри келувчи қолдик кучланишни кайд қилади. Фотоэлектрет ҳолат кучланиши секин-аста ортиб, 2-3 минут вақт оралиғида тўйиниш қийматида эришади. Бунда ўлчанган фотоэлектрет кучланиш 90-100 В га етган. Бундай фотоэлектретлардан оптоэлектроникада бошқарилувчи хотира элементларида фойдаланиш мумкин. Бундай хотира элементи вазифасини уч қатламли фотоэлектрет қатлами-тағлик-катта қаршиликли ярим ўтказгич структураси бажаради. 29-расмда уч қатламли фотоэлектрет лойиҳаси келтирилган. Унда, 1-ёруғлик оқими, 2-кадмий билан бойитилган теллурид кадмий АФН-қатлами, 3-диэлектрик қатлам, 4-катта қаршиликли ярим ўтказгич кристалли.



29-расм. Уч қатламли фотоэлектрет лойиҳаси.

АФН-қатламларда ташқи кутбловчи электр майдонисиз кузатиладиган фотоэлектрик эффект янги типдаги электрет ҳолат бўлиб, бу эффект назариясини Адирович Э.И. ривожлантирган [2]. АФН кузатиладиган ҳамма ярим ўтказгич материалларда ҳам, уларнинг аномал эффект кузатиладиган юпқа пардаларида ҳам янги фотоэлектрик ҳолатни вужудга келтирувчи жараён яхши ўрганилмаган. Бу соҳадаги ишлар адабиётларда жуда кам ёритилган.

Бу янги фотоэлектрик эффект бўлиб, унинг ишлаши учун унга табиий ёруғликнинг кучсизгина оқими тушиб турса кифоялик қилади. Ёруғлик ҳисобига ўзида (оддий электрётларда ишлагиладиган ташки кутбловчи электр майдони) фотоэлектр майдон кучланганлиги ҳосил қилиб, элементни электрёт ҳолатга киритади. Демак, АФН-қатламлар асосида ясаладиган электрёт элементлари автоном бўлиб, ташки электр майдонисиз ишлайди. Шу сабабли улар оптоэлектрон хотира қурилмаларида кенг фойдаланилиши шубҳасиздир.

АФН-қатлам ёритилиши билан электростатик индукция ҳисобига ярим ўтказгич кутбланади. Ёруғлик олингандан сўнг катта қаршиликли ярим ўтказгичда индукцияланган кучланиш релаксацияси етарли узоқ вақт давом этади.

### АФН нинг вақт доимийси нима?

АФН кинетикасига боғлиқ маълумотларни [2, 16] синчиклаб ўрганилса, шунга ишонч ҳосил қилинса бўладики, ҳамма ишларда АФН даги релаксацион жараёнлар бир томонлама ўрганилган. Яъни вақт доимийликларининг маъносини ечишда АФН нинг ўта соддалаштирилган моделларидан ва назарий маълумотларда [16] тақрибий ҳисоблардан фойдаланилган.

Соддалаштирилган моделда релаксациянинг иккита вақти хақида фикр юритилади. Уларнинг биринчиси фототокнинг хусусий релаксацияси вақти бўлиб, уни АФН ни вужудга келтирувчи физик жараёнларнинг инерциаллигини характерловчи параметр ҳам деса бўлади. Иккинчиси катламнинг умумий сифими ва нагрузка сифими, ҳамда қаршилиқлар орқали зарядланиш (ёки разрядланиш) жараёнлари билан боғлиқ ( $RC$ -параметр).

АФН кинетикасини ўрганишдаги соддалаштирилган моделда [16] фотокучланиш билан ёруғлик интенсивлиги ( $B$ ) орасидаги боғланиш  $V_{\text{АФН}}(B)$  чизикли деб ҳисобланади. Тажрибаларнинг [2] кўрсатишича, катламларнинг қўпларида  $B \approx 10^4$  лк дан бошлаб чизикли боғланиш йўқола бошлайди. Иккинчидан фототок ўсишини ягона  $\tau_0$  релаксация вақтини характерлайди деб қаралади. Лекин [16] да келтирилган моделни таҳлил қилиш шуни кўрсатадики, қисқа туташувга яқин ҳолатларда  $V_{\text{АФН}}(B)$  боғланиш чизикли боғланишга яқин бўлади. Шунинг учун АФН-катламларнинг қаршилиги жуда катта бўлганлиги ( $R \geq 10^{10}$  Ом) сабабдан тажрибада топилган АФН вақт доимийсини юқорида келтирилган фототокнинг хусусий ( $\tau_0$ ) релаксация вақти ва  $RC$  га боғлиқ зарядланиш (разрядланиш) вақтларидан иборат дейиш мумкин.

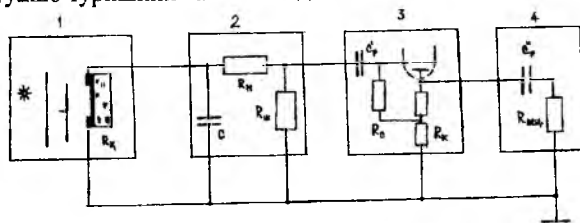
Ҳар бир қатламнинг ўзига хос хусусиятларига қараб, хусусий релаксация вақтлари ҳам ўзгаради. Масалаи, тажрибалардан маълум бўлдики, фототок спектрида  $J_{\text{ф}}(\lambda)$  ишоранинг ўзгариш ўзгармаслигига қараб ҳам катламларнинг  $\tau_0$  лари фарк қилади. Технологик жараён



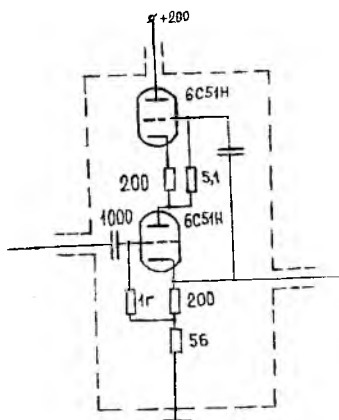
параметрларининг АФН-катламни характерловчи катталикларга таъсирини ўрганишдан олинган тажрибалар натижалари кўрсатишича қатлам ҳосил қилишда, молекуляр оқимнинг учиш тезлиги (у қатламни ўстириш тезлигига мос келади) ортиши билан  $\tau_0$  нинг камайиши кузатилган. Мавжуд АФН кинетикаси ҳақидаги маълумотлар қиска туташув режимига карашлидир, бу ерда асосий аниқловчи вақт вазифасини фототокнинг хусусий релаксацияси вақти  $\tau_0$ , яъни микро *p-n* ўтишлардаги бирламчи фототок релаксациясига боғлиқ вақт бажаради.

АФН-катлам кинетикасини салт юриш режимда аниқлаш учун махсус ўлчаш схемаси йиғилади. Бунда 30,а-расмда ифодаланган блок-схемадан фойдаланилди. Ўлчаш каскадли схема [17] да йиғилган катод қайтаргич ёрдамида бажарилган. Схемадаги  $R_{11} = 10^{11}$  Ом каршилиқ салт юриш режимини таъминлаб беради,  $R_{11} = 5 \cdot 10^3$  Ом каршилиги эса АФН-катламнинг ўтказувчанлиги таъсиридан кагод қайтаргич кириш занжирини ажратиш вазифасини бажаради. Ёруғлик манбаси бўлиб ОИ-24 ёритгич хизмат қилган.

ГТФП ларни импульсли режимда қандай ишлашини олдиндан белгилаш учун уларнинг салт ва қиска туташув режимларидаги кинетик характеристикаларини билиш керак бўлади. Тайёрланган қурилма салт режимни таъминлаб унга киритилган элементлар ўлчов қурилмасидаги блокларнинг тўла мослашиб ишлаши учун жавоб берадиган катталикларда таъминлади. 4-блокдаги  $C_p$  ва  $R_{oc}$  элементлари қайд қилувчи осциллограф кириш занжири билан катод такрорлагич блокани (3) мослашиб ишлашини таъминлайди. Қурилманинг ҳамма блоклари ташқи электр ва магнит майдонларнинг таъсиридан ҳимоя қобиғи билан таъминланган. Механик модулятор ва СИ-24 типдаги ёруғлик манбаи (1-блок) ёруғлик импульсининг П-симон оптик шаклда катламга ҳар доим тажриба давомида тушиб туришини таъминлайди.



30,а-расм. АФН кинетикасини салт юриш режимда ўрганишга мўлжалланган қурилманинг блок-схемаси: 1- механик модулятори ОИ-24 ва АФН-катлам; 2- кучлаиши бўлгичи; 3- катод такрорлагичи; 4-осциллограф.



30,б-расм. 30,а-расмдаги 3-блокнинг тўлик принципиал схемаси (схема ташқи майдонлардан химоя экранига эга).

### Электр майдони вольт-ампер характеристика ва спектрни ўзгартиради

АФН моделини эквивалент схема [9] билан алмаштирилиб ҳисобланган (5) ифодани текшириш натижасида унинг ҳар хил шаклларидаги графиклари аниқланди. Бу назарий графиклар 31-расмда тасвирланган.

Назарий йўл билан АФН-катламини муқобил схема билан алмаштириб ҳисоблаш натижасида топилган ифода (5) анча мураккаб бўлганлиги учун унинг хусусий ҳолларини кўриб чиқамиз. АФН-катлам ёритилмаган вақтда ( $B=0$ ) ушбу ифода анча соддалашади. Ёритилмаган АФН-катламнинг ВАХ сининг график кўринишларини 31-расмда тасвирланган. Графикдаги ВАХ нинг биринчи эгрилиги моделнинг электрон-тешик ўтишлар каторидаги кўшни *n-p-n*- ўтишлар орасида ўзаро таъсир бўлмаган ( $\alpha=0$ ) да, ҳамда *n-p*- ўтишларнинг силкув ( $R_{\tau} = \infty$ ) қаршилиги ва катламнинг фотоактив бўлмаган ҳажмининг параллел қаршилиги ( $R_m = \infty$ ) ҳисобга олинмаган ҳол учун чизилган. Агар электрон-тешик ўтишлар ўзаро заряд алмашиш хусусиятига эга бўлса, *n-p-n*- каторида транзистор эффеќти вужудга келади, ўзаро таъсир тикланади ( $\alpha=1$ ). Катламдаги *n-p-n*- ўтишларнинг ўзаро таъсири мавжуд бўлиб, катлам бир жинсли, бир ўлчамли ( $R_{\tau} = \infty$ ;  $R_m = \infty$ ) деб қаралса, ВАХ графикада 2-кўринишда бўлади. Электрон-тешик ўтишларда ўзаро заряд алмашуви мавжуд ( $\alpha=1$ ) бўлиб, реал ҳолатларда учрайдиган катлам ҳажми билан боғлиқ шунг ( $R_m \neq \infty$ ) қаршилиқни ҳисобга олинган, лекин ҳар бир микро *n-p*- ўтишларнинг «силкув» қаршилиги ( $R_{\tau} = \infty$ ) йўқ деб тахлил

килингдан ВАХ графиги ўзгариб, (3) кўринишни олади. Назарий ВАХ ни таҳлил қилиш анча мураккаб бўлиб, уни ўрганишда реал АФН-катлам модели мукобил схемасига соддалаштиришлар киритилиб хусусий ҳолларни кўриб чиқишга тўғри келади. АФН-катлам моделидаги битта микро  $n-p$  ўтишнинг кенглиги ( $W$ ) асосий бўлмаган ток ташувчиларнинг диффузион йўлидан ( $L$ ) кичик ( $W < L$ ) бўлганда,  $n-p-n$ - қатордаги кўшни соҳаларда зарядлар алмашинуви ҳодисаси содир бўлади. Бу ҳолатда якка ўтишларнинг «силкув» қаршилиги ( $R_{\text{т}}$ ) ва катлам ҳажми билан боғлиқ шунг ( $R_{\text{м}}$ ) қаршилигини ҳисобга олинмаса назарий ҳисобланган (5) ВАХ нинг аналитик ифодаси қуйидаги кўринишга келиб қолади:

$$J = J_s \exp(2q/NkT)(V - JR) - J_s. \quad (1)$$

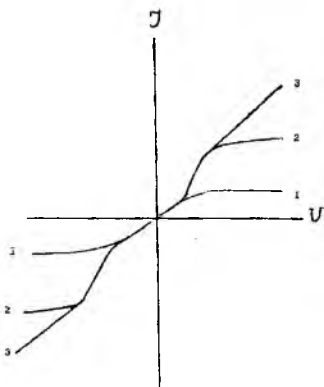
Унинг графиги 31-расмдаги иккинчи эгри чизикни ифодалайди. 25-расмдаги учинчи эгри чизик  $W < L$  ҳолат учун  $\alpha = 1$ ,  $R_{\text{т}} = \infty$  деб олинса моделга мос келади.

Назарий ВАХ даги биринчи эгри чизик учун,  $R_{\text{м}} = \infty$ ,  $R_{\text{т}} = \infty$  шартлар бажарилганда тўғри бўлади, яъни  $n-p-n$ - қаторидаги  $n-p$ -ўтишларнинг  $n$ ,  $p$ - соҳалари ўзаро заряд алмашинуви содир қилмайди. 31-расмнинг биринчи эгри чизигини ифодаловчи ҳолатга тўғри келувчи ( $\alpha = 0$ ;  $W \gg L$ ;  $R_{\text{м}} = \infty$  ва  $R_{\text{т}} = \infty$ ) хусусий ҳолни бошқа авторлар томонидан ҳам ўрганилиб, бу хусусий ҳолатга (ўта соддалаштирилган, бир жинсли, бир ўлчамли модел) аналитик ифода ҳам топишган. Масалан, [4] ишда инжекцион тоқларнинг ролини жуда оз деб ВАХ учун қуйидаги ифодани топишган,

$$J = J_s \frac{\exp \frac{2q}{nkT} (V - JR_1) - 1}{1 + (1 - \alpha_n - \alpha_p) \exp \frac{2q}{nkT} (V - JR_1)}, \quad (2)$$

бу ерда,  $JR_1 = V_p + V_n$ ,  $R_1 = n \left( \frac{dn}{q\mu_n n_n} + \frac{d_p}{q\mu_p p_p} \right)$ ,  $JR_1 \ll V$ .

Бу ишларда [4,10] келтирилган (1) ва (2) ифодаларни АФН-катламнинг модели учун ҳисоблаб топилган ифодани хусусий ҳоллари сифатида таҳлил қилиб топиб олиш мумкин. Демак, АФН-катламнинг ўта кўп  $n-p-n$ -ўтишлардан ( $N \sim 10^5 \text{ см}^{-1}$ ) иборат бир жинсли эмас, кўп ўлчамли модели, яъни реал СМС структураларни тўларок ифодалайди.



31-расм. Теллурид кадмий АФН-кагламнинг ёритилмаган вақтдаги ( $V=0$ ) ВАХ назарий графиклари.

Назарий ВАХ да кузатилган график участкаларини тажрибада топшиш мақсадида  $CdTe$  ва  $Sb_2Se_3$  АФН-катламлари электр майдонининг кенг интервалида текширилди. Тажрибада топилган (ВАХ) натижалардан кўринадик, экспериментал ВАХ да (оддий шароитда  $t=20^\circ C$ ,  $V=0$  бўлганда)  $0-10^3$  В/см гача электр майдонларида Ом қонунидан четланиш кузатилмайди. Баъзи моддаларда ( $Sb_2Se_3$ ) Ом ининг чизикли боғланишидан четланиш эртароқ ( $5 \cdot 10^2$  В/см) бошланади. Текширишлар кўрсатадики, наст температураларда ёритилганлик 0 дан  $3 \cdot 10^5$  лк оралиғида ўзгарганда ҳам юқорида кузатилган Ом нинг чизикли боғланиши сақланган.  $J(V)$  қонуниятнинг бундай чизикли характери  $R_m$  билан боғланиб, ҳар бир микро- ўтишларга бу соҳада  $\leq 0,5$  В қучланиш тўғри келади. Бундай қучланишда ВАХ нинг чизиклиги бузилмайди.

Қучланишнинг келгуси ортишларида Ом нинг чизикли боғланишларидан четга чиқиш бошланиб, янги чизикли бўлмаган ВАХ қисми бошланади. Бу қисмда қучланиш ортиши билан ток тезроқ ортади. Токнинг ўсишини эса  $J = \beta V^n$  ( $n=1,4$ ) ифода билан ёзиш мумкин. Ёритиш билан ВАХ тўғрилана бошлайди ва ёруғлик интенсивлигининг маълум қийматларидан бошлаб  $J(V)$ - боғланиш тўғри чизикқа айланади. Лекин, экспериментал ВАХ нинг бирортасида ҳам токнинг чизиклидан тезроқ ўсувчи қисмидан сўнг токнинг ўсиши секинлашиб, тўйиниш тармоғига ўтувчи қисми кузатилмади. Назарий ВАХ нинг эгриликлари  $p-n$  ўтишлар қатори орасида ўзаро ток ташувчилар алмашуви мавжуд, яъни  $p-n$  ўтишлар ўзаро таъсир алоқаси бор ( $\alpha=1$ ) деган хулосага асосланиб келтириб чиқарилган. Назарий ВАХ ларда кузатилган токнинг тез ўсувчи қисмидан сўнгги секин тўйинишга чикувчи қисми ўзаро  $p-n$  ўтишлар қаторидаги кўшни ўтишларнинг таъсири ( $\alpha=1$ ) нинг натижасидир.

Демак, реал  $p-n$ - ўтишли АФН структураларда  $p-n$  лар қаторидаги кўшни  $p-n$  сохалар орасида ток ташувчилар алмашуви йўқ, яъни  $p-n$  ўтишлар орасида ўзаро таъсир бўлмайди ( $\alpha = 0$ ).

Бу экспериментдан келиб чиққан хулосани фотомангнит ўлчашлардан олинган [2,12] натижалар тўла тасдиқлайди, яъни диффузия узунлиги битта ўтишнинг кенлигидан кичик ( $W > L$ ), бу ҳолда ўзаро кўшни жойлашган ўтишлар боғланмаган бўлади. Лекин, назарий [5] ифодани  $\alpha = 0$ ,  $B = 0$ ,  $V < 0$  ва  $J_{p-n} \ll J_{\text{ст}}(V)$  ҳоллар учун соддалаштирилса, эксперимент натижаларини ифодаловчи  $J \approx \beta V^n$  (бу ерда  $n > 1$ ) боғланишга келишимиз мумкинлигига ишонч ҳосил қиламиз ( $J_{\text{ст}}(V) = \frac{V}{R_{11}}$ ,  $R_{11} - p-n$  ўтишни шунтловчи параллел уланган қаршилик вазифасини бажаради).

Ўритилмаган ҳолат учун ёзилган  $J_{p-n} \ll J_{\text{ст}}(V)$  шарт ўтишларнинг ёруғликни сезмайди, дейишга асос бўла олмайди. Чунки, қатлам старли ёритилиши билан  $p-n$  ўтишларнинг дифференциал қаршиликлари, ўтишларнинг шунти ҳисобланган параллел ( $R_{\text{ст}}$ ) қаршилиқлардан кичик бўлиб қолади. Бу ҳол АФН эффект мавжудлигини таъминлайди.

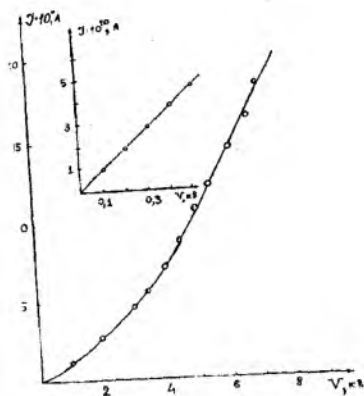
Назарий маълумотларга [5] асосан  $p-n$  ва  $n-p$  микро ўтишлар ўзаро боғланган ( $\alpha = 1$ ) ҳолда токнинг чизиклигидан тезроқ ( $J \sim \beta V^n$ ;  $n > 1$ ) ўсишидан сўнг яна иккинчи чизикли боғланиш ( $J(V)$ ) қисми бошланиши керак эди. Лекин, характеристиканинг бу қисми таърибада кузатилмади.

Назарий маълумотлар билан таъриба натижаларининг қиёсий анализи [9] ишда тўла келтирилган. Бу ерда шуни таъкидлаш керакки, кўпгина  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$  ва яримдан кўп  $\text{CdTe}$  қаватларининг ВАХ ларида электр майдони  $(4-5) \cdot 10^4$  В/см оралиғида бўлганда манфий қаршиликли соҳа кузатилади. Бу кичкина манфий қаршиликли соҳа мавжудлигини назарий маълумотлар [4] тўла тасдиқлайди.

Ўритилганда юқори аномал фотокучланиш бермайдиган ( $V_{\text{АФН}} = 0$ ) ярим ўтказгич  $\text{CdTe}$  ва  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$  нинг текширилган ҳамма қалин ( $\sim 4$  мкм) ва юпқа ( $\sim 1$  мкм) қатламларида  $2 \cdot 10^5$  В/см майдонларда ҳам  $J(V)$  боғланишнинг чизиклилиги сақланган.

Вольтампер характеристикадаги токнинг беқарор (манфий қаршилик кузатиладиган қисми) участкасидан сўнг қатлам қаршилиги бир тартибга пасайган (яъни,  $10^{-7}$ - $4 \cdot 10^{-9}$  Ом).

Реал кўп электрон-тешиқ ўтишлар системасидан (1 см да  $10^5$  дона) иборат структураларда ҳар бир  $p-n$  ўтишлар маълум миқдорда бир-бирдан фарқ қилиши керак. Шу сабабли АФН-қағлам қалинлиги (0,5-2 мкм), электродлар орасидаги масофанинг (1-5 мм) ўзгариши билан ҳам ВАХ да кузатиладиган экспериментал ( $J(V)$  чизикли ўсиш,  $J \sim \beta V^n$  ( $n > 1$ ) билан ва токнинг беқарор қийматли (манфий қаршилик кузатиладиган қисм) участкалари маълум миқдорда ўз кузатиладиган чегаравий жойларини ўзгартириши ҳам мумкин экан. Маълум шароитда АФН-қатламнинг



32-расм.  $V=0$  бўлган ҳол учун экспериментал ВАХ графиги.

маълум параметрлари тўпламида ( $\alpha$ ,  $\tau$ ,  $l$ ,  $Cd$  га бойиганлик даражаси ва х.к.) ва тайёрлаш технологиясига боғлиқ катталарнинг ўзгариши билан характеристикадаги эътиборга лойиқ назарияга мос келувчи қисмлар кузатилмаслиги ҳам мумкин.

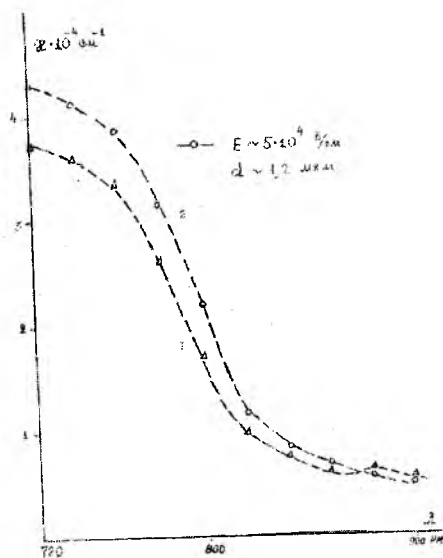
Тажрибада манфий қаршиликли бекарор тоқли участканинг  $S$  - симон кўринишлари АФН берувчи ҳамма қатламларда кузатилмади. Бу характеристикаларни асосан ҳозирча  $CdTe$  ва  $Sb_2Se_3$  АФН-қатламларнинг ВАХ ларида кузатишга эришилди.

Ярим ўтказгич юпка қатламлари ютилиш спектрини ўрганиш, моддаларнинг сиртида ютилиш характерини очиб беради. Хусусий ютилишга соҳаси фундаментал ютилишнинг кам энергияли томонидан олинган чеккаларини текшириш юпка қатламларда валент ва ўтказувчанлик зоналари орасидаги минимал ораликни аниқлашга имкон беради. Ютилиш соҳасининг (фундаментал) бу чеккасига мос оптик ўтишлар характерини ойдинлаштиради. Маълумки, фундаментал ютилишнинг чеккаларида ютилиш коэффициентини кескин ортиб,  $10^3-10^4$  см<sup>-1</sup> кийматларга етади. Шу сабабли фундаментал ютилиш соҳасининг чекка қисмлари мураккаб нозик тузилишга эга бўлиб, уни батафсил ўрганиш юпка, қалинлиги 0,1-1 мкм бўлган қатламларда текширилганда яхши натижа бериши керак. Фундаментал ютилишнинг чекка соҳаларининг шаклланишида моддага кириб қолган ёт элементларнинг атомларини ўрни ҳам муҳим аҳамиятга эга.

Фундаментал ютилишнинг чекка соҳаларининг хусусиятларини ўрганиш мақсадида АФН-қатламлар спектрини катта электр майдонларида ( $E \sim 5 \cdot 10^3 - 10^5$  В/см) ўрганилди. Тажриба натижалари 33-расмда ифодаланган. Электр майдонининг  $E = 5 \cdot 10^3$  В/см дан юқори кийматларида хусусий ютилишнинг катта тўлқин узунликка мос келувчи чеккаси узун

тўлқин томон силжиши кузатилган. АФН-қатламларнинг қаршилиги ( $\sim 10^{12}$  Ом) етарли катта бўлганлигидан нисбатан кичик кучланишли ИВН-1 манбасидан фойдаланилди. Ўлчашлар CdTe ва Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> ларга СФД-2 асбобларида олиб борилди.

Ўлчаш жараёнида қатламлар температураси назорат қилинди. Температура ўзагиришда 5°C дан юқори ўсиш кузатилмади. Температурага боғлиқ эффектлар таъсирини ҳисобга олмаслик мумкин. Шунини таъкидлаш керакки, монокристалларда [19] спектрнинг узун тўлқин соҳасига силжиши нисбатан катта электр ( $E \geq 10^4$  В/см) майдонларда бошланса, юпка қатламларда эртарок (АФН-қатлам)  $\sim 5 \cdot 10^3$  В/см майдонларида силжиш бошланган.



33-расм. АФН-қатламнинг кучли электр майдони таъсиридаги спектри ( $\alpha(\lambda)$ ). Спектрдаги 1 эгри чизик қатламга  $E \sim 5 \cdot 10^4$  В/см электр майдони берилганда олинган.

Кельдиш назариясига асосан фундаментал ютилиш чегара соҳасининг тўғри зона-зона ўтишлари учун катта электр майдон кучланганликларида силжиши кузатилди. Бу силжишни қуйидаги конуният билан ифодалаш мумкин:

$$\Delta\omega_k = \frac{1}{h} \left[ (qE)^2 \frac{h^2}{m^*} \right]^{1/3}.$$

Ютилиш спектри чегараси кўринадиган нурлар соҳасида ётган моддалар учун спектрнинг чегара соҳасининг электр майдонлар таъсирида силжиши электр майдон кучланганлиги  $E \approx 10^5$  В/см,  $m^* = m \approx 10^{-27}$  бўлган хол учун бир неча юз ангстрем тартибида бўлиши аниқланган. Бу натижа назарий ҳисоблардан катта фарқ қилмаслигини эксперимент натижалари кўрсатди.

Демак, АФН-қатламларда спектрларга катта электр майдонларининг таъсирини ўрганиш мақсадида олиб борилган тажриба натижалари назарий маълумотларга мос келишини кўрсатади. Масалан, теллурид кадмийда ўтказилган тажрибаларда фундаментал ютилиш чегараси майдон таъсирида кизил тўлқин соҳаси томон  $\sim 120$  А° гача силжиганлиги кузатишган.

АФН-қатламларда Франц-Кельдиш эффектини аниқ сезиш мақсадида кенг зонали (1÷2 эВ) материаллардан юпка пардалар олиш керак бўлади. Чунки уларда ютилиш чегарасининг нисбий силжиши унча кичик бўлмайди.

АФН-пардалар генератор типидagi аномал фотоприёмникларнинг типик вакили бўлиб, улар спектрал чегара соҳасининг электр майдон таъсирида силжишида ҳам аномал натижа кўрсатади (33-расм). Графикдаги 1- эгри чизик оддий шароитда майдонсиз ҳолат учун бўлса, 2- эгри чизик эса юпка АФН-пардага  $E \sim 5 \cdot 10^4$  В/см электр майдон кучланганлиги берилган ҳолатга тўғри келади.

Бошқа ярим ўтказгич материаллардан тайёрланган АФН-пардаларда катта электр майдонларида спектрал характеристикаларни текшириш натижасида сурьма селен аралашмасида ҳамда кадмий, симоб, теллур (КРТ) қотишмаларининг АФН кузатиладиган пардаларида ҳам Франц-Кельдиш эффектининг кузатилиши аниқланган.

## Оптик усул билан бошқариладиган трансформатор

Электротехника, электроникада қўлланиладиган кўпгина қурилмаларда индуктив боғланишли системалар ишлатилади. Бундай қурилмаларда боғланиш магнит майдони орқали амалга оширилади. Боғланишнинг бундай турида қўшни жойлашган индуктив характердаги схема элементлари магнит майдони орқали боғланиб, бир вақтнинг ўзида бир нечта индуктив системалар ўзаро алоқаси содир бўлиши мумкин. Бундай кўп ҳар томонлама алоқа вақтида, фойдали ҳамда фойдасиз электромагнит сигналлар вужудга келади. Фойдасиз сигналлар қурилма ишига ҳалақат беради. Фойдасиз сигналларни асосий сигналдан ажратишга, электромагнит алоқадаги системаларда ҳар доим ҳам эришиб бўлмайди. Шу сабабли алоканинг янги идеал, (фойдасиз) «ёт» сигналларни ўтказмайдиган, қайта бошқа системаларга узатишдан холи бўлган

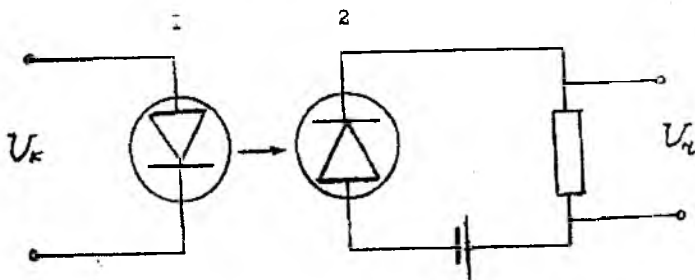


турларини излаш керак. Бу изланишлар натижаси – оптоэлектрониканинг асосий элементи оптрон бўлиб, унинг энг содда тури тўғри оптик боғланишли оптрондир. Қаттиқ жисмлар электроникаси қонуниятлари доирасида қаралганда ўз хусусияти билан электромагнит боғланишга эга трансформаторни эслатувчи, лекин оптик алоқа билан ишловчи, яъни чиқиш ва киришда электр алоқаси бўлган кучланиш қатталигини ўзгартиришга хизмат қилувчи оптик трансформаторни яратиш мумкин эмас [46].

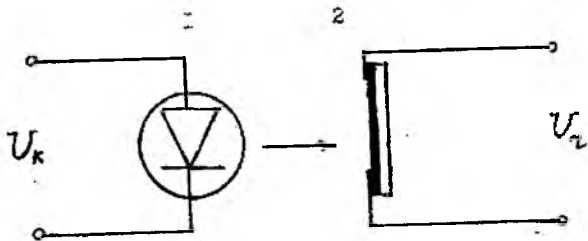
Тўғри алоқали оптронда кучланишни узатиш бевосита кириш кучланиши чиқиш занжирига ички алоқалар орқали юбориш билан эмас, балки реле принципи асосида амалга ошади. Кириш занжирига берилаётган (ФП) ўтказувчанлигини оптик алоқа канали орқали ёруғлик билан бошқарилаётган реостат (фотоқаршилиқ ФҚ) каби ўзгартиради. Шу сабабли иккиламчи занжирда (сигнал) етарли кучланиш олиш учун оптроннинг чиқиш занжирини автоном электр манбаси албатта бўлиши керак (34-расм).

Кучланишни биринчи занжирдан иккинчи занжирга оптик йўл орқали узатиш вазифасини АФН асосида ишловчи тўғри оптронда ошириш мумкин. Бундай оптрон кучланишнинг оптоэлектрон трансформатори (ОЭТ) ҳисобланиб, буида электромагнит трансформатордаги (ЭМТ) бирламчи ва иккиламчи индуктив ўрамлар орасидаги электромагнит боғланиш вазифасини ёруғлик диоди сочаётган нур бажаради. Нур орқали боғланган биринчи ва иккиламчи ОЭТ занжирлари (фотон электронейтраллиги туфайли) мутлоқ электр алоқага эга эмас.

ОЭТ да ЭМТ да кузатиладиган иккиламчи ўрам магнит майдонининг бирламчи ўрамга индуктив салбий таъсири кузатилмайди.



34-расм. Тўғри оптик алоқали оптрон схемаси:  
1- ёруғлик диоди (СД), 2- оддий фотоприёмник.

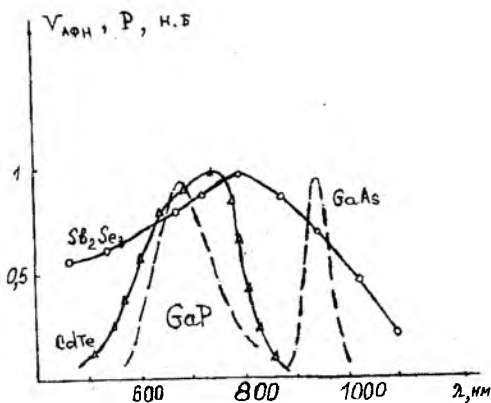


35-расм. АФН асосида ясалган ОЭТ электр схемаси:  
1- ёруғлик диоди (СД), 2- АФН қатлам.

Шу сабабли ОЭТ да бирламчи занжир иккиламчи занжирдан тўла электроизоляцияланган (электр боғланиш мутлок йўқ қилинган) бўлади. Бундай оптик (ОЭТ) трансформатор электр схемаси 35-расмда ифодаланган.

Бундай ОЭТ ёрдамида инжекцион нур сочувчи ёруғлик диоди (СД) нури таъсирида АФН-қатлам 100-1000 В кучланиш ҳосил қилиши мумкин. Демак, бундай ОЭТ лар трансформация коэффициентини ( $k = U_x / U_k$ ,  $U_k = 1 \text{ В}$ )  $k = 100 - 1000$  бўлган кучайтирувчи трансформатор сифатида ишлайди, шунингдек чиқиш занжирида кучланиш ҳосил бўлиши бу ерда (ОЭТ да) (оддий трансформаторда индуктив алоқа вазифасини бажарувчи) оптик алоқа орқали кириш кучланиши (СД га берилган кучланиш) ни трансформациялаш натижасида ҳосил бўлади. Бундай ОЭТ ларда юкори ФИК га эришиш асосий мақсад эмас. ОЭТ нинг иккиламчи занжирида АФН-қатлам уланган.

АФН уланган занжир электр манбаига мухтож эмас, чулки, АФН-қатлам генератор типидagi фотоприёмник вазифасини ўтайди. Оптик трансформатор (ОЭТ) ясаш учун табиийки жуда эффектив хона температурасида юкори кучланиш берадиган генератор типида ишловчи ФП-АФН-қатламлар бўлиши керак. Экспериментал ҳолда ОЭТ ни яратиш учун юкори қувватли инжекцион ёруғлик диод (СД) ларни танлаш керак. Кўринадиган нурлар соҳасида ишлайдиган ОЭТ лар яратиш учун эффектив  $\text{GaP}$ ,  $\text{GaAs}$ ,  $\text{GaAs}_x\text{P}_{1-x}$  ва  $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{As}$  инжекцион ёруғлик (СД) диодларидан фойдаланиш мумкин. Бу СД лар билан спектрал боғланадиган, яъни улар чикарган ёруғликларни сезадиган АФН-қатламлар тайёрлаш керак. Бундай генератор типида ишлайдиган АФН-фотоприёмникларни тайёрлаш технологияси ишлаб чиқилган [2]. Ёриттич ва ФП ларнинг спектрал кинетик характеристикалари мос келадиганларини излаш натижасида  $\text{CdTe-GaP}$  ва  $\text{Sb}_2\text{Se}_3\text{-GaAs}$  оптон жуфтлари ОЭТ учун мос эканлиги аниқланди.



36-расм. GaP ва GaAs ёруғлик диодларининг нурланиш CdTe ва Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> ҳамда АФН-қатламларнинг фотокучланиш спектрлари.

Кучланишнинг оптоэлектрон трансформатори учун генератор типидagi фотоприёмник сифатида CdTe ва Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> дан 1×1 мм ўлчамли юпка АФН-қатлам тайёрланди. Бундай АФН-қатламларнинг спектри галлий арсениди ва галлий фосфида ёруғлик диодлари нурланиш спектри билан бирга 36-расмда кўрсатилган.

Оптоэлектрон трансформаторнинг реал ишлаш шароитини таъминлаш учун АФН-фотоприёмникнинг салт кучланишини импульсли режимда аниқлаш зарур. АФН-эффект кинетикасига доир ҳамма ишлардаги (2, 16, 20) маълумотлар қисқа туташув режимида олинган. Кучланишнинг оптоэлектрон трансформаторини қандай тезлик билан ишлаши схеманинг релаксацион вақти

$$\tau_i = \frac{R_{кат} \cdot R_{н}}{R_{кат} + R_{н}} (C_{кат} + C) \approx R_{кат} \cdot C$$

билан боғлиқ. Бу ерда ва АФН-қатламнинг қаршилиги  $R_{кат}$  ва  $C_{кат}$  сифими  $R_{н}$  ва  $C$ -нагрузканинг қаршилиги ва сифими.

АФН-қатламлар кинетикасини салт режимда текшириш учун келтирилган блок-схема бўйича йиғилган қурилмадан фойдаланилади. Берилган схема бўйича ўтказилган импульсли салт режимда дастлабки текшириш натижалари (2, 21) жадвалда келтирилган.

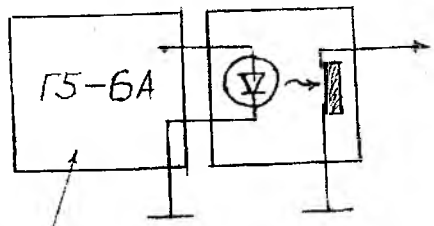
Жадвал

Ўруғлик манбаи	CdTe		Sb <sub>2</sub> Se <sub>3</sub>		Ўруғлик манбаи	CdTe		Sb <sub>2</sub> Se <sub>3</sub>	
Ўритгич ОИ-24					Ўруғлик диоди				
V <sub>АФН</sub> , В	65	60	15	10	V <sub>АФН</sub> , В	40	45	15	10
τ <sub>1</sub> · 10 <sup>2</sup> с	1	2	3	1	τ <sub>1</sub> · 10 <sup>2</sup> с	1	5	1	1

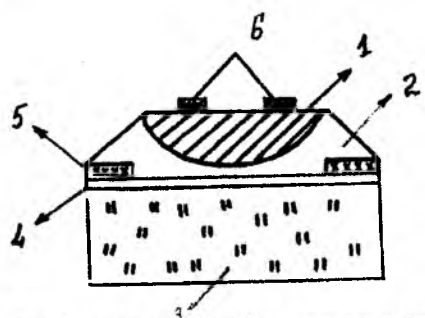
Жадвалда келтирилган маълумотларнинг ўруғлик диодига тегишли натижаларига 37-расмдаги қурилма ёрдамида эришилди, ундаги Г5-6А – ўруғлик диодига П-симон кучланиш импульси берадиган генератор.

Дастлабки яратилган ОЭТ нинг иккита типи: У-18А ўруғлик диоди АФН-қатлам CdTe жуфти ва У-15 ўруғлик диоди АФН-қатлам Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> жуфти лойиҳаси 38-расмда, ташқи кўриниши эса 39-расмда тасвирланган.

Оптоэлектрон трансформаторда ўруғлик диоди ва АФН-қатламни механик бириктириш Э-6 типдаги эпоксид смоласи ёрдамида бажарилиди. Бу смола ўруғликнинг кўринадиган ва яқин инфрақизил нурлар соҳаси учун тиник ҳисобланади.



37-расм. Кучланишнинг оптоэлектрон трансформаторини синаш схемаси.



38-расм. Оптоэлектрон трансформаторининг лойиҳаси.



39-расм. Кучланишнинг оптоэлектрон трансформаторини ташки кўриниши.

Механик хусусияти жуда мустаҳкам, корпуссиз ёруғлик диоди АФН-қатламнинг «фойдали» сиртига яқин жойлаштириб, уларнинг мос кириш ва чиқиш ўтказгич симлари билан жиҳозланади ва лойиҳа тўласича смолага ботирилиб, унинг ичила қолдирилади.

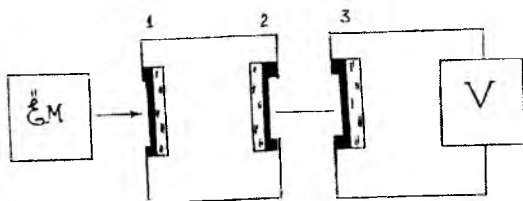
Бунда ОЭТ корпуси вазифасини смола бажариб, у мустаҳкам, механик урилишларга чидамли, намлик ва ташқи температуравий таъсирлардан ЁД ва АФН-қатламни сақлайди. Корпус сифатида смоланинг ишлатилиши ОЭТ нинг хизмат муддатини, табиийки орттиради.

Юқоридаги таклиф этилаётган ОЭТ нинг лойиҳаси фақат кучланишни кучайтирувчи оптик трансформатор вазифасида ишлатилади. Бундан ташқари ОЭТ да электромагнит трансформатордаги қатлам ёруғликдан озука олиб ишловчи генератор типидagi фотоприёмник сифатида қўлланилмоқда ва яхши ўрганилди. Лекин, АФН-қатлам ўта кўп сондаги бир жинсли эмас  $p-n$  ўтишлар (СМС-структура) системаси ёки ҳар хил ўтказувчанликка эга бўлган соҳалар кетма-кетлигининг мураккаб таркибини ўзида мужассамлаштирган оптик анизотроп [22] қурилмалигини ҳисобга олсак, АФН нинг кўп хусусият ва «хунар» лари хали яхши ўрганилиши керак. Ўшанда оптоэлектрониканинг ҳамма талабларига жавоб берувчи ОЭТ яратиш имкониятига эга бўламиз. Поликристалл ярим ўтказгич қатламларнинг ўта кўп сондаги ўзаро боғланган  $p-n$  ўтишлар системаси деб қаралиши [4,10] натижасида бундай мураккаб (СМС) системаларнинг баъзи хусусиятлари очиб берилди [69, 70].

Жумладан, бундай система (масалан АФН) лар ёруғликка, магнит майдонига жуда сезгир бўлиб, улкан транзистор эффекти берувчи фототранзистор ва колаверса технологиянинг ривожланиб, мукамалланиши натижасида  $p-n$  ўтишли улкан қувват нурлантирувчи ёруғлик диоди (ЁД) бўлиб хизмат қилиши мумкин. Юқоридагиларга асосланиб, дадил айтиш мумкинки, иккита АФН-қатламнинг бири ёруғлик манбаси, иккинчиси эса генератор типидagi ФП вазифасини бажариб, улар

биргаликда ОЭТ нинг мукамал лойихасини бериши эса амалга ошиши мумкин бўлган реалликдир.

Бундай мукамал ОЭТ ларнинг икки хил лойихасини тавсия қилиш мумкин: биринчиси, ёруғлик билан бошқарилиб, чиқиш занжирида кучланиш ҳосил қилади, бу лойиханинг кириши оптик нур орқали бўлади. Бу лойиханинг тахминий режасини қуйидаги блок-схема орқали бериш мумкин.



40-расм. ҒМ-(1) АҒН-қатлам сеза оладиган ёруғлик тўлкини сочадиган манба (лазер, ёруғликнинг инжекцион диоди ва бошқа ёруғлик манбалари бўлиши мумкин); 2- ёруғлик соча оладиган СМС-структура; 3- (2) дан сикаётган ёруғлик нурини қабул қилиб кучланишга айланттирувчи АҒН-қатлам.

Иккинчисида кириш электрик йўл билан бўлиб, бу лойихада ҳам иккита ёки учта махсус АҒН-қатламдан фойдаланиш мумкин. Иккинчи вариант ОЭТ нинг тахминий лойихаси кўп босқичли бўлиб, унинг битта босқичи (блоки) нинг соддалаштирилган лойихаси 41-расмда тасвирланган. Бу лойихани ривожлантириб (технологияни такомиллаштириш билан) монолит кўп босқичли оптоэлектрон кучланиш кучайтиргичларининг янги типини яратиш мумкин. Уларнинг ўлчам жиҳатидан унча катта бўлмаслиги микроэлектрон схемаларда (МС) ишлатиш имкониятини беради. Бундай монолит кўп босқичли ОЭТ ларнинг МС лари ёрдамида кучланишни бир неча миллион марта кучайтириш имконияти бор.

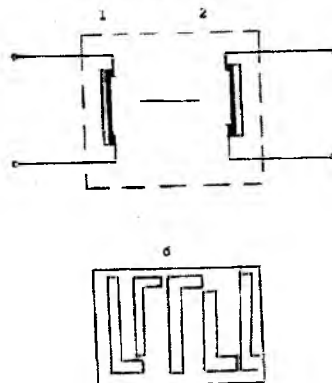
Фотолитографик йўл билан шиша тагликка махсус формадаги тиник ёруғлик сезмайдиган  $\text{SnO}_2$  контакт қатламлари олиниб, унинг устига маълум технология асосида АҒН-қатламлар навбат билан ўтказилади. Охирги қатлам устидан шаффоф Э-6 смоласи қопланади. Бунда асосан контактлар геометрияси муаммоси ва ҳар бир босқич кучланишини ажратиш анча мушкул масаладир. Уни ҳал қилиш учун ҳар бир босқични ажратувчи диэлектрик қатламни ўтказишдаги технологияни мукамал ўрганиш керак. Бир босқичли АҒН кучайтиргич элементи: 1,2- АҒН-қатламлар  $V_k$ - кириш кучланиши, бошланғич манба беради,  $V_c$ - чиқиш кучланиши, истемолчига берилади.

Биринчи лойиха оптик сигнал қабул қилиб, уни электр сигналга айланттиради. Оралик блокларда оптик кучайтиргич сифатида 1 ва 2 АҒН-қатламлар ёрдамида йиғилган блок хизмат қилади. Бу блокда кучайган

оптик сигнал 2 ва 3 АФН-қатламлар ёрдамида йиғилган блокда электр сигналга айланади. Блоклар сонини орттириб, кучайтириш коэффициентини бир неча минг, хатто миллионга етказиш мумкинлигини юкорида кўрсатган эдик.

Иккинчи лойиҳани мукаммалаштириб, унинг имконият чегараларини кенгайтириш мумкин, масалан, кириш электр сигналларини кучайтириш (ОЭТ), спектрал таркибини ўзгартириш (ФЭН) ва маълум потенциал формада модуллаш (ОМ) каби вазифаларни бажарувчи қурилмалар ясаш мумкин.

Мана шу йўллар билан аномал эффект берувчи юпқа қатламлар (АФН) нинг ички имкониятларини ишга солиш мумкин. Бу амалий лойиҳаларни (ва бошқаларни) реалликка айланиши учун АФН олиш технологиясини мукаммалаштириш борасидаги илмий изланишларни чуқурлаштириш зарур ҳамда АФН физикаси муаммоларини ҳар томонлама назарий ва экспериментал ўрганиш керак бўлади.



41-расм. (а)-оптоэлектрон кучайтиргичнинг битта блоки, (б)-гагликдаги  $\text{SnO}_2$  контактларининг жойлашиш геометрияси.

### **АФН-эффект магнит майдонини ўлчашга ва ярим ўтказгич юпқа қатламларининг характеристик параметрларини аниқлашга имкон беради**

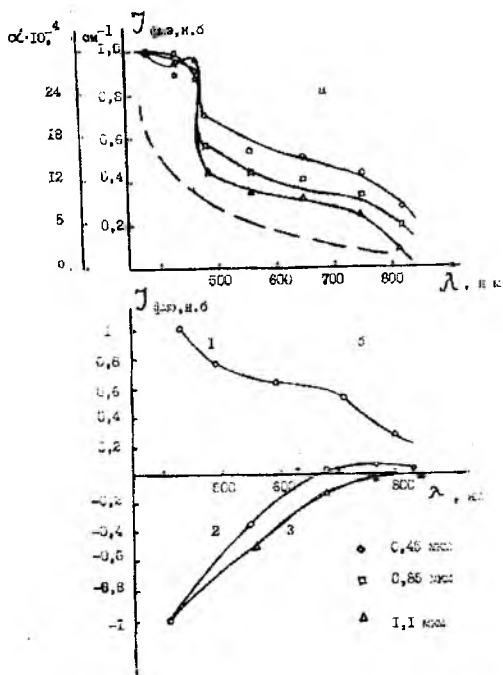
АФН-қатламларда АФМЭ-эффектнинг кузатилиши [23] бу соҳадаги назарий [12, 24] ва экспериментал ишлар кўламининг кенгайтишига сабаб бўлди. Бу соҳадаги ишларнинг таҳлили [2, 5] шуни кўрсатдики, экспериментда олинган натижалар назарияга мазмун ва миқдоран жуда мос келади. Шу сабабли содда чегаравий АФМЭ ва АФН эффект ифодаларидан фойдаланиб, юпқа ярим ўтказгич қатламларига ва ярим ўтказгич моддаларига тегишли характеристик параметрларни аниқлаш мумкин [2, 25]. Шу мақсадда  $\text{CdTe}$  ва  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$  АФН-қаватларида

фотомагнит ўлчашлар олиб борилди. АФМЭ нинг қисқа туташув (қ.т.) токи билан ёруғликнинг тўлқин узунлиги орасидаги спектрал боғланиш ( $J_{\text{АФМЭ}}(\lambda)$ ), назарияда кўрсатилганидек тажрибада икки хил типдаги спектр кўринишида кузатилди:  $J_{\text{АФМЭ}}$  монотон ўзгаради ва ишорани доимий саклайди;  $J_{\text{АФМЭ}}$  ўзгаришида номонотонлик кузатилади, лекин ишора ўзгаради. Биринчи типдаги спектрал боғланиш ( $J_{\text{АФМЭ}}(\lambda)$ ) 42-расмда келтирилган.

Умуман АФН-эффектни ўрганишда аномал юкори фотокучланиш, қисқа туташув (қ.т.) тоқларнинг ёруғлик тўлқин узунлигига боғланиш характери, бу эффект сирларини амалиётга қўллаш йўлларини очишга ёрдам беради.

АФН-қатламларда янги аномал фотомагнит эффектнинг (АФМЭ) кузатилиши ва унинг назариясининг ривожлантирилиши билан бу соҳада янги имкониятлар очилди. Бу эффект (АФМЭ) назарияси ва аномал фотокучланиш, фотомагнит қисқа туташув тоқларининг спектрал боғланишларидан фойдаланиб, АФН-қатламларнинг ва уларни яшашда ишлатиладиган ярим ўтказгич моддаларнинг кўпгина микро параметрларини аниқлаш мумкин. Магнит майдони таъсирида аномал юкори фотомагнит кучланишнинг ҳосил қилиниши эса, АФН ва АФНМ эффектлар ёрдамида магнит майдонини ўрганиш, унинг индукциясини бевосита аниқлаш ва кучсиз магнит майдонини таҳлил қилиш мумкинлигини кўрсатди. 42-расмда ҳар хил калинликдаги теллурид кадмий АФН-қатламларида фотомагнит қисқа туташув тоқининг спектрал боғланишлари (қатлам сирт томонидан ёритилгандаги 42,а-расм ва 42,б-расмнинг 1-боғланиши; қатлам таглик томондан ёритилган ҳол учун, 42,б-расмдаги 2, 3-боғланишлар (пунктир чизик билан ёруғликнинг ютилиш спектри кўрсатилган) тасвирланган.





42-расм. Ҳар хил қалинликдаги теллурид кадмий АФН-қатламларида фотомангнит киска туташув токнинг спектрал боғланишлари: қатлам сирт томонидан ёритилгандаги (а-расм ва б-расмдаги 1-эгри чизик) ва тағлик томондан ёритилгандаги (б-расмдаги 2,3-эгри чизиклар). Нуқтир чизик билан ёругликнинг ютилиш спектри тасвирланган.

АФН-қатламнинг очик сирти оркали ёритилганда олинган ҳамма спектрал боғланишлар монотон камайиш характерида бўлиб, фототокда ишора алмашуви кузатилмайди.  $J_{\text{АФМЭ}}(\lambda)$  спектрал боғланишларда қисқа тўлқинлар соҳасида фототокнинг секин камайиш соҳаси бўлиб, у  $\alpha(\lambda)$  спектрал боғланиш характериға мос келади. Узун тўлқинлар соҳасида  $\alpha \cdot d \ll 1$  шарт бажарилиб, сиртадиган рекомбинация тезлигининг ҳар қандай қийматларида  $J_{\text{АФМЭ}}(\lambda)$  спектри ютилиш спектри  $\alpha(\lambda)$  ни такрорлайди. Бу экспериментал факт, ҳамма текширилган намуналарда қатламнинг очик сиртидаги рекомбинация тезлигидан кичик эканлигини тасдиқлайди ( $S_c < S_r$ ).

Тажриба натижаларига асосланиб, шуни таъкидлаш мумкинки, қатламни очик сирти томонидан ёритилгандаги ҳосил бўлувчи АФН ва АФМЭ эффектларнинг спектрал боғланишлари бир-бирига тўла мос келмайди. Текширилган (100 дан ортиқ намуна текширилган) ҳамма CdTe ва Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> намуналарида қатлам очик сирт томондан ёритилганда тўлқин

узунлиги ортиши йўналишида фотомагнит ток қиймати монотон камаяди.  $\text{CdTe}$  ва  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$  намуналарида монотон камайиш тўлқин узунлигининг яқин инфрақизил соҳаларигача ( $\sim 1,1 \mu\text{м}$ ) чўзилган бўлади. Бундай ҳолни ютилиш коэффициенти камайишига мос равишда фотоэлектронлар ўғонишининг камайиши билан изохлаш мумкин.

$\text{CdTe}$  намуналарида олиб борилган тажрибалардан, хулоса қилиш мумкинки, фотомагнит токнинг (к.т.) қисқа тўлқинли ёруғлик билан қатлам томондан ёритилганда қиймати худди шундай монохроматик ёруғлик билан қатламни тағлик томондан ёритилганда қийматидан етарли қатта бўлади. Демак,  $S_c < S_r$  шартгина бажарилиб қолмай  $S_c < D/L$  ҳам ўринли бўлади. Охири тенгсизликларнинг бажарилиши текширилатган қатламларнинг характеристик параметрларини аниқлашда назарий [2,5] формулалардан фойдаланиш имконини беради.

Қатлам очик сирти томонидан ёритилганда ёруғликнинг қисқа тўлқин соҳаси учун фотомагнит эффект учун қисқа туташув (к.т.) токи учун:

$$J_{\text{АФМЭ}} = \frac{4}{\pi} qtl\mu LB \quad (6)$$

формула ўринли бўлади. Бу формуладан фойдаланиб, Гаусс-ампер боғланишнинг қиялиги асосида « $\mu L$ » кўпайтмани аниқлаш мумкин.

$J_{\text{АФМЭ}}(\lambda)$  максимумига тўғри келувчи нуқта ушбу муносабатдан [12] топилиши мумкин:

$$\alpha_{\text{max}} = 1/d, \quad J_{\text{АФМЭ}}^{\text{max}} = \frac{1}{2,72d} \mu\text{В} \quad (7)$$

бу ифодани ҳисобга олиб,

$$J_{\text{АФМЭ}}^{\text{max}} = \frac{qtl}{2,72d} \mu L^2 \text{В} \quad (8)$$

ифодадан, « $\mu L^2$ » ни аниқлаб олиш мумкин.

$\mu L$  ва  $\mu L^2$  ларни билган ҳолда  $\mu$  ва  $L$  шулар билан бирга диффузия коэффициенти  $D = \mu kT/q$  ва ток ташувчиларнинг яшаш вақтини  $\left( \tau = \frac{eL^2}{\mu kT} \right)$

ҳам аниқлаб олиш мумкин.

Ёруғликнинг қисқа тўлқинли қисми билан қатламнинг очик сирти орқали ёритилганда фотомагнит кучланишнинг

$$V_{\text{АФМЭ}}^T = 2kT/q\pi \cdot \mu NB \quad (9)$$

тўйиниш қийматини (9) ифода билан топилади. Гаусс-вольт характеристиканинг қиялигидан фойдаланиб « $\mu N$ » кўпайтмани ҳам топиб олиш мумкин. Бу кўпайтмадан  $\mu$  ни билган ҳолда АФН-батареядаги

микрофотозэлементлар сони  $N$  ни топиш мумкин бўлади.  $V_{\text{АФМЭ}}(B)$  боғланишнинг тўғри чизикли қисми бор, унинг қиялигидан фойдалансак  $V_{\text{АФМЭ}}(\lambda)$  спектрал боғланишнинг қиска тўлкин соҳасида  $\mu$ ,  $L$  ва  $N$  ларни билган ҳолда

$$V_{\text{АФМЭ}} = \frac{4 NkT e l_0 L}{\pi q J_s} \mu B \quad (10)$$

формуладан [7] қатлам ёритилмаган ҳол учун тўйиниш токи  $J_s$  қийматини аниқлаб олиш мумкин.

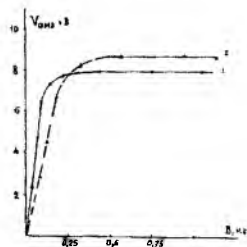
АФН-қатламнинг очик сиртидан ва тағлик томондан ёритилгандаги рекомбинация тезликларини ҳам баҳолаш. Ҳамма биз текширган  $\text{CdTe}$  ва  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$  АФН- қатламлири учун  $S_c < D/L$  тенгсизлик ўрилин.

Демак,  $S_c$  микдор ўзгариши бу ҳолда  $J_{\text{АФН}}$  ва  $J_{\text{АФМЭ}}$  тоқлар ўзгаришига таъсир этмаслиги керак. Шунинг учун АФН ва АФМЭ спектрал характеристикаларидан фойдаланиб, сирт рекомбинация тезлиги  $S_c$  ни аниқлаб бўлмайди. АФН-қатлам тағлик томондан ёритилганда фотомангнит тоқининг спектрида ( $J_{\text{АФМЭ}}(\lambda)$ ) ишора алмашуви кузатилади. Ишора алмашув нуктаси учун  $\lambda = \lambda_{\text{опт}}$ ,  $J_{\text{АФМЭ}} = 0$  бўлади. Тағлик орқали ёритилганда  $S_1 = S_i$  ва  $S_2 = S_c < 1$  муносабатлар бажарилишини ҳисобга олсак,  $\alpha = \alpha_{\text{от}}$  лигини билган ҳолда [5] куйидаги формуладан фойдаланиб:

$$\frac{en(S_1 + \sqrt{S_1 - 1})}{(S_1 + 1)\sqrt{S_1 - 1}} = \frac{\pi(1 + \alpha)}{2(1 - \alpha)} e^{-\alpha d} \quad (11)$$

АФН-қатламнинг тағлик томондаги сиртида бўладиган рекомбинация тезлиги  $S_i$  ни ҳисоблаш мумкин бўлади.

Тақлиф этилаётган усул билан АФН-қатлам микропараметрларини аниқлаш учун теллурид кадмий ва  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$  дан узунлиги  $w = 2,4$  мм калинлиги  $d = 0,46$  мкм ва кенлиги  $t = 3,7$  мм бўлган намуна тайёрланди. Ҳисоблаш натижасида:  $N = 3 \cdot 10^4$  Эл/см,  $\mu = 300$  см<sup>2</sup>/В·с,  $L = 5 \cdot 10^{-6}$  см,  $\tau = 5 \cdot 10^{-12}$  с,  $D = 7,5$  см<sup>2</sup>/с лар топилди. Гаусс-вольт ва Гаусс-ампер характеристикалари  $V_{\text{АФН}}(B)$  ва  $J_{\text{АФМЭ}}(B)$  оқ ( $I_0 = 8 \cdot 10^{16}$  квант/см<sup>2</sup>·с) ёруғликда ва монохроматик ( $\lambda = 400$  нм,  $I_0 = 8 \cdot 10^{14}$  квант/см<sup>2</sup>·с) ёруғликда ўлчанди. Ишора алмашадиган боғланишларда максимум илгари айтганимиздек  $\lambda = 752$  нм га,  $\alpha_{\text{max}} = 2 \cdot 10^4$  см<sup>-1</sup> ва  $J_{\text{АФМЭ}}^{\text{max}} = 10^{-13}$  А бўлганда  $I_0 = 1,3 \cdot 10^{16}$  квант/см<sup>2</sup>·с ва  $B = 700$  Гс,  $B = 3$  кГс,  $I_0 = 8 \cdot 10^{14}$  квант/см<sup>2</sup>·с, ( $V_{\text{АФМЭ}} = 0,33$  В),  $\lambda = 400$  нм бўлганда тўйиниш токи  $J_s = 4 \cdot 10^{-8}$  А бўлиб, вентил фотозэлемент қиска туташув тоқидан старли катта ( $J_{\Phi} \ll J_{\text{АФМЭ}}^{\text{кт}}$ ) бўлиб, бу эса люкс-вольт характеристиканинг чизикли бўлишини таъминлайди (43-расм).



43-расм. Аномал фотомангнит кучланиш билан ёруғлик интенсивлиги орасидаги боғланиш: (1)- ок, (2)- монохроматик ёруғликларда.

Қатламнинг таглик томондаги сиртдаги рекомбинация тезлиги  $S_1$ , қалинлиги  $d = 0,46$  мкм бўлган қатламларнинг  $J_{\text{АФМЭ}}(\lambda)$  спектрал боғланишида ишора алмашадиган характеристикасига асосан  $\lambda = 660$  нм ва  $\alpha L = 0,22$ ,  $\alpha d = 2$  бўлган қийматлар учун қўтилган натижани берди: яъни  $S_1 = 1,6 D/L = 2 \cdot 10^6$  см/с бўлиб,  $S_1 \geq D/L > S_c$  тенгсизликни қаноатлантиради.

Юкоридаги аниқланган ток ташувчиларнинг эффектив харакатчанлиги ( $\mu_{\text{ф}}$ ),  $\mu(I_0)$  боғланишнинг тўйинган ҳолати учун аниқланган бўлиб, намунанинг ёритилган ҳолатидаги харакатчанлигига ( $\sim 100$  см<sup>2</sup>/В·с) мос келади. Фотохолл бўйича топилган [26]  $\mu$  нинг қийматлари ҳам фотомангнит ўлчашлардан топилган қийматларга мос келади.

Юкоридаги усул билан топилган ток ташувчиларнинг яшаш вакти ( $\tau$ ) ( $\tau \sim 3 \cdot 10^{-12}$  с), импульсли фотокўзгатиш йўли билан АФН-эффект фототоки кинетикасидан [20] топилган яшаш вакти  $\tau_0$  дан 4-5 тартибга кичик эканлиги маълум бўлди.

Импульсли кўзгатиш билан фототокнинг сўнишидан топилган вақт  $\tau_0 = 10^{-7} - 10^{-6}$  с «майда» чуқур сатхларга боғлиқ бўлиб, уларда кузатиладиган жараёнлар фототок сўниш вақтига таъсир қилади. Тургун ҳолатларда ( $B = \text{const}$ ) эса «майда» чуқур сатхларга боғлиқ эффектлар характеристик вақтларга таъсир қилмайди [27].

Спектрал боғланишлар бўйича  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$  АФН-қатламлари учун микропараметрлар аниқланганда [25]  $I_0 = 10^{16}$  квант/см<sup>2</sup>·с,  $w = 0,8$  см,  $B = 3$  кГс қилиб олиниб, қуйидаги натижаларни берди:  $J_{\text{АФМЭ}}^{\text{КТ}} = 4 \cdot 10^{-13}$  А диффузия узунлиги  $L = 10^{-6}$  см, диффузия коэффициенти  $D = 0,3$  см<sup>2</sup>/В·с, заряд ташувчиларнинг яшаш вакти  $\tau = 4 \cdot 10^{-11}$  с ва харакатчанлик  $\mu = 12$  см<sup>2</sup>/В·с.

Демак, АФН-эффект ва унга боғлиқ аномал фотомангнит эффекти ёрдамида АФН-қатлам моддасидаги зарядларнинг (ток ташувчиларнинг) харакатчанлигини, яшаш вақтини, диффузия коэффициентини, диффузион

йўл узунлигини ва қисқа туташув токининг қийматларини содда математик ифодалар ёрдамида осонгина аниқлаш мумкин экан.

Аномал фотомангнит эффекти қисқа туташув токининг топишган қиймати тўйиниш токи қийматидан етарли кичик эканлиги 43-расмдаги люкс-вольт характеристиканинг чизикли соҳасига мос келади. Бу эса назарий хулосаларда айtilган фикрларни тасдиқлайди.

Баён қилинган микропараметрларни аниқлашнинг бу методикасини қўллаб теллурид кадмий ва халькогенидларнинг типик вакили сурьма, селен қотишмаларидан тайёрланган АФН-қатлам учун ҳам микропараметрлар, характеристик катталиклар аниқланди. Ушбу методикани АФМН эффекти кузатиладиган бошқа моддаларнинг АФН қатламлари учун ҳам қўллаш мумкин.

Аномал фотомангнит эффекти асосан АФН эффектининг  $p$ - $n$  механизми билан юқори фотокучланиш ва фотомангнит кучланиш ҳосил қиладиган юпка қатламларида кузатилади. Бундай қатламларнинг типик вакили кадмий теллур ва сурьма, селен қотишмаси эканлиги маълум эди. Ҳозирда кадмий, симоб ва теллур қотишмаларидан (КРТ) ҳам АФН-қатламлар олиш мумкинлиги аниқланган [44, ]. Бу қотишмадан олинган АФН-қатламларда ҳам аномал юқори фотокучланишнинг ҳосил бўлиш механизми фотовольтаик ( $p$ - $n$ -ўтиш) характеридадир. Буни ҳисобга олсак кадмий, симоб ва теллур (CdHg)Te, АФН-қатламларида ҳам аномал фотомангнит кучланиш ҳосил бўлиши мумкин.

Биз текширган [2, 25] АФН-қатламларда фотомангнит кучланиш билан магнит майдон индукцияси (ёки кучланганлиги  $H$ ) орасидаги боғланиш  $V_{\text{АФМ}}(B)$  жуда катта майдонларгача ( $\sim 10^6$  Гс) чизикли бўлган

$$V_{\text{АФМ}} = \frac{aB^2Hb}{1 R_0 + 1; R_{\text{ин}} + (qa; NkT + \gamma)B} \quad (12)$$

ёки тўйиниш режими учун ёзилган

$$V_{\text{АФМ}} = \frac{2NkT}{q} b \cdot H \frac{1}{1 + NkT/q \cdot \gamma/a} \quad (13)$$

формулаларга тўла мос келади. Бундай чизикли боғланишлар аномал фотомангнит кучланишнинг анча юқори қийматлари [25] Холл эффектига солиштирилганда сезгирлиги анча юқори бўлган магнит майдонини ўлчовчи асбоблар яратиш имкониятини яратади.

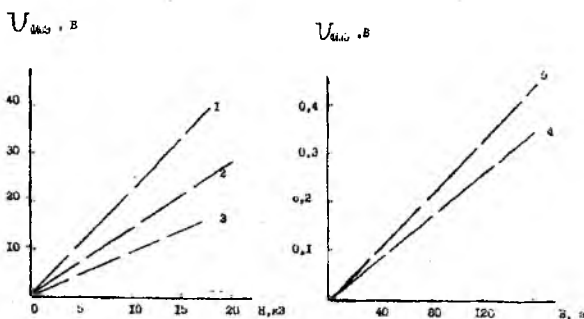
Бундай магнит майдонини ўлчовчи асбобларда ишлатиладиган ярим ўкгазгич юпка қатламларнинг аномал фотомангнит кучланиши билан магнит майдони индукцияси (кучланганлиги) орасидаги боғланишни тажрибада чуқур ўрганиш зарур. Шу мақсадда АФН-қатламларнинг Эрстед-вольт характеристикалари (ЭВХ) кичик (кучсиз) магнит майдонларида синчиклаб, ҳар хил ёруғлик интенсивликларида текширилди. Тажриба натижалари кўрсатишича ЭВХ ларнинг кичик

магнит майдонлар (кучсиз) соҳасига мос келадиган қисмларида чизикли боғланишдан ҳеч қандай четланиш кузатилмади (44-расм).

Бундан кўринадики АФМН-эффекти ёрдамида ишлайдиган магнит майдон ўлчагичлари (датчиклар) ўлчаш аниқлиги ва сезгирлиги куч магнит майдонларида ҳам юқори бўлади.

АФН-қатламларнинг ЭВХ ларнинг (44,а, 44,б-расмлар) графиклари кучсиз (0-23 кЭ) магнит майдонларидан бошлаб, ҳар хил ёруғлик интенсивликларида ўлчанди. Эрстед-вольт боғланишларнинг 44,а-расмдаги 1-график  $8 \cdot 10^4$  лк ёритилганликда 2-график эса  $7 \cdot 10^3$  лк ёритилганликда, 3-график эса  $6 \cdot 10^3$  лк ёритилганликда ўлчанган. 44,б-расмдаги 4,5-графиклар  $10^5$  лк ёритилганликларда ўлчанган.

44-расмлардаги ЭВХ лар асосан  $Sb_2Se_3$  ярим ўтказгич моддасидан тайёрланган юпка ( $1 \div 2$  мкм) АФН-қатламлар учун келтирилган. Теллурид кадмий АФН-қатламларининг аномал фотомангнит кучланиш берадиган қатламлари адабиётларда яхши ёритилган [2].



44-расм. CdTe (а)  $Sb_2Se_3$  ва АФН-қатламлар учун  $V_{ФМ}(H)$  боғланиш:  
 1-  $V=8 \cdot 10^4$  лк; 2-  $7 \cdot 10^3$  лк; 3-  $6 \cdot 10^3$  лк; 4,5-  $10^5$  лк.

Жуда кўп сондаги  $p$ - $n$  ўтишли қатламлар тизилмасида фотомангнит кучланишнинг кучайиши ва унинг асосида магнит майдонининг сезгир датчиги яратиш гоҳисини Ю.И. Равич [7] томонидан илгари сурилган. АФН-қатламларнинг жуда кичкина ҳажмида жуда кўп сондаги  $n$ - $p$  ўтишлар ( $\sim 10^5$  см да) борлигини эътиборга олсак, Ю.И.Равич гоҳисини амалга ошириш имкони туғилади.

АФН-қатлам асосида яратилган ФМЭ-датчикнинг биринчи асосий афзаллиги унда ташқи электр манбаси вазифасини ёруғлик бажаради. Бу куёш ёруғлиги шароитида катта имкониятлар очади. Люкс-вольт характеристика тезда тўйинишга чқкади (44-расм). Бу хусусият яратиладиган датчикнинг ташқи ёруғлик интенсивлигининг тебранишлари билан ўлчашда кузатиладиган хатоликларидан қутилтиради.

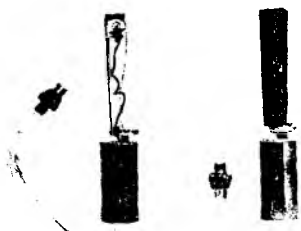
АФМЭ-эффект назарияси ва бизнинг экспериментларимиздан келиб чиқиб, шунини таъкидлашимиз мумкинки, бундай датчикларнинг ўлчаш

чегараси кенг ва уни ўта ихчам қилиб яшаш мумкин. Ташқи температуравий ўзгаришлардан ҳимоялашга янги ФМЭ- датчик муҳтож эмас, чунки  $V_{\text{ФМЭ}}$  температурага кучсиз боғланган. Датчик яшашда ишлатиладиган АФН-катламларнинг қаршилиги юқори ( $\sim 10^{10}$  Ом) бўлганлиги учун магнит майдонининг ФМЭ-датчиги юқори Омли нағрузкада ишлайди.

Агар маълум шароитда электр манбаси муаммоси принципиал аҳамиятли бўлмай АФН-катламдаги магнит ўлчагичнинг бошқа специфик асослари (масалан, миниатюр, ихчам ва кучли магнит майдонининг топографиясини ўлчанда аҳамиятли бўлган катта динамик диапазонлиги) асосий рол ўйнаса, датчикни махсус схемада бажарилган катод кайтаргич билан мослаштириш мумкин. Датчикнинг икки хил тажриба варианты яратилди.

ФМЭ-датчикнинг биринчи типдаги ишчи макетида АФН-катлам ва катод кайтаргич билан бирга кронштейнга кичкина лампочка жойлаштирилган, ундаи (магнит ўлчагичда) ташқи ёритиш бўлмаганда фойдаланилади. Ёритувчи лампочканинг манбаси қилиб 6С5Н радиолампанинг накал занжирдан фойдаланилган ва шу асосга катод кайтаргич ишланган. Катод кайтаргичнинг манбаси сифатида фотомагнит кучланишни қайд қилиш учун ишлатиладиган ВК7-9 вольтметрнинг унга мос занжирдан фойдаланилган. ФМЭ-датчикнинг ташқи кўриниши 45-расмда келтирилган.

Магнит майдон ўлчагичининг иккинчи типда оптоэлектрон усул қўлланилиб, бунинг учун яқин ИК-сохага сезгир эффектив ёруғлик диодлари ( $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ ) асосида  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$  АФН-катламлари билан биргаликда оптрон ясалди. Оптоэлектрон ФМЭ-датчик 100 Э дан 5 кЭ гача бўлган магнит майдон [28] ларини ўлчаш имконини беради. Юқори чегара ходиса физикаси билан эмас, датчик лойиҳасининг мукамаллиги билан боғлиқ. Лойиҳа схемасининг яхшиланиши билан датчик ёрдамида хатто  $10^5$  Э майдонларини ҳам ўлчаш мумкин бўлади.



45-расм. ФМЭ-датчик ташқи кўриниши.

Магнит майдонининг кучланганлигини ўлчайдиган оптоэлектрон қурилмада қўлланиладиган теллурид кадмий ярим ўтказгичидан тайёрланган генератор типдаги фотоприёмник (фотоэлектрик генератор) ҳақидаги баъзи маълумотлар қуйидаги жадвалда келтирилган.

Жадвал

№ намуна	Парда қалинлиги, мкм	Парда қаршилиги, Ом		$U_{\phi}, B$	$U_{\phi M}, B$
		$R_k \cdot 10^{-12}$	$R_e \cdot 10^{-9}$		
1	1,73	5	5	240	0,6
2	2,6	5	10	290	0,34
3	0,8	2	8	26	0,7
4	0,65	0,5	4	127	0,5
5	0,9	0,7	1,5	86	0,4
6	1,4	1	5	560	0,4
7	1,76	2	3	430	55
8	1,2	6	3,2	0	75
9	0,8	2	6	327	62
10	0,75	3	6	0	60

**ЭСЛАТМА:** Жадвалдаги  $R_k$  – аномал фотокучланиш берадиган теллурид кадмий пардасининг ёритилмаган ҳолатдаги қаршилиги.  $R_{ep}$  – парданинг ёритилган ҳолатдаги қаршилиги,  $U_{\phi}$  – аномал фотокучланиш,  $U_{\phi M}$  – аномал фотомагнит кучланиш.

### АФН-юпқа пардаларидаги фотошунтларнинг фотоэлектрик генератор характеристикаларига таъсири

Юкорида эслатиб ўтганимиздек, биз тақлиф этаётган [2, 70] АФН-модели ва унинг эквивалент схемасида электрон-тешик ўтишлар билан бир қаторда «фотошунт» деб аталувчи қатлам ҳажми ҳам аномал юқори фотокучланиш ва фотомагнит кучланишларнинг шаклланишида муҳим рол ўйнайди.

АФН ва АФМЭ-эффектларнинг қонуният ва характеристикаларини чуқур таҳлил қилиш асосида тақлиф этилган моделга асосан АФН-қатлам фотовольтаик актив ҳисобланган  $p$ - $n$  ва  $n$ - $p$  ўтишлар тизимидан ва уларни шунтловчи фотовольтаик актив эмас, лекин ёруғлик сезувчи (фототўказувчан) «ҳажм» дан иборат.

Мана шу ёруғликни сезгир лекин фотовольтаик эмас ҳажмни фотошунт деб атаб эквивалент схемада  $1/R_m = 1/R_{m_0} + \gamma B$  ҳад кўринишида ҳисобга олинган.

Бундай эквивалент схема учун тузилган тенгламалар системасини ечиб АФН ва АФМЭ кучланишлари учун қуйидаги ифодаларни топиш мумкин:

$$V_{\text{АФН}} = \frac{\alpha a B^2}{1 R_0 (1 + J/J_s) + 1 R_m + \gamma B}, \quad (14)$$



$$V_{\text{АФН}} = \frac{abHB}{1/R_0(1+J/J_S)+1/R_{\text{ш.н.}}+\gamma B} \quad (15)$$

Бу ифодалардан қиска туташув режими ( $R_{\text{ш.н.}} \rightarrow 0$ ) тоқларини топсак, АФН ва АФМЭ-эффект учун мос равишда

$$J_{\text{АФН}}^{\text{к.т}} = \frac{1}{2} \alpha aB, \quad J_{\text{АФМ}}^{\text{к.т}} = abfHB$$

бўлади. Тўйиниш режимида эса:

$$V_{\text{АФН}} = \frac{\alpha NkTa}{aq + NkT\gamma}, \quad (16)$$

$$V_{\text{АФМ}} = \frac{2NkTbHa}{aq + NkT\gamma}. \quad (17)$$

Шундай қилиб, (16) ва (17) формулаларга назар солсак, улардаги

$$\alpha = \frac{qa}{qa + NkT\gamma} \quad (18)$$

кўпайтувчи АФН-катламнинг фотовольтаик актив бўлмаган, лекин фотосезгир ҳажми томонидан кўрсатилаётган шунтлашни характерлайди.

Люкс-вольт боғланишлар ёруғлик интенсивлигининг маълум қийматларидан бошлаб ( $J_{\text{ф.}} \approx aB \gg J_S$ ) тўйиниш соҳасига чиқиб, ёруғлик интенсивлигининг келгуси ортишлари  $V_{\text{АФН}}$  ва  $V_{\text{ФМЭ}}$  кучланишларни ўзгартирмайди. Бу ҳолат учун, ёзилган

$$V_{\text{АФН}} \rightarrow \alpha N \frac{kT}{q} \quad \text{ва} \quad V_{\text{ФМЭ}} \rightarrow 2N \frac{kT}{q} bH \quad (19)$$

( $b = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{M}{c}$ ) ифодалар (16) ва (17) ифодаларга қиёсланганда, улар

$\frac{q \cdot a}{q \cdot a + NkT\gamma}$  га фарқ қилиши аниқланди ( $\alpha$ ). Бу ( $\alpha$ ) катталиқ тўласича фотоактив бўлмаган фотошунтни характерини аниқлаб беради. Тажрибада аниқланган  $V_{\text{АФН}}(B)$  ва  $V_{\text{ФМЭ}}(B)$  боғланишлар характери (16) ва (17) формулалардаги боғланишларга мос келади. Шунинг учун (17) ва (19) формулалардан  $N\mu$  катталиқни баҳолашда фойдаланиш мумкин. Уни баҳолашдан олдин фотосезгир лекин фотовольтаик актив бўлмаган фотошунт ролини аниқлаб олиш керак.

АФН-эффектни ҳар томонлама ўрганиш [9] натижасида шу нарса маълум бўлдики, катламнинг жуда кўп қисмини фотовольтаик жиҳатдан актив бўлмаган қатлам тизимлари ташкил қилади.

АФН-қатламлар қалинлигининг люкс-вольт характеристикалар тўйиниш қисмларига таъсирини ўрганиш натижасида шу нарса маълум бўлдики, қалинликнинг ортиши билан ( $0,1 < d < 2,5 \text{ мкм}$ ) люкс-вольт характеристика (ЛВХ) ларнинг ( $V_{\text{АФН}}$  ва  $V_{\text{ФМЭ}}$  ларнинг нисбатан кичикрок қийматларида) эргарок тўйинишга эришиши маълум бўлди. Қалинликнинг ортиши билан маълум чегарада қатламнинг фотошунтга тегишли қисми ортиб бориши табиий бир ҳолдир. Шу билан бирга шунтли ( $\alpha < 1$ ) ва шунтсиз ( $\alpha = 1$ ) АФН-моделларнинг люкс-вольт характеристикаларининг табиати бир хил бўлиб, фақат шу билан фарқ қиладики, фотошунтли моделда ЛВХ нинг тўйиниши  $V_{\text{АФН}}$  ва  $V_{\text{ФМЭ}}$  ларнинг нисбатан кичикрок қийматларида юз беради. Тажриба натижаларига асосан қатламини сирт томонидан ва таглик томонидан бир вақтнинг ўзида ёритилган пайтдаги ЛВХ нинг тахлили шуни кўрсатдики, масалан сирт томондан  $\text{CdTe}$  АФН-қатламини ёритишда  $V_c = 500 \text{ В}$  таглик томондан ёритишда эса  $V_c = 100 \text{ В}$  кучланиш ҳосил бўлса, бу иккала кучланиш бир хил ишорага эга бўлганда, бир вақтда ҳам очик сиртдан ва таглик томондан ёритилса ҳосил бўлган натижавий кучланиш  $650 \text{ В}$  бўлиши керак эди, лекин тажрибада  $200\text{--}250 \text{ В}$  кучланиш кузатилади. Кучланишнинг бу ўзгариши табиийки, қатламини фақат сирти томондагина ёритилганда шунтнинг таъсири унчалик катта бўлмасдан ёруғликнинг асосий қисми сиртга яқин жойлашган актив қатламда ютилиб, кучланиш катта бўлади.

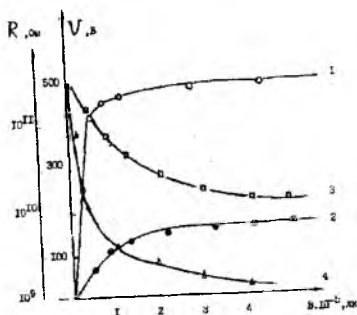
Шу сабабли (16) ва (17) формулалардаги  $\alpha$  нинг қиймати (18) формулага асосан топилишидан келиб чиқади.

Оқ ва монохроматик ёруғлик билан АФН-қатламини сирт томондан ёритилгандаги ЛВХ ларни ўрганиш бўйича ўтказилган тажриба натижалари бу фикрни тасдиқлайди. Таглик томондан ёруғликнинг тушиши фотошунтни активлаштиради ва буниинг натижасида фотошунтнинг шунтлаш даражаси ортиб, натижавий кучланишнинг юқорида кўрсатилган камайишига сабаб бўлади. Фотошунт (ФС) деб аталаётган қатлам ҳажми икки хил вазифани бажаради. Биринчидан, таглик томонидан ёритилганда у ёруғликни қисман ютувчи оптик филтёр бўлиб хизмат қилади, иккинчидан, у вужудга келаётган фотокучланишни пасайтирувчи шунт сифатида таъсир қилади. Тажрибалар бу қатлам юқори фотоўтказувчанликка эга эканлигини тасдиқлаган [2]. Шу сабабли, таглик томондан ёритиш вақтида шунтлаш эффектининг таъсири нисбатан кучли бўлиб, у фотокучланиш ҳосил бўлиш эффектидан устунлик қилиб қолади,  $\alpha$  нинг қийматини [23] ишда аниқланган  $\alpha \sim 10^{-12} \text{ А/лк}$  ва  $\gamma \sim 10^{-14} \text{ 1/Ом.лк}$  қийматлар орқали (тақрибан) боғлаш мумкин.

$\text{CdTe}$  учун [2] фотобатарядаги элементлар сонини  $1 \text{ см}$  узунликдаги қатламда  $N \sim 5 \cdot 10^4$  дона десак  $\alpha \approx 0,21$  бўлади. Демак  $V_{\text{АФН}} = 100 \text{ В}$  бўлганда, фотошунт уни камайтириб  $21 \text{ В}$  қилиб беради.

$\text{Sb}_2\text{Se}_3$  АФН-қатламлар учун [25]  $N = 10^5$  доналигини ҳисобга олсак,  $\alpha = 0,04$ . Демак,  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$  АФН-қатламларида фотошунт таъсирида  $100 \text{ В}$  фотокучланиш  $4 \text{ В}$  бўлиб қолиши ҳам мумкин.

АФН-катламнинг таглик томонидан ёритилиши натижасида фотокучланиш генерациясидан шунтлаш эффекти устун келиб, фотокучланиш шунтланиш ҳисобига сиртдан ёритилмагандагига солиштирганда бир неча тартибга камайишини фақат юқоридаги йўл билан тушунтириш мумкин. Теллурид кадмий ва  $Sb_2Se_3$  ларга ўхшаш моддалардан олинган АФН-катлам учун ЛВХ ларнинг типик кўринишлари 46-расмда кўрсатилган.



46-расм. АФН-катламини учун ЛВХ: 1- катламнинг очик сиртидан ёритилгандаги; 2- катлам таглик томондан ёритилгандаги; 3- катлам бир вақтда очик сиртидан ва таглик томондан ёритилгандаги; 4- R(B).

Расмдаги 1-график юпка парда (катлам) сиртидан ёритилиб, олинган характеристикадир. 2-графикни олишда катламни томондан ёритилган. 3-графикни олишда катламга ёруғлик бир вақтнинг ўзида очик сиртидан ва таглик томондан туширилган. Расмдаги 4-график катлам қаршилигининг ёруғлик интенсивлигига қараб, қандай ўзгаришини ифодалайди. Ёруғлик интенсивлигининг  $\sim 10^4$  лк қийматларигача ўзгаришларида катлам қаршилигининг кескин камайиши кузатилади. Бу соҳада катлам қаршилигининг ёритилмаган ҳолатдаги қийматига солиштирилганда 250 марта камайганлиги кузатилади. Яъни, қаршилик  $\sim 10^{11}$  Ом дан  $\sim 10^9$  Ом гача камайган. Интенсивликнинг кейинги ўсишларида катлам қаршилиги нисбатан оз камайган. Бу соҳада ЛВХ даги фотокучланиш ўзининг тўйиниш қийматига эришади. Бунда ёруғлик интенсивлиги тўрт марта ортганда катлам қаршилиги 1,5 марта камайган ҳолос.

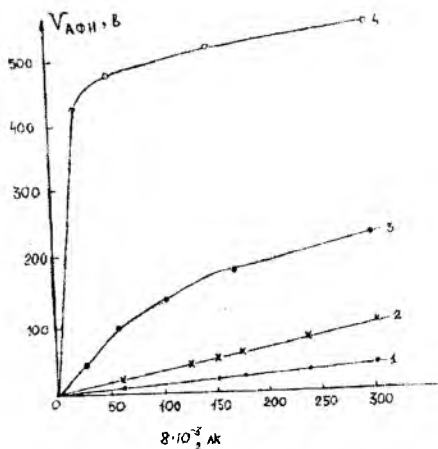
Халькогенид бирикмалардан тайёрланган катламларнинг люкс-вольт характеристикалари хона температурасидаги ҳароратда  $V=0,35 \text{ Вт/см}^2$  интенсивликкача ҳам чизикли бўлади. Суюқ азот температураларидаги ҳароратларда люкс-вольт характеристиканинг чизикли боғланишли қисми интенсивликнинг  $2 \cdot 10^2 \text{ Вт/см}^2$  қийматларигача сақланади. Юқоридаги хулосаларга теллурид кадмий ва сурьма, селен бирикмаларида олиб борилган тажрибалар асосида келинган.

Баъзи текширилган моддаларнинг АФН-катламларида (масалан, Se, Si, Ce ва бошқалар) улардаги фотоўтказувчанликнинг нисбатан кичиклиги сабабли, фотошунтнинг шунтлаш эффектнинг таъсири жуда паст бўлади. Шу сабабли фотошунт деб аталувчи катлам хажмининг фотоўтказувчанлиги натижасида фотокучланишнинг пасайиш эффекти кузатилмайди. Баъзи ҳолларда эса фотокучланишнинг камайиши ўрнига ортиши ҳам мумкин.

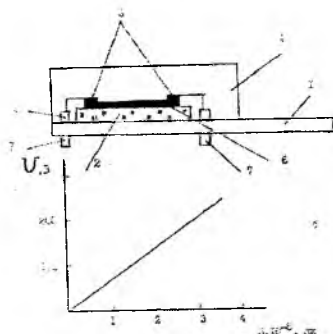
### **АФН ёрдамида ёруғликнинг интенсивлигини баҳолаш мумкин**

АФН-катламларда ёруғлик интенсивлиги билан фотокучланиш орасидаги боғланиш эффектнинг асосий характеристикаларидан бири ҳисобланади. Люкс-вольт характеристикаларни ўрганишда ёруғлик оқими ф нейтрал светофилтрлар ёрдамида сусайтирилиб, кучланиш эса С-50, С-96 тишидаги электростатик вольтметрлар ва В2-5 тишидаги электрометр ёрдамида ўлчаб олинди.

47-расмда баъзи моддалар учун олинган люкс-вольт характеристикалар келтирилган. Бу характеристикалар кремний, германий ва галлий арсениди учун ўрганилган ( $\sim 35-10^4-50 \cdot 10^4$  лк) ёритилганликларда чизикли боғланишни берган. Кадмий теллуриди ва сурьма селениди учун олинган люкс-вольт характеристикалардаги дастлаб паст ёритилганликли соҳаларида фотокучланиш, ёритилганликнинг ўзгариши билан чизикли ортади. Ёритилганликнинг  $2 \cdot 10^4$  лк қийматларидан бошлаб, ёритилганлик ортиши билан фотокучланиш бутунлай ўзгармай қолади ва тўйинишга эришади. Германий, кремний ва арсенид галлий АФН-катламларидан фойдаланиб, ёруғлик интенсивлигини аниқловчи асбоб (люксметр) яшаш мумкин. Бунинг учун кремнийдан эффектив юзаси каттарок қилиб, қатлам ясалади. Люксметр лойиҳасига мувофиқ катламга махсус формада индийдан контакт қилинади. Индий вакуумда буғлатиш йўли билан маска оркали тайёр кремний АФН-қатламининг танланган жойларига ўтказилади. Ундан сўнг махсус припой ёрдамида контакт симлари кавшарланиб, корпусга маҳкамланади. Контакт симлари кавшарланган жойлар биргаликда АФН-катлам тўласича эпоксид смоласи билан қолинади.



47-расм. АФН-қатламларнинг люкс-вольт характеристикалари: 1- германий; 2- кремний; 3- галлий арсениди; 4- кадмий теллуриди.



48-расм. АФН-қатламдан ясалган ёруғлик интенсивлигини ўлчовчи асбобнинг асосий қисми лойиҳаси: 1- махсус тағлик бўлиб, унга АФН-қатлам тағлик томонидан ёпиштириб қўйилади. 2- АФН-қатлам тағлиги; 3- индий контактлари; 4- эпоксид смоласи (Э-6); 5- контакт симлари маҳкамланадиган мослама; 6- кремнидан ясалган АФН-қатлам;

7- ўлчов асбобга борадиган симлар,  $\sigma$ - даражалаш графиги.

С-50, С-96 типдаги вольтметрдан ўлчов асбоби сифатида фойдаланилади. Бунинг учун люксметр ёрдамида 47-расмдаги кремний ЛВХ дан ( $\sigma$ ) фойдаланиб, электростатик вольтметр шкаласи люксларга даражаланади. Бундай люксметрларни ишлатилиши қулай, жуда кичкина ёритилганликларни ҳам ўлчаш мумкин. Ихчам қилиб ясаш имконияти бор. АФН-люксметр лойиҳасини ўзгартириб, ишлатишга мос қилиб, ясаб олиш

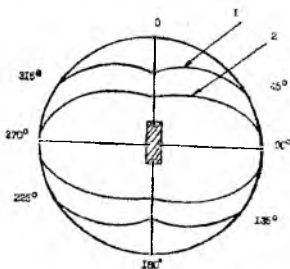
мумкин. Бундай люксметрни лаборатория шароитида ва ишлаб чиқаришда қўллаш мумкин.

### Кутбланган ёруғликда АФН-қатламларда кузатиладиган ҳодисалар

Маълумки [2] АФН-катламлар анизотропик буглатиш йўли билан олинади. Бу анизотропия қатламни кутбланган ёруғлик билан ёритилганда намоён бўлиши керак.

Кутбланган ёруғликда АФН-эффектни текширишга бағишланган дастлабки [2, 29] ишларда, асосан кутбланган ёруғликнинг аномал фотокучланиш катталигига таъсири ўрганилган.

Бу ишларда келтирилган кутбланган ёруғлик билан ўтказилган амалий текширишлар шуни кўрсатдики, кремний ва GaAs АФН-катламларидаги фотокучланиш ёруғликнинг кутбланиш текислигининг қатлам электродларини туташтирувчи тўғри чизикқа нисбатан вазиятига жуда ҳам боғлиқ бўлади. 49-расмда аномал фотокучланиш билан (электродларни туташтирувчи тўғри чизик билан) кутбланиш текислиги орасидаги ( $\alpha$ ) бурчак боғлиқлигини ифодаловчи кутб диаграмма келтирилган.



1 - GaAs, 2 - Si

49-расм. Фотокучланишнинг ёруғлик электр вектори текислиги билан қатлам электродларини бирлаштирувчи тўғри чизик орасидаги бурчак ( $\alpha$ ) боғлиқлиги.

АФН-катламларга кутбланган ёруғликнинг таъсирларини ўрганиш натижасида ва кутб диаграммаларини тадқиқ қилиш ёрдамида қатламларнинг анизотропик ўзгаришлари билан боғлиқ оптик ҳодисаларни маълум даражада таҳлил қилиш мумкин. Ёритилиш бурчаги, қатламдаги микрокристаллчаларнинг тағлиқда жойлашиш қиялигига боғлиқ равишда фотокучланиш ва ёруғликнинг қатламда ютилиш даражасининг ўзгаришларини ҳар хил тўлқин узунликларда кузатиш мумкин. Бу ўзгаришлар моддаларнинг кристаллчаларининг қатламида жойлашиш геометриясининг ўзига хослигига боғлиқ равишда турли моддалардан олинган юлқа ярим ўтказгич АФН пардаларида гурлича характерда

бўлиши керак. Юпка яримўтказгич пардаларда кутбланган ёруғликда ўтказилган тажрибалар бу хулосани тасдиқлайди.

Кремний ва галлий арсениди қатламларида  $V_{\text{АФН}}$  нинг максимал киймати  $\alpha=0^\circ$  ёки  $\alpha=90^\circ$  да жойлашади. Масалан, 49-расмда Si ва GaAs қатламларидаги  $V_{\text{АФН}}$  нинг максимуми  $\alpha=90^\circ$  га тўғри келган. Бу қатламлардаги фотокучланишнинг  $\alpha_{\text{max}}$  дан  $\alpha_{\text{min}}$  гача ўзгариши мос равишда 50% ва 30% ни ташкил қилади. Фотокучланишнинг максимум ва минимумлари орасидаги фарқ қатлам қалинлиги камайиши билан камайиб боради. Бундан кўринадики, қатламларда анизотропия қалинлик ортиши билан тўпланиб боради. Германий ва халькогенид бирикма АФН-қатламларида аномал фотокучланиш катталигига  $\alpha$  бурчакнинг таъсир қилмаслиги мумкин, шу сабабли бўлса керак ёруғлик кутбланиш текислиги вазиятининг CdTe ва Se АФН-қатламларидаги фотокучланиш катталигига таъсири унча катта эмас: CdTe учун 5-10%, Se учун эса 10-20%.

Ёритилганда аномал юкори фотокучланиш ҳосил бўладиган ярим ўтказгич юпка қатламлари анизотропик буглатиш (молекуляр оқим тагликка қиялатиб туширилади) йўли билан олингани учун бундай қатламларда оптик анизотропик ҳодисалар кузатилиши ҳам мумкин.

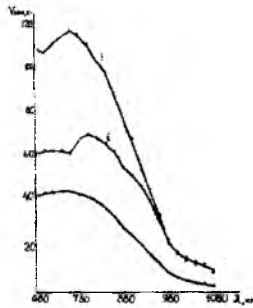
Оптик анизотропияни кузатиш мақсадида АФН-қатлам фотокучланиш ( $V_{\text{АФН}}(\lambda)$ ) ва ютилиш  $\alpha(\lambda)$  спектрлари кутбланган ёруғлик таъсирда ўрганилди. Тажриба кутилган натижани берди. АФН-қатлам спектрлари ҳар хил кутбланишда ( $\vec{C} \parallel \vec{E}$  ва  $\vec{C} \perp \vec{E}$ ) ҳар хил бўлиши маълум бўлди.

Кадмий теллуриди АФН-қатламлари 200-300°C гача ва ундан ортик, температураларда киздирилган тагликларга 35-40° қиялик билан тушириб олинганда, қатлам тизимида куб ва гексогонал тузилишларга эга кристалл панжаралар ҳосил бўлади.

Бундай қатламларнинг ютилиш ва бошка спектрлари эгриликларининг қияликларидаги системали кузатиладиган ўзгаришлар тўлқин узунлигининг  $\lambda=7600-8000 \text{ \AA}$  га тўғри келувчи сохаларида кузатилади. Бундай бўлишига асосий сабаб, қатлам кристаллчаларидаги гексогонал фазаларнинг мавжуд бўлганлигидан тахмин қилинади. Бу тахминни АФН-қатлам спектрларини ҳар хил кутбланишда ( $\vec{C} \parallel \vec{E}$  ва  $\vec{C} \perp \vec{E}$ ) ўлчаш йўли билан текшириш мумкин. Текширишлар асосан теллурид кадмий ва сурьма селениди АФН-қатламларида олиб борилган. Спектрал характеристикалар 50- ва 51-расмларда келтирилган. Бу спектрал боғланишлар табиий ва кутбланган ёруғликларда ўлчанган. Ўлчаш натижаларининг кўрсатишича ўзаро перпендикуляр кутбланиш учун ютилиш чегарасининг силжиши кузатилган, ( $\sim 120 \text{ \AA}$ ).  $\vec{E} \perp \vec{C}$  кутбланиш учун ютилиш чеккаси  $\Delta E = 1,515 \text{ эВ}$  га тўғри келган.

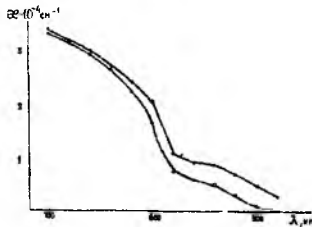
$$1- \bar{E} \perp \bar{C}$$

$$2- \bar{C} \parallel \bar{E}$$



(1) -  $\bar{C} \perp \bar{E}$ , (2) -  $\bar{C} \parallel \bar{E}$ .

50-расм. Кутбланган ёруғликда фотокучланиш ва тўлқин узунлиги орасидаги боғланиш. Бу ерда  $\bar{C}$ - гексогонал кристалл ўқи бўлиб, буғлатгичга томон йўналган вектор йўналишига мос келади.  $\bar{E}$ - ёруғлик электромагнит тўлкинининг электр майдон вектори. 3- табиий ёруғлик.



51-расм. Ютилиш коэффициентини ва тўлқин узунлиги орасидаги боғланиш.

Маълумки, [71] теллурид кадмий АФН-катламларида тушаётган ёруғликнинг йўналишига мос равишда ёруғликнинг анизотроп сочилиши кузатилади.

Кутбланган ёруғликнинг теллурид кадмийдан ўтган қисмининг интенсивлиги поляроиднинг  $\bar{E} \perp \bar{C}$  ёки  $\bar{C} \parallel \bar{E}$  ҳолатларида минимумга эришса,  $\bar{E}$  ва  $\bar{C}$  векторлар орасидаги бурчакнинг  $45^\circ$  кийматида катламдан ўтган ёруғлик интенсивлиги максимум киймат олади. Бу натижалар АФН-катламда ҳам сирт ҳамда ҳажмий анизотропия мавжудлигини кўрсатади.

Фотокучланиш ва ютилиш коэффициентларининг спектрал боғланишларини ўлчаш учун қалинлиги 0,5-1,5 мкм тартибидаги АФН-катламлар тайёрланди. Ўлчаш асбоби сифатида ИСП-1 спектрографи, ФЭУ-22, Ф116/2, Ф116/1 ҳамда электрометрдан фойдаланилди. ИСП-51



асбобининг  $7000\text{Å}$  тўлқин узунликка мос соҳаси учун дисперсияси тақрибан  $400\text{ Å/мм}$  га мос келган. Асбоб чиқиш тирқишининг кенглиги  $\sim 0,1\text{ мм}$ . Бу эса асбобнинг чиқишида  $\sim 40\text{ Å}$  га мос спектрал интервал бўлишини таъминлайди. Табиий ёруғликдан поляроид ёрдамида қутбланган ёруғлик олинди. Поляроид монохроматорнинг чиқиш тирқишига ўрнатилди. Ўлчашлар ҳар хил қалинликда ўтказилди. Бу эса ёруғликнинг қайтишини ҳам ҳисобга олиш имконини беради. У ҳолда  $d_1$  қалинликдаги қатламдан ўтган ёруғлик интенсивлигини

$$J_2 = J_0(1-r)^2 e^{-\alpha d_1},$$

$d_1$  қалинликдаги қатламдан ўтганини

$$J_2 = J_0(1-r)^2 e^{-\alpha d_2}$$

десақ, уларнинг нисбатини олиб, ютилиш коэффициентини

$$\alpha = \frac{\ln J_1 / J_2}{d_2 - d_1}$$

топиш мумкин.

Бир хил қалинликдаги қатламнинг участкалари битта қатламнинг ўзидан танланди. Ўлчашда ишлатилган намуна қалинлиги  $\sim 0,5-1,5\text{ мкм}$ , узунлиги  $4\text{ см}$  тартибда олинди.

Ютилиш спектри ўлчанган участкаларда фотоқучланиш спектри ҳам  $\vec{E} \perp \vec{C}$  ёки  $\vec{E} \parallel \vec{C}$  ҳолатлар учун ўлчаб олинди.

Аномал фотоқучланиш ( $V$ ) билан ютилиш коэффициентини ( $\alpha$ ) орасида тўғри пропорционал боғланиш мавжуд бўлса, поляроиднинг ўзаро тик ҳолатларига мос келувчи ўзгаришларда ҳам пропорционаллик сақланиши керак. Маълумки, теллурид кадмий ( $\text{CdTe}$ ) АФН-қатламида табиий ёруғликда ўлчанган спектрларда битта қатламнинг ўзида ҳам қалинлик ( $>0,7\text{ мкм}$ ) ортиши билан спектр  $V(\varphi)$  эгрилигининг кўринишлари ўзгариб кетади. Бундан қутилиш учун қатламнинг қўшни энсиз иккита участкаси танланади.

Дастлаб табиий ёруғликда танлаб олинган участкаларда спектрлар ўлчаб олинади. Спектрларда ўзгаришлар кузатилмаганлигига ишонч ҳосил қилингандан сўнг шу АФН-қатламнинг спектр ўлчаш учун танланган участкаларида аномал фотоқучланиш ( $V$ ) ва ютилиш спектрлари ўлчанади. Ютилиш коэффициентини ( $\alpha$ ) аниқлашда, танланган қатлам участкаларида қайтариш коэффициентини ( $r$ ) бир хил деб ҳисоблаб, юқорида эслатганимиздек, қатламга тушаётган ва ундан ўтаётган ёруғлик интенсивликларининг нисбатини  $J_1/J_2$  олиш йўли билан ёруғликнинг қатламдан қайтаришига боғлиқ хиссани йўқотишга эришамиз. 50, 51-расмлардан кўринадики, аномал фотоқучланиш  $V$  ва ютилиш

коэффициенти  $\alpha$  ларнинг кутбланган ёруғлик кутбланиш текислигининг мос ҳолатларига тўғри келган ўзгаришларида тўғри пропорционаллик сақланган. Аномал фотокучланиш (V) ва ютилиш коэффициенти ( $\alpha$ ) орасида кутбланган ёруғликда ўзаро монанд ўзгариш кузатилади.

Шуни ҳам ҳисобга олиш керак-ки, анизатроп кристаллардаги каби, анизатроп қатламларда ҳам (айниқса анизатроп буғлатиш йўли билан олинган ярим ўтказгич қатламларида) ёруғликнинг ютилиш хусусияти ( $\alpha$ ) ўзгача, яъни оддий мураккаб таркибли анизатроп юпқа қатламларда ясси кутбланган нурларнинг бири бутунлай ютилиб қолади. Бу ҳодиса аномал мос ҳолатларига ( $\vec{E} \perp \vec{C}$  ва  $\vec{E} \parallel \vec{C}$ ) тўғри келувчи монанд ўзгариш характериға сезиларли таъсир қилмайди. Бу ҳол кутбланиш фақат кўндаланг тўлқинларға хос хусусият эканлигини билдирувчи яна бир далил бўлса керак.

Поляроиднинг  $\vec{E} \perp \vec{C}$  ва  $\vec{E} \parallel \vec{C}$  ҳолатлари учун иккита тўлқин узунлигида ўлчанган қуйидаги натижалар фикримизни тасдиқлайди. Масалан,

$$\begin{array}{lll} V'_{\text{АФН}} > V''_{\text{АФН}}, & \alpha' > \alpha'' & \\ \lambda = 700 \text{ мкм} & V'/V'' = 1,3; & \alpha'/\alpha'' = 1,75. \\ \lambda = 760 \text{ мкм} & V'/V'' = 1,33; & \alpha'/\alpha'' = 1,54. \end{array}$$

Келтирилган натижаларға мос келадиган тўлқин узунлигини танлаб, ўша тўлқинда ўлчанган кутб диаграммаси (V билан  $\alpha$  боғланиш) натижалари кутбланиш фақат кўндаланг тўлқинларда кузатилишини ҳам тасдиқлайди.

Кутбланишнинг саралаш тартибига мувофиқ анизатроп кристаллардаги оптик ўтишлар эҳтимоллиги ҳам ёруғлик тўлқин электр вектори ( $\vec{E}$ ) ва кристаллнинг бош оптик ўқлари ( $\vec{C}$ ) (кутбий ўқ) нинг ўзаро вазиятиға боғлиқ. Бунини ҳисобга олсак, минимал энергияли ўтиш  $\Gamma_7$ - $\Gamma_6$  (А-ўтиш)  $\vec{E} \parallel \vec{C}$  кутбланиш ҳолати учун руҳсат этилган ўтиш ҳисобланади.

Қисқа тўлқинлар соҳасида фотокучланиш спектри  $\vec{E}$  ва  $\vec{C}$  векторларнинг ўзаро вазиятиға унча боғлиқ эмас. Узун тўлқин соҳасида (қизил чегараға яқин жойларда) ютилишнинг узун тўлқин чегараси  $\vec{E} \parallel \vec{C}$  бўлган ҳолат учун А-ўтишлар билан аниқланади. Узун тўлқиннинг ютилиш чегарсида максимум ва фотокучланиш чегараси  $\vec{E} \parallel \vec{C}$  ҳолат учун олинган эгриликда  $\vec{E} \perp \vec{C}$  ҳолат боғланишиға нисбатан узун тўлқин томон силжиган бўлади.

Кутбланишға боғлиқ равишда спектрнинг фотоэффект қизил чегарасининг узун тўлқин томонға силжиши 100-200А° тартибида бўлиб, бу модданинг энергетик диаграммасиға мос келади.

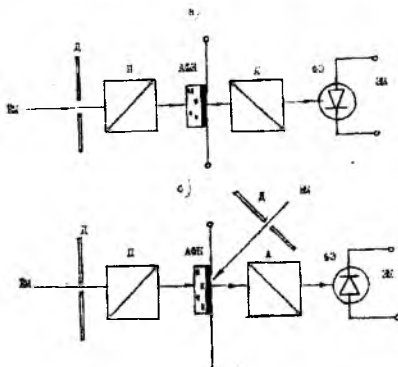
$\vec{E}$  ва  $\vec{C}$  векторлар орасидаги бурчакни ( $\alpha$ ) узлуксиз ўзгартириб, қатламнинг ёруғликни сезиш қобилиятини баҳоласак, бу боғланиш Мальос қонуниятиға бўйсунди.

Юқоридаги қонуниятлар  $Sb_2Se_3$  АФН-қатламларини кутбланган ёруғликда текширилганда ҳам кузатилади.

АФН-қатламларнинг кутбланган ёруғликка сезгирлиги унинг оптоэлектроникада қўллаш имкониятини очади. Бундай қўлланишлардан баъзилари ҳақида фикр юритамиз.

Агар фотоэффектнинг қизил чегарасига мос ёруғлик тўлқини танлаб, бу тўлқинда фотоқучланиш билан  $\alpha(\vec{E} \wedge \vec{C})$  бурчак орасидаги боғланишни олсак, кескин ўзгарувчи спектрал боғланиш ҳосил бўлади. Бу боғланишдан фойдаланиб, тушаётган ёруғлик учун кутбланиш бурчагини аниқловчи жуда сезгир индикатор яшаш мумкин [29].

АФН-қатламларнинг анизотропик хусусиятига асосан, уларга электр майдони таъсир қилса, уларнинг синдириш кўрсаткичи ўзгаради. Агарда бундай электр майдони таъсиридаги қатламлардан чизикли кутбланган ёруғлик ўтказилса, кутбланган ёруғликнинг кутбланиш текислиги бурилиши (ҳолати) ўзгариши керак. Бурилиш бурчаги кутбланган ёруғликнинг оптик йўлига пропорционал бўлиши ҳам мумкин. Буни тажрибада текшириш учун 52-расмдаги электро-оптик схемани йиғиш керак бўлади. Бундай схеманинг уч хил вариантыни келтириш мумкин: ташки электр майдони орқали схема бошқарилса 52-расмдаги схема йиғилади.



52-расм. Ташки электр майдони орқали бошқариладиган электро-оптик қурилма.

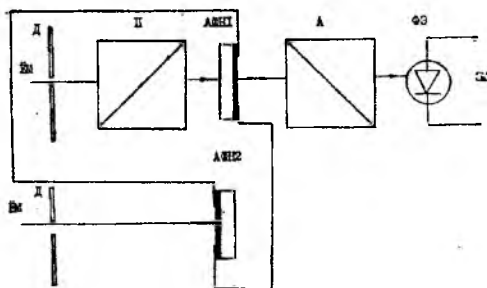
53-расм. Оптик бошқарилувчи электро-оптик қурилма.

Бошқарувчи электр майдони вазифасини АФН-қатламни ички электр майдони бажариши ҳам мумкин. Бунда АФН-қатламни ёритилиши керак. Шу сабабли система оптик бошқарилувчи қурилмага айланади. Бунда 53-расмдаги схема йиғилади.

Демак, иккинчи вариантда (53-расм) қатлам синдириш кўрсаткичини ўзгартирувчи электр майдони вазифасини ёритишда қатламда ҳосил бўлган аномал фотоқучланиш бажаради. Бу вариантнинг биринчи вариантдан афзаллиги ёруғлик ёрдамида электр майдони ҳосил

булишидир. Бу хусусият туфайли куёш радиацияси шароитида ёки табиий ёруғлик мавжуд жойларда электр майдони ҳосил қилиш учун ишлатиладиган алоҳида электр манбасига эҳтиёж қолмайди. Бундай қурилмалар электр майдонининг жуда кичкина ўзгариш (тебраниш) ларини ҳам қайд қилиши мумкин.

Баъзи қурилмаларда битта қағламдан фойдаланиш ноқулайлик туғдирса, уни бартараф қилиш мумкин. 54-расмда иккита параллел уланган АФН-қағламдан фойдаланилган электрооптик схема тавсия қилинган.



54-расм. Параллел АФН-қағламли электро-оптик қурилмаси.

Бу қурилмадан фойдаланилганда ёруғликнинг битта манбаси ҳам қутбланган ёруғлик ҳам АФН олиш учун ишлатилади.

Қурилманинг ишлатилиш жойига қараб, қурилмада бир неча қатламни параллел ишлатишга тўғри келади. Бу ҳолат қурилма ишига аниқлик ва тажрибанинг сифатли қилишни таъминлаши билан бирга уни бошқаришга қулайлик туғдиради.

Агар ишлатилаётган ёруғлик манбаларининг спектрал таркиби мос келиб тажриба шартларини қаноатлантирса, у ҳолда 54-расмдаги схема бўйича йиғилган қурилмада поляризатор ва анализатор канали учун аномал юқори фотоқучланиш олиш билан биргине ёруғлик манбасидан иккита нур дастаси ҳосил қилиб, фойдаланиш қурилма лойиҳасини аича соддалаштиради. Расмлардаги ЁМ-ёруғлик манбаи, Д-ёруғлик дастаси олиш учун ишлатиладиган диафрагма, П- поляризатор ёки никол призмасидан ясалган қутбланган ёруғлик ҳосил қилувчи қурилма, А- анализатор, никол призмасидан иборат поляризатор бўлиб, фақат унинг қутбланиш текислиги, поляризатор қутбланиш текислигига тик қилиб жойлаштирилади. Поляризатор (П) ва анализатор (А) лар иккаласи ҳам бир хил никол призмасидан иборат бўлиб, бажарадиган вазифасига қараб, бири поляризатор, иккинчиси анализатор деб юритилади.

АФН- ёруғлик таъсирида аномал юқори фотоқучланиш берувчи ярим ўтказгичли юпка парда, ФЭ- ўта сезгир фотоэлемент, ЭМ- электрметр.

АФН-қатламга қўйилган электр майдони катталиги ва йўналишини шундай танлаш мумкинки, натижада қутбланиш текислигини  $90^\circ$  га ҳам буриш имкони бўлади. Анализатор (А) дан ва АФН-қатламдан ўтган ёруғлик интенсивлигининг амплитудавий қиймати қутбланиш текислигининг бурилиш бурчагига боғлиқ. Агар анализатор ўрнига нурни иккилангириб синдирувчи пластинка жойлаштирилса ўта сезгир полярископ ҳосил бўлади. Унинг ёрдамида қутбланган ёруғликни таҳлил қилувчи ва уни оғдирувчи система яратиш мумкин [30].

Ультра товуш ёрдамида АФН-қатламнинг айнан маълум танланган нуқта (соҳа) ларининг оптик зичлигини ўзгартириш мумкин. Бу ҳодиса, қатламнинг ундан ўтаётган қутбланган нур учун дифракцион панжара вазифасини бажаришига сабаб бўлади. Бундай қатламдан ўтаётган ёруғлик дифракция ва синиш туфайли ўз йўналишини ўзгартиради. Бундай «панжара» га тушаётган ёруғлик тушиш бурчагини ўзгартириб, биринчи тартибли дифракцион нурни кучли оғдиришга эришиш мумкин.

Шундай йўл билан эффектив оғдирувчи ва модуляцион электрооптик системаларни яратиш мумкин [31].

Оддий ёруғлик ўрнига лазер когерент нуридан фойдаланиш ҳам мумкин, бунда лазер нурларини оғдирувчи жуда эффектив тезкор қурилмалар ҳосил бўлади [31].

### **АФН ёрдамида нарсаларнинг геометрик ўлчамлари ҳақида маълумот олиш мумкин**

АФН-қатламлар жуда кучсиз ёруғликларни ҳам сеза оладн. Бундай кучсиз ёруғликлар АФН ёрдамида кучланишга айланади. Уларни оддий С-96, С-50 электростатик вольтметрлар ёрдамида осонгина қайд қилиш мумкин. АФН-қатламлар ишлатилиши билан оралиқ кучайтиргичларга эҳтиёж қолмайди. Чунки оптико-электрик схемаларда оддий ёруғлик қабул қилувчи (ФП) лар ишлатилганда сигнал шундай оз бўладики, ҳатто ўта сезгир ўлчов асбоблари ҳам қайд қила олмайди. Шу сабабли улардаги кучсиз сигналларни оддий асбоблар сезадиган даражагача етказиш учун албатта ток ва кучланиш оралиқ кучайтиргичлари ишлатишга мажбур бўлинади. Бундан ташқари АФН-элементлар генератор типига ишлаганлиги сабабли, оддий ФП ларнинг ишлашини таъминлайдиган электр манбаси вазифасини ҳам (АФН) нинг ўзи бажаради.

АФН-қатламлардан фойдаланиб, сезгир ишлатишга қулай саноат микёсида технологик жараёнга қўллаш мумкин бўладиган янги асбоблар синфини яратиш мумкин [32, 33, 34].

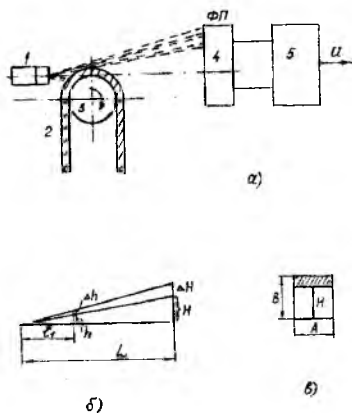
Полимер материаллар ишлаб чиқариш саноатида ёнғининг олдини олишга катта эътибор берилади. Шу мақсадда электр билан ишловчи ўлчов, назорат ва бошқарув асбобларида, ёруғликдан озук олиб ишловчи

датчиклардан (АФН) фойдаланиш кутилган хавфсиз ўлчов назорат системаларини яратиш имконини беради.

Сунъий толалар ишлаб чиқариш заводларида полимер ўрамларининг қатламларининг қалинлигини назорат қилиш учун ёруғлик диоди (ЁД) ва АФН-қатламдан иборат оптоэлектрон системани қўллаш мумкин. Ҳозирда саноат ишлаб чиқараётган эффектив ёруғлик диодларидан фойдаланиш учун CdTe АФН-қатламларининг **Jn, Cu, Al** ва **Se** каби ёт элементлар киритилиб, махсус технология билан олинган типларидан фойдаланилди. Чунки, АФН-қатламлар ёруғлик диодлари билан спектрал мослашиб уларнинг ёруғликларини тўла қабул қилиши учун АФН спектрини АФН тайёрлашда ишлатилаётган моддаларга ёт элементлар киритиб ўзгартирилади. Технологик йўл билан АФН эффективлигини ва спектрал характеристикасини яхшилаш усуллари [32, 33, 34] ишларда батафсил баён қилинган.

Ўрамлар кўринишидаги полимер қатламларнинг қалинликлари ҳар хил бўлади. Уларни технологик жараёнда назорат қилиш махсулот сифатини яхшилайдди.

Полимер қатламлар қалинликларини назорат қилувчи ва ўлчовчи оптоэлектрон датчикнинг функционал схемасидаги ФП (4) генератор типидagi фотоприёмникни катта юзали кенг спектрал соҳалар учун тиник (шаффоф) ҳисобланган шиша тагликларга ҳар хил шаклда ва юзали қилиб, ўтказиш мумкин. Ундан ташқари фотоприёмникни клинсимон қилиб, турли спектрал соҳаларни қабул қилувчи ярим ўтказгич пардаларидан иборат қилиб яшаш ҳам мумкин. Бунда ФП таркибига кирувчи ярим ўтказгичларнинг алоҳида пардаларининг сони, шакли, таркиби ва тагликда жойлашиш геометриясини ўлчов ва назорат технологиясининг талабларидан келиб чиқиб амалга ошириш мумкин. Бундан ташқари қатламлар қалинликларини тайёрлаш жараёнида ўзгартириб, керакли технологияни танлаб, аномал фотоприёмник таркибидаги супер кўп қатламли (СМС) тузилманинг электрон-тешикли ўтишлари характерини ҳам ўзгартириш мумкин (масалан, гетероўтиш, *p-i-n* ўтиш ва ҳ.о.лар). Бундай йўллар билан тайёрланган фотозлектрик генераторлар (ФП) назоратдаги объектдан ўтувчи ёки қайтувчи мураккаб ёруғлик таркибидан фойдали сигналларни керак бўлганда ўлчов ишларини амалга ошириш учун ажратиб ва кучайтириб бериш учун қулай қилиб беради. Бу ҳолат табиийки назорат ўлчов қурилмасининг аниқлик даражасини орттиради. Бундай датчиклар ёрдамида полимер қатламлар, сунъий чарм ва линолеум ва шунга ўхшаш махсулотларни тайёрлаш жараёнида технологик линияда бевосита хавфсиз, юқори аниқликда уларнинг қалинликларини назорат қилиш мумкин.



55-расм. Рулон кўринишидаги ҳар хил полимер ва катлам кўринишидаги материалларнинг қалинлигини аниқловчи қурилманинг схемаси.

55-расмда полимер катламлар қалинликларини назорат қилувчи оптоэлектрон датчикнинг функционал схемаси (а) ва ёрдамчи чизмалар (б ва в) келтирилган.

Ёруғлик манбаидан (1) АФН-фотоприёмник (4) томон йўналган ёруғлик оқими йўлида полимер ўрамлари жойлашади. У ёруғликка сезгир ФП нинг (4) сиртида соя ҳосил қилади. Соянинг баландлиги полимер катламнинг қалинлигига пропорционал равишда ўзгаради.

Ўзгармас тезлик билан айланувчи вал (3) полимер катламни (2) узлуксиз равишда назоратдаги сохадан ўтишни таъминлайди. Бунинг натижасида узлуксиз технологик жараён давомида назорат амалга оширилади. Инвертирловчи қурилма (5) ёрдамида ўрам моддаси қалинлиги билан чиқиш сигнали ( $U_n$ ) орасида тўғри пропорционал боғланишга эришилади.

Қурилма характеристикасини аниқлаш учун аввал ФП га тушаётган ёруғлик оқими миқдори ( $\Phi$ ) билан полимер катлам қалинлиги ( $L$ ) орасидаги боғланишни ҳисоблаш керак. Манба ёруғлик кучи йўналганлик диаграммаси маълум бўлсагина бу ҳисоблашни амалга ошириш мумкин. Ёруғлик диодлари учун йўналганлик диаграммаси нисбий бирликларда спривочникларда келтирилган бўлади. Бу диаграммадан фойдаланиб, ёруғлик диодлари атрофга сочаётган ёруғликнинг тўла оқимини  $\Phi_T$  га мос тенгламалар асосида аниқлаш мумкин [35]:

$$\Phi_T = \int_{4\pi} I(\Omega) d\Omega, \quad (16)$$

бу ерда  $I$  - нурланиш кучи;  $\Omega$  - фазовий бурчак.

Бу интеграл (16) ни ечибгина, йўналганлик диаграммасига аниқ (абсолют) маъно беришимиз мумкин. Ёруғлик диодларининг тўла номинал

ёруғлик окими ҳақида справочниклардан маълумот олиш мумкин. ФП (4) сиртига тушаётган ёруғлик окимини ҳисоблаш учун, унинг шакли ва ўлчамларини билиш зарур. ФП (4) ёруғлик тушадиган сиртини баландлиги  $B$ , кенлиги  $A$  га тенг тўғри тўртбурчак деб, ҳисоблаш мумкин (55, в-расм). ФП нинг бир қисмига ёруғлик тушаётган бўлса шунга мос ёруғлик окими ҳам ўзгаради. Бу окимни қуйидаги формула билан топиш мумкин:

$$\Phi_n = \int_{\Omega_n} I(\Omega) d\Omega. \quad (17)$$

Бу ердаги  $\Omega_n$  - фазовий бурчак бўлиб, у асоси (В-Н)хА тўртбурчакдан иборат пирамидадир. Бу пирамида учи (1) ёруғлик манбасидан (СД) бошланади. Фазовий бурчак  $\Omega_n$  ни топишда

$$\Omega_n = G/R^2 \quad (18)$$

ифодадан фойдаланиш мумкин.  $R$  марказида ёруғлик манбаи ётган сфера радиуси десак,  $G$  эса бу сферадан (В-Н)хА тўртбурчакли пирамида ажратган сирт юзи. Пирамида учи сферик сирт марказида жойлашиб, асоси эса сферик сиртда ётади.

(18) ифодадан фойдаланиб (17) интегрални сирт интегрални кўринишида ифодалаш мумкин:

$$\Phi_n = \frac{1}{R^2} \iint_G I(x, y, z) dG. \quad (19)$$

бу ерда  $I(x, y, z)$ ,  $I(\Omega)$  боғланишнинг тўғри бурчакли  $x, y, z$  координаталар системасида ифодаланган кўринишидир.

Сирт интегрални (19) ни  $H$  нинг аниқ қиймати учун ечиб

$$\Phi_n = f(B - H) \quad (20)$$

боғланишни топиш мумкин.  $H$  га ҳар хил қийматлар бериб бу боғланишни тўла ҳисоблаб олиш мумкин.

Келгуси ҳисоблашлар учун, ФП (АФН-қатлам) нинг энергетик характеристикаларини билиш керак. АФН-қатламнинг ЛВХ дастлаб чизикли сўнг тўйинишига чиқади. Бизнинг ҳисоблашларда (датчик ишлаш режимида) ЛВХ нинг чизикли қисмидан фойдаланилади. Шунинг учун АФН-қатлам фотокучланиши учун

$$u_{\text{ФП}} = k\Phi_n \quad (21)$$

боғланишни ёза оламиз. Бу ерда  $k$  - характеристиканинг эгрилигидан ҳисобланади.



Инвертирловчи (5) курилма учун тенгламани  $u_q = u_0 - u_{\text{оп}}$  кўринишда ёзиб, (20) ни (21) га қўйсак, датчикнинг чиқиш кучланиши учун қуйидаги

$$u_q = u_0 - kf(B - H) \quad (22)$$

ифодани ёзиш мумкин. Энди датчикнинг сезгирлигини баҳолашга киришсак бўлади. Ҷрамдаги полимер қатлам қалинлиги  $h$   $\Delta h$  миқдорга ортсин. У ҳолда чиқишдаги сигнал ҳам мос равишда  $\Delta u_q$  миқдорига ортади. Датчикнинг сезгирлиги:

$$S = \frac{\Delta u}{\Delta h} = \frac{u_{q(h+\Delta h)} - u_{qh}}{\Delta h} = \frac{kf(B - H) - kf(B - H - \Delta h)}{\Delta h} \quad (23)$$

55-расмдаги (б) чизмадан

$$\Delta H = L/\ell_1 \Delta h \quad (24)$$

ифодани ёзиш мумкин. Бу ерда  $L$  - ёруғлик манбасидан ФП гача масофа,  $\ell_1$  - ёруғлик манбасидан ўрамлар вали ўқигача бўлган масофа.

$f(B - H) \approx a(B - h)$  деб алмаштириб ва  $\Delta H$  нинг кичкина миқдорлигини ҳисобга олсак (23) ифода соддалашиб қуйидаги кўринишга келади:

$$S = \frac{ka(B - H) - ka(B - H - \Delta H)}{\Delta h} = \frac{ka\Delta H}{\Delta h} = ka \frac{L}{\ell_1}. \quad (25)$$

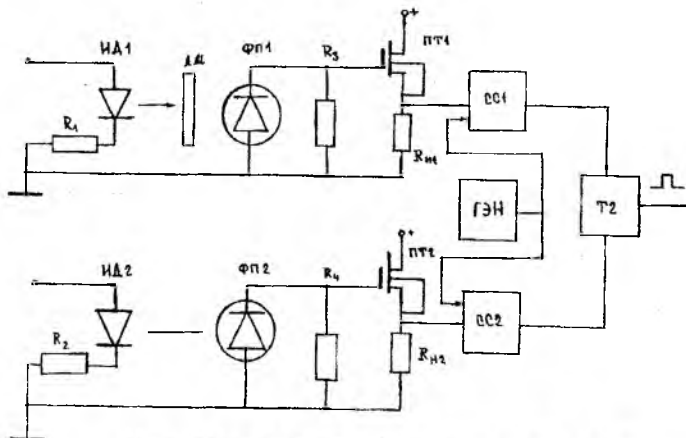
Бундан кўринадики, датчикнинг сезгирлиги ФП (АФН-катлам) энергетик характеристикасининг эгрилигига тўғри пропорционал боғланган. Шу сабабли АФН-катламларни ФП сифатида ишлатиш датчикнинг асосий иш кўрсаткичини белгилайди. Датчикнинг сезгирлигини  $L/\ell_1$  нисбатни кўпайтириш йўли билан ҳам орттириш мумкин. Лекин  $L$  ораликнинг ортиши (4) ФП даги ёруғлик интенсивлигининг камайишига сабаб бўлади. Шу сабабли сезгирликни  $L/\ell_1$  га боғлиқ ўсишини маълум чегарадагина фойдаланиш мумкин.

Датчик параметрларини қуйидаги кетма-кетликда ҳисоблаш мақсадга мувофиқ бўлади. Валдаги  $n$ -чи ўрамнинг номинал қалинлиги, унинг четга чиқиши ва ўлчов валининг (3) диаметри  $D$  ни билган ҳолда ораликни аниқлаб олинади. Ундаи сўнг ёруғлик диодининг (1) паспортдан олинган маълумотлар асосида ва ФП (4) энергетик характеристикасининг ЛВХ чизикли қисми учун  $L$  ораликнинг энг катта қиймати топиб олинади. Бу оралик, ёруғлик йўлида ўрам (2) қатламлари бўлмаган ҳолда АФН-кагламнинг  $B \times A$  юзасига тушаётган ёруғлик оқимиغا

мос келиб, ЛВХ нинг чизикли қисми учун олинади.  $L/\ell_1$  нисбатдан фойдаланиб, (24) ифода ёрдамида  $N_n$  ва  $N_m$  ҳисобланади.

Датчик характеристикасини ҳисоблаш юқорида келтирилган. Агар битта ёруғлик диодининг (1) қуввати етарли бўлмаса, бир нечасини биргаликда ишлатса ҳам бўлади. Битта ёруғлик диоди олиб, АФН-қатлам узунлигини каттарок қилиб олиш ҳам мумкин.

Қатлам кўринишида тайёрланадиган баъзи бир сунъий чарм корхонаси маҳсулотлари ўзидан кўринадиган ёруғликларни (0,4-0,8 мкм) ва яқин инфрақизил соҳа ёруғликларини бемалол ўтказади. Бундай маҳсулотлар қалинлигини технологик жараёнда назорат қилиш мақсадида АФН билан ишлайдиган қуйидаги ўлчов схемасидан фойдаланиш мумкин. Схемادا асосан ФП вазифасида  $Sb_2Se_3$  дан тайёрланган АФН-қатламлардан, ёруғлик манбаси қилиб, АЛ107Б типидаги ёруғлик диодларидан фойдаланилган. Ўлчов схемаси [36] ишда тақлиф қилинган схема асосида қурилган.



56-расм. Қатлам қалинликларини технологик жараёнда назорат қилиш ўлчов қурилмаси.

56-расмда келтирилган схеманинг иши билан танишамиз. ИД1 ёруғлик манбасидан чиққан оқим қалинлигини ўлчанадиган қатлам кўринишдаги (ЛМ) маҳсулотдан ўтиб, бир қисми ютилиб, кучсизланади ва ФП1-АФН қатламга тушади. Қатламдан ўтиб кучсизланган ёруғлик оқими Бугер-Ламберт қонуниятидан топилади:

$$\Phi_{in} = \Phi_{10} e^{-kh}, \quad (26)$$

$k$  - қатлам хусусиятидан келиб чиқадиган коэффициент,  $h$  - қатлам қалинлиги.

ИД2 ёруғлик манбасидан чиққан  $\Phi_{2,0}$  оқим тўғри ФП2-АФН-катламга тушади. Агар ФП1 ва ФП2 АФН-катламлардаги фотокучланишларнинг ( $U_{\text{АФН1}}$  ва  $U_{\text{АФН2}}$ ) ёруғлик оқимга боғлиқлигини ҳисобга олиб, қуйидаги боғланишларни ёзиш мумкин:

$$U_{\text{АФН1}} = a_1 \Phi_{1,0}, \quad (27)$$

$$U_{\text{АФН2}} = a_2 \Phi_{2,0}, \quad (28)$$

$a_1, a_2$  - АФН-катламларга боғлиқ коэффициентлар.

АФН-катламлар билан уланадиган занжирлар орасидаги боғланишнинг мослаштириш мақсадида электрон схемада ПТ1 ва ПТ2 диэлектрик затворли полевой транзисторлар қўлланилган. Улардан чиққан кучланиш СС1 ва СС2 қиёслаш схемасининг кириш занжирларига бирига боради. СС1 ва СС2 нинг бўш қолган кириш занжирларига экспоненциал кучланиш генераторининг (ГЭН)  $U_{\text{ГЭН}}$  кучланиши уланади. Бу кучланиш ўзгариш қонунияти (29) формула билан ифодаланган:

$$U_{\text{ГЭН}} = U_0 \exp(t/\tau), \quad (29)$$

$U_0$  - кучланишнинг дастлабки қиймати;  $\tau$  - генератор занжирининг вақт доимийси.

Қиёслаш схемаси СС1 (ФП1 кучланиши) фотокучланиш  $U_{\text{АФН1}}$  билан ГЭН сигналени  $t_1$  вақт билан фарқлаб Т2 триггерни ўзининг чиқиб кучланиши билан ишга туширади. Худди шунингдек СС2 қиёслаш схемаси  $U_{\text{АФН2}}$  фотокучланиш билан ГЭН нинг сигналени  $t_2$  вақт билан фарқлаб Т2 триггерни ишга туширади. Шундай қилиб, вақтнинг  $t_1$  ва  $t_2$  моментлари ўзун қуйидаги тенгликлар ўринли бўлади:

$$U_1 = U_0 \exp(t_1/\tau), \quad (30)$$

$$U_2 = U_0 \exp(t_2/\tau). \quad (31)$$

Бу ифодалардан фойдаланиб Т2 триггер шакллантирган  $\Delta t$  вақт оралиғи ўзун (у тўғритўртбурчакли импульснинг узунлигига тенг) ушбу муносабатни ёзамиз

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{1}{\tau} \left[ \ln \frac{a_2 \Phi_{2,0}}{a_1 \Phi_{1,0}} + kh \right]. \quad (32)$$

Ёруғлик диодлари ИД1 ва ИД2 ларнинг нагрузка қаршиликларини (мос равишда  $R_1$  ва  $R_2$  резисторлар) ўзгартириш йўли билан  $a_1 \Phi_{1,0} = a_2 \Phi_{2,0}$  тенгликка эришиш мумкин. У ҳолда қуйидаги муносабат ўринли бўлади:

$$\Delta t = k/\tau h.$$

Демак, чиқиш сигнали ҳисобланган тўғри бурчакли импульснинг узунлиги назорат қилинаётган қатлам қалинлиги билан чизикли боғланган. Қатлам қалинлигини технологик жараён давомида назорат қиладиган қурилманинг электр схемасидаги  $R_3$  ва  $R_4$  резисторлар ПТ1 ва ПТ2 транзисторлардаги фотокучланишларнинг ортиб кетишидан сақлайди. Транзисторлар учун керак бўлган номинал кучланишнинг доимий сақланишини таъминлайди.

Полимер юпка қатламлар қалинлигини назорат қилиш қурилмасининг электр схемасини ишлаб чиқариш шароитида текширишда қиёслаш электр занжири сифатида (СС1 ва СС2) К521СА3 типидagi микросхемадан, К155ТВ1 триггер-микросхемадан ва 2П305А типдаги МДП транзистордан фойдаланилган.

Қурилмада ишлатилган АФН фотоприёмникларни ташқи таъсирлардан (механик таъсир, намликдан, иссиқликдан ва бошқалар) сақлаш мақсадида, АФН қатламлар контакт ўтказгичлари билан биргаликда эпоксид смоласи (Э-6 типдаги) ичига жойлаштирилди. Бу смола ёруғликнинг кўринадиган ва яқин инфракизил нурлари учун шаффофдир. У мустаҳкам, механик урилишларга чидамли, намлик ва ташқи ҳароратнинг кўтарилишларидан АФН-қатламни ҳимоя қилади.

Дастлабки қурилма устида олиб борилган синов натижаларининг кўрсатишича АФН-фотоприёмник ларнинг иш қобилияти оддий фотоприёмникларникидан (фотоқаршилик, фотодиод, фоторанзистор ва бошқалар) анча юқоридир. АФН-фотоприёмниклар генератор тииндаги турига кириб, улар занжирига таъминловчи электр манбасининг кераги йўқ. Манба вазифасини ёруғлик таъсирида ҳосил бўлган аномал юқори фотокучланиш бажаради. Шунинг учун АФН-фотоприёмниклар сезгирлиги ҳам юқори бўлганлигидан шу асосда ясалган қурилмалар ҳам сезгир бўлади.

### АФН асосида яратилган хотира элементлари

АФН ёрдамида яратиладиган асбобларда юқори қаршиликли мослаштирувчи звенолар, индикаторлар бўлиши талаб қилинади. Ҳозирги вақтда электр майдони таъсирида зарядларни ушлаб қолувчи кутбланувчи диэлектриклар ишлатилган МНОП- хотира элементлари кенг ва интенсив текширилмоқда [37, 38, 39, 40]. Кутбланувчи диэлектрик сифатида бу структураларда кадмий нитрид қатлами кенг фойдаланилади. Бундай хотира элементлари металл-нитрид-оксид-ярим ўтказгич (МНОП) системасидан иборат бўлиб, бу система маълумотларни электр зарядлари воситасида эслаб қолиш ва қайта фойдаланиш (тиклаш) имконини беради. Бу асбобларда ишлатиладиган диэлектриклар электр майдонига чидамли, диэлектрик доимийси катта ва кенг температурада унинг параметрлари

тургун бўлиши керак. Бундай хусусиятларни улар жуда катта ҳатто  $E \sim 10^7$  В·см<sup>-1</sup> электр майдонларида ҳам саклашлари керак. МНОП-структуралардаги диэлектриклар ҳолати кайтувчан характерда бўлсагина, бундай қурилмаларнинг янги имкониятлари очилади. Диэлектрик ҳолати кайтувчан характер олиши учун унинг қайта зарядланиш ҳолати вужудга келиши керак.

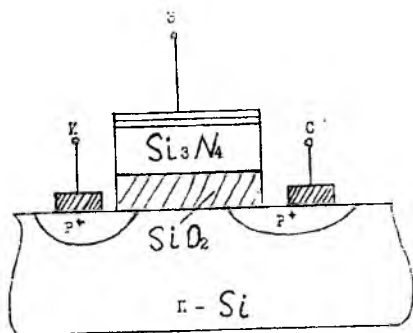
Бундай хусусиятга кремний сиртига газотранспорт усулида олинган аморф нитрид кремний ва кремний икки оксиди юпка қатламлари ( $\text{Si}_3\text{N}_4 - \text{SiO}_2$ ) эга.

Бу юпка қатламлар ишлатилган МНОП-структураларнинг ажойиб хусусиятлари бор. Диэлектрикда боғланиб қолган зарядларнинг ишораси ва катталиги унга бериладиган бошқарувчи кучланишнинг қайси кутби билан (ишора) келишига, кучланиш амплитудасига, кучланиш формаси ва таъсир этиш вақтига боғлиқ бўлар экан. МНОП-структураларнинг электр хусусиятларни МДП-транзисторларга ўхшайди, лекин МНОП-структураларда, затворга келаётган электр импульсларнинг амплитудаси, кутби ва таъсир кўламига боғлиқ ҳолда асбобнинг уланиши амалга ошади. Натижада асбоблар бир тургун ҳолатда иккинчисига ўтади. Бу хусусият диэлектрикларнинг чегара соҳаси яқинида зарядларнинг тўпланиши ва тез таркалиб кетиш жараёни билан боғлиқ. Диэлектрикларнинг чегара соҳасидаги компенсацияланмаган зарядлари  $\text{Si}_3\text{N}_4 - \text{SiO}_2$  ларнинг чегарасидаги чуқур сатҳларда жойлашиб қолади. МНОП-структура ( $\text{M} - \text{Si}_3\text{N}_4 - \text{SiO}_2 - \text{Si}$ ) ларнинг диэлектрик қатламларида зарядларнинг боғланиб қолиши ҳодисаси фақатгина электр майдон импульслари ёрламидагина эмас, ёруғлик импульслари воситасида ҳам вужудга келиши мумкин. Бунда МНОП-структура ёрдамида тиниқ электродлар томоидан туширилган ёруғлик тасвири ёзиб олинади.

Зарядларнинг кутбланувчи диэлектрикларда боғланиб қолиш жараёни аниқ амплитудали кучланишлардагина содир бўлади. Бу ҳодиса диэлектрикларда зарядларнинг боғланиш жараёни амалга ошиши учун 30÷40 В кучланиш керак бўлади. Бундай кучланиш учун диэлектрик ярим ўтказгич чегарасидаги соҳадаги боғланган зарядларнинг сирт зичлиги  $\sigma \sim (2+4) \cdot 10^{-6}$  К·см<sup>-2</sup> микдорга мос келади. Боғланган зарядлар сирт зичлиги бу микдорга етиши учун ёруғлик энергияси  $10^6$  дж·см<sup>-2</sup> тартибда бўлиши талаб этилади. Магнито-оптик ва термопластик хотира элементларида энергия айнан шу жараён учун (100÷1000) марта кўп сарфланади. Эффект давомида температураси кўтарилади. Буларни ҳисобга олсак МНОП-структурали хотира элементларининг истикболи юқоридир.

МНОП (кутбловчи диэлектрикли МДП-транзистор) структура схемаси 57-расмда тасвирланган. Бу структуранинг фундаментал асоси қилиб *n*- тип ўтказувчанликка эга бўлган кремний пластинкаси олинган. Унинг Исток (И) ва Сток (С) контаклари яқинида *p*- тип ўтказувчанликли унча катта бўлмаган соҳалар ҳосил қилинган бўлади. Унинг устига юпка, қалинлиги 15-50А° бўлган кремний икки оксиди ( $\text{SiO}_2$ ) ўтказилади.

МНОП-транзисторнинг асосий элементи ҳисобланган нитрид кремнийни ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) кремний икки оксиднинг устига  $400\text{--}1500\text{A}^\circ$  қилиб олинади. Нитрид кремний билан кремний оксиди орасидаги чегарада зарядларни ушлаб қолувчи чуқур энергетик сатҳлар бўлади. МНОП-транзисторнинг затворига бошқарувчи қучланиш берилганда зарядларнинг  $\text{SiO}_2$  қатлам орқали туннел ўтиши содир бўлади. Бу зарядлар чегарадаги чуқур энергетик сатҳлар томонидан ушлаб қолинади. Агар бошқарувчи қучланиш МНОП-транзистор затворига тескари кутб билан (илгариги йўналишига тескари бўлган йўналиш) келса, бу жараён тескари йўналишда содир бўлади. Маълумки ЭХМ ларнинг хотира элементларида битта разрядли хотирага олиш жараёни учун иккита турғун ҳолатли элемент керак. Ўша элемент вазифасини бу ерда МНОП-транзистор бажаради.



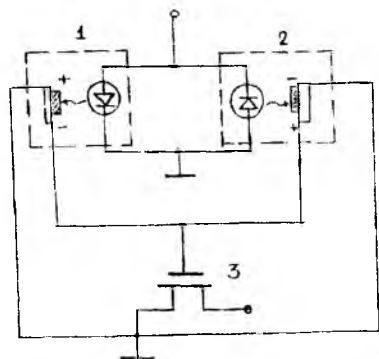
57-расм. МНОП-структура схемаси.  
И- исток, З- затвор, С- сток.

МНОП-структурини бошқарувчи қучланиш диэлектрикни кутблаш мақсадида ишлатилади. Кутбловчи қучланиш 40 В дан кичик бўлмаслиги керак. Бундан оз қучланишларда МНОП-элемент бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга ўтмайди. МНОП-элемент оддий МДП-транзистор каби ишлайди 40 В дан кичик вольтда сигналларни ёзиб олиш қайтариш каби муаммоларни ҳал қилиш учун АФН-қатламлардан фойдаланилган. АФН- қатламлар ёрдамида оптрон (ОЭТН) ясаиб, унинг чиқишидаги қучланишни кутбловчи майдон сифатида ишлатиш мумкин. Бундай оптронлар [2, 21] кириш занжиридаги ёруғлик диодларига (СД)  $1\div 1,5$  В қучланиш бериб, чиқиш занжиридаги АФН-қатламлар ёрдамида 40 В қучланиш бемалол олиш мумкин. Бу мақсадда ясалган оптронларга ташқи электр манбасининг кераги йук. У ёруғлик диодининг нурланишини тўғридан-тўғри қучланишга айлантириб беради. Онтрон ўлчамлари  $1\times 1\text{мм}^2$  дан ортмайди.

АФН дан фойдаланиб ясалган МНОП-хотира элементлари қурилмасининг икки хил варианты мавжуд. Биринчи вариантыда [6]

МНОП-элементи бошқариш электр сигналлари ёрдамида амалга оширилади.

Бундай қурилмада иккита (ОЭТН) оптрон бўлиб, улар МНОП-транзистор затворига (3) уланади (58-расм). Қурилма киришига электр сигналларининг мусбат кутби кирганда биринчи (58-расм,1) оптрон ишга тушади. Киришга манфий кутб берилганда (58-расм,2) иккинчи оптрон ишлайди. 58-расмдан кўринадик, оптронларнинг фотокучланишлари карама-қарши ишорали, демак хотирага олиш ва қайтариш жараёнлари битта қурилмада амалга ошади. Оптронларнинг ва МНОП-транзисторнинг кириш қаршиликлари бир-бирига яқин бўлганлиги сабабли қурилмада қаршиликлари мослаштирувчи блок схемалар умуман ишлатилмайди.

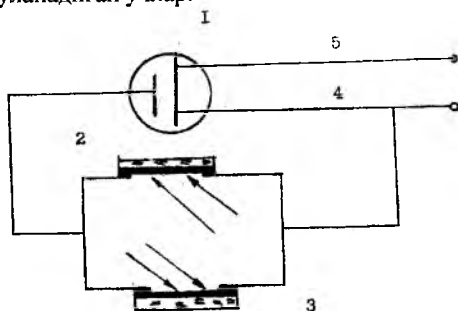


58-расм. Электр сигналлари билан бошқариладиган АФН асосида яратилган МНОП-хотира элементи. 1-оптрон, 2- оптрон, 3- МНОП-транзистор.

Аномал режимда ишловчи фотозлектрик генераторлар фотоприёмник вазифасини бажарувчи оптоэлектрон трансформаторларнинг (оптрон1 ва оптрон2) кириш занжирига берилган кичкина амплитудали электр сигнали ёрдамида МНОП-хотира элементи бошқарилади. МНОП-транзисторларнинг МНОК ва МНК тузилишида ясалган турларидан ҳам бу ерда бемалол фойдаланиш мумкин. Бундай хотира элементларида энергия нисбатан, оддий элементларга солиштирганда ҳисобга олмаслик даражада кам сарф бўлади. Элементнинг ишга тушиши учун керак бўладиган арзимас энергияни оддий ёрдамчи занжирлар исрофи ҳисобидан ҳам тўлдириш мумкин. Яъни, оддий шароитдаги табиий ёруғлик энергияси ҳисобига ҳам ишлай олади. Хотира элементининг ишлаши учун одам кўзи сеза оладиган минимал ёруғлик окими бўлиши кифоя қилади. Шу сабабдан бундай автонон хотира элементларини энергияга боғлиқ бўлмай ишлай оладиган автоном хотира қурилмаси деб қараш мумкин, чунки, бундай қурилмаларнинг информацияларни ёзиб олиши ва қайтариши учун махсус энергия манбасининг кераги йўқ. Табиий

Ўритилган ёки сунъий ёруғликнинг киши кўзи кўра оладиган минимал оқими ўритилганлиги бўлиши хотира қурилмасининг ишга тушиши учун етарли бўлади.

АФН билан ишловчи МНОП-хотира элементларининг иккинчи вариантида бошқариш функциясини оптик сигналлар бажаради. Бунда навбат билан ўритилувчи иккита АФН-қатлам ишлатилади. Қурилманинг тўла схемаси 59-расмда келтирилган. Технологияни такомиллаштирилиши билан расмда келтирилган хотира ячейкасидан бир неча минг донаси бир сантиметрга жойлашиш мумкин. 50-расмдаги (1)- кутбланувчи диэлектрикли МНОП-транзистор ( $M-Si_3N_4-SiO_2-Si$ ), (2, 3)- АФН-пардали қатламлардан ясалган фотоэлектрон генераторлар, (4, 5)- чиқиш қурилмаларига улападиган учлар.



59-расм. Оптик бошқарилувчи АФН хотира ячейкаси. 1- МНОП-транзистор, 2- АФН-қатламлар, 4,5- чиқиш қурилмаларига уланадиган учлар.

АФН-қатламларнинг бири ўритилганда хотирага олиш жараёни содир бўлса, иккинчиси ўритилиши билан хотирадан олиш жараёни бўлади. Хотира қурилмаларида АФН-қатламларидан фойдаланилганда, кутбловчи юқори кучланиш манбасига эҳтиёж қолмайди. Шу сабабли хотира қурилмасининг биринчи оптоэлектрон вариантида ҳам иккинчи оптик бошқарилувчи вариантида қурилма оғирлиги ва ўлчамлари кескин камайиб микроминиатюризацияга йўл очади. Хотира қурилмасининг (кириш) бошқарилувчи ва ҳисобга олувчи занжирлари (чиқиш) орасидаги мавжуд электр боғланиш туфайли вужудга келадиган фойдасиз қўшимча сигналлар йўқолади, чунки кириш ва чиқиш орасидаги оптик боғланиш кўприги уларни электрик жиҳатдан тўла бир-бирдан ажратади. Янги хотира элементининг бу афзалликлари унинг функционал имкониятларини кенгайтиради.

Бу имкониятлардан биттаси бу хотира элементидан ЭХМ ларида фойдаланилганда, хотирада сақлаш-олиш жараёнлари энергия сарфланмай амалга ошади. Шу сабабли бу хотира элементлари энергияга боғлиқ бўлмай ишлайдиган янги типдаги хотира қурилмалари яратиш имконини бери.



АФН-пардалари тор зонали ярим ўтказгич материаллардан тайёрланган фотоэлектрогенераторлар инфрақизил нурланишларни ҳам сеза олади [69]. МНОП-хотира қурилмаларида бундай АФН-парадалар ишлатилган оптоэлектрон трансформаторлар фойдаланилса, улар кўринмас нурлар билан ҳам ишлай оладиган хотира ячейкаларини ҳосил қилди. Бундай элементларни бир вақтда кўринадиган ва кўринмайдиган нурлар соҳаларида бемалол ишлайдиган қилиш мумкин. Бунинг учун хотира элементлари электр схемасига ҳар хил ёруғлик тўлқинларини сеза оладиган АФН-пардалар қатлами билан ишлайдиган оптоэлектрон трансформаторларни жойлаштириш кифоя. Оптоэлектрон трансформатор системасидаги оптрон жуфтларининг кераклисини бундай универсал МНОП-хотира қурилмаларида унинг спектрал соҳасига қараб танлаб бериш вазифасини махсус электрон қурилма амалга оширади. Хотира элементларини кераксиз зарарли ташқи (ички) майдонлардан, химоя қилиш билан бирга ёт ёруғлик тўлқинларидан сақлайдиган химоя қобик-экрали билан таъминлаш лозим. Бунинг учун керакли тўлқинларни қабул қилиб, кераксиз ёруғлик тўлқинларини ушлаб қоладиган махсус филтрлар системаси билан хотира қурилмалари жиҳозланади.

Бу қурилма Москвадаги Физика муаммолари ИТИ да амалда синаб қўрилди ва ишлаб чиқаришга тавсия қилинди.

### Суюқликларнинг сифат характеристикаларини аниқлаш

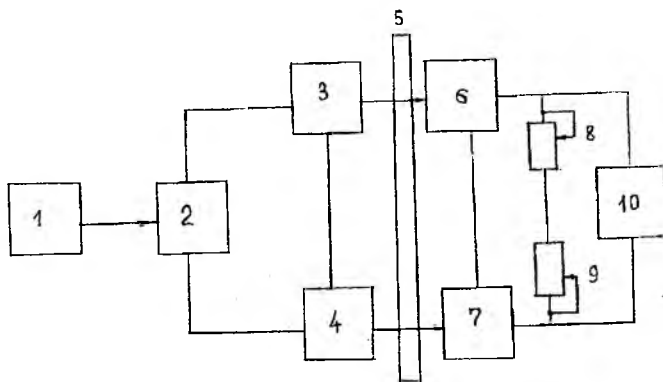
АФН-қатламларнинг кучсиз ёруғликларни ҳам сеза олиши ва уларни катта фотоқучланишга айлантириб бериш қобилияти, ундан ҳар хил ўлчов ва назорат қилувчи асбоблар яшашда фойдаланиш мумкинлигини кўрсатди. Бу ҳақида биз юқорида фикр юритган эдик.

Хўжаликда ва саноатда ишлатиладиган ҳар хил суюқликларнинг сифатини баҳолаш учун уларнинг ҳар хил характеристика ва параметрларини теҳнологик жараёни тўхтатмасдан тўғридан-тўғри аниқлаш ва назорат қилиш ишлаб чиқаришда муҳим аҳамиятга эга. Суюқ маҳсулотларнинг сифатини аниқлашда тиниклик, хиралик ва «лойкалик» даражалари каби сифат белгиларини баҳолашга тўғри келади. Бунинг учун жуда сезгир асбоблар керак бўлади. АФН-қатлам ишлатиладиган асбоб ва қурилмаларда махсус электр манбаларига эҳтиёж қолмайди. АФН ёруғлик таъсирида, ишлайди, унинг занжиридаги ишловчи электр катталик қучланиш ҳисобланади. Шунинг учун АФН асосида яратилган асбобларни «токсиз» ўлчов ва назорат системасига киритиш мумкин. Бундай асбоблар теҳнологик жараёнларда қўлланилса, электр токи занжирига боғлиқ ёғин чиқиш хавфи йўқотилади. Бундан ташқари АФН-қатламларнинг ўлчов ва назорат асбобларида ишлатиш натижасида уларнинг лойиҳаси соддалашиб, ишлатиш муддатлари ортади. Натижада теҳнологик

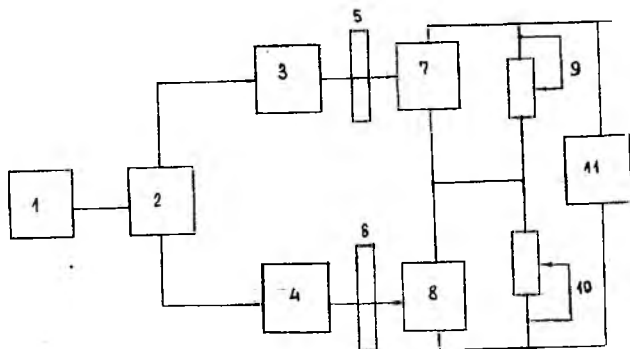
жараёндаги ўлчов ва назорат ишларини автоматлаштириш имкониятлари очилади.

Ҳар хил суюқликларнинг рангдорлиги, хиралиги ва тиниқлиги даражасини баҳолаш мақсадида ишлатиладиган қурилмалар схемалари 60, 61-расмларда кўрсатилган.

Ҳар хил суюқликларнинг рангдорлиги, хиралиги ва тиниқлиги каби хусусиятлари даражасини баҳолаш мақсадида ишлатиладиган аномал фотоэлектрон генераторлар асосида оптоэлектрон назорат ва ўлчов қурилмаларининг ишлатилиш, технологик жараёнига боғлиқ равишда жуда кўп вариантларини келтириш мумкин. Бундай оптоэлектрон қурилмаларининг типик вакили сифатида 60, 61-расмда келтирилган универсал ўлчов, назорат оптоэлектрон блок-схемасини ишлаш принципини таҳлил қиламиз. Суюқликларнинг рангдорлигига қараб ҳам, сифат характеристикаларини баҳолаш мумкин. Назоратдаги суюқликлардан (уларнинг қалинликларини ўзгармас сақлаб) ўтаётган ҳар хил тўқкин узунликларга мос ёруғлик оқимлари модда (суюқлик, эритма, маҳсулот) рангдорлигига боғлиқлиги аниқланган. 60-расмда келтирилган блок-схемадаги (1) импүүлслар генератор ишлаб чиқарган П-симон импүүлслар, (2) триггернинг киришига берилади. П-симон импүүлс таъсирида триггерда ажралган импүүлслар навбаг билан (3)- қизил ва (4)- яшил ёруғлик диодларини ишга тушириб, спектрига мос нурланиш ҳосил қилади.

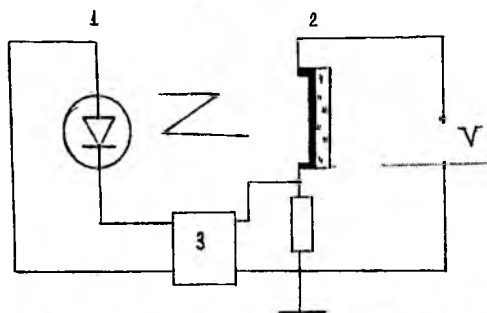


60-расм. Суюқликларнинг сифат характеристикаларини оптоэлектрон қурилмаси.

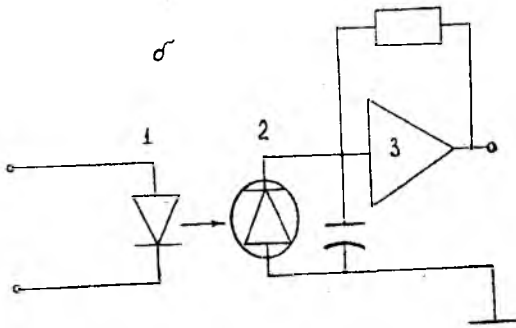


61-расм. Суюкликларнинг сифат характеристикаларини эталонга солиштириб назорат қилинадиган қурилма.

Суюкликларнинг сифат характеристикаларини аниқлашда ва уларни технологик жараён давомида назорат қилиш учун қўлланиладиган қурилмаларнинг юқорида кўрсатилган (60, 61-расмлар) иккала схемаси ишлаб чиқаришда синовдан муваффақиятли ўтган. Хитой ва Грецияда ўтказилган «Фан ва техника ютуқлари» кўрғазмасида намойиш қилиниб тақдирланган. Ҳозирда бу қурилмани компьютерга улаш ва унинг тезкорлигини орттириб автоматлаштирилган линияларда қўллаш устида илмий изланишлар олиб борилмоқда. Шунини таъкидлаш керакки, агар юқоридаги схемаларга тўғри электр алоқали ва тесқари оптик алоқага эга бўлган (62-расм) регенератив оптрон ячейкасини ва импульсли оптоэлектрон кучайтиргич киритилса (63-расм) қурилманинг имконияти яна ортади. 63-расмдаги (1) ёруғлик диоди, (2) генератор типидagi оддий ёки аномал режимда ишловчи фотоприёмниклар, (3) оралик, боғловчи ёки сигналларни кучайтирувчи каскадлар.



62-расм. Регенератив оптрон ячейкали қурилма.



63-расм. Кўшимча импульсли оптоэлектрон кучайтиргичли қурилма.

Назорат қилинадиган суюқлик, айнан шу суюқликнинг эталони билан солиштирилади. Масалан, хиралик даражасини баҳолаш учун, суюқлик ёки текширилувчи эритмадан  $J_0$  интенсивликка эга бўлган ёруғлик дастасини ўтказайлик. Унинг интенсивлиги суюқликдан ўтгандан сўнг  $J_1$  гача камаяди. Бу ҳол учун калориметриянинг асосий қонуни – Бугер-Ламберт-Бер қонунини қўлласак, қуйидаги ифодага эришамиз.

$$J_1 = J_0 10^{-\epsilon c d}. \quad (33)$$

Бу ерда  $J_1$  - концентрацияси  $C$ , қалинлиги  $d$  бўлган суюқликдан кучсизланиб ўтган ёруғлик интенсивлиги,  $J_0$  - суюқликка тушгунга қадар бўлган интенсивлик,  $\epsilon$  - тушаётган ёруғлик тўлқин узунлигига, эритмадаги эриган модда табиатига ва унинг температурасига боғлиқ коэффициент.

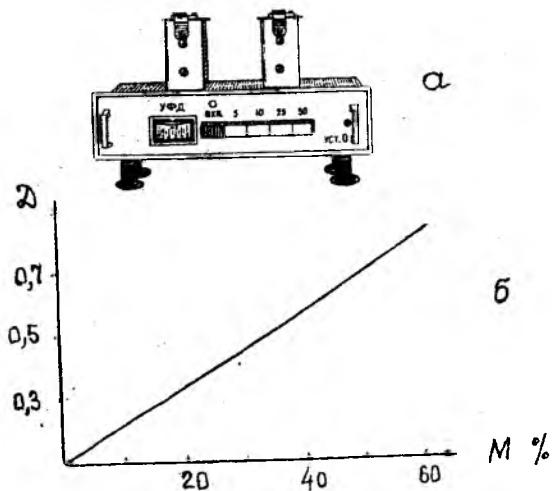
Эритма ёки суюқликнинг хиралик (ёки тиниклик) даражасини баҳолаш учун қуйидаги нисбатни олиш керак.

$$T = \frac{J_1}{J_0} = \frac{J_0 10^{-\epsilon c d}}{J_0} = 10^{-\epsilon c d}. \quad (34)$$

Суюқлик қатламининг бир-бирлик қалинлиги (1 см ёки 1 м) тўғри келувчи тиниклик ( $T$ ) суюқликнинг ўтказиб юбориш коэффициенти бўлади. Маълумки, суюқликнинг оптик зичлиги  $D$  ва тиниклик  $T$  орасида қуйидаги боғланиш мавжуд:

$$D = \lg T^{-1} = \lg J_0 / J_1 = \epsilon c d. \quad (35)$$

(35) муносабатдан кўринадик, оптик зичлик ва тиниклик ўзаро тўғри пропорционал боғланган. Бу боғланиш графиги тўғри чизикни беради (64, б-расм).



64-расм. Суюкликларнинг оптик зичлиги ва тиниклигини назорат қилувчи қурилманинг ташқи кўриниши (а), оптик зичлик ва тиниклик орасидаги боғланиши (б).

Графикдан фойдаланиб Д-М муносабатни ёзиш мумкин. Демак,  $M = E \cdot C \cdot d$  бўлади.

Баён қилинган усулни амалга ошириш учун 61-расмдаги фотоэлектрик қурилмани йиғиш керак. Генератор (1) ҳосил қилган П-симон импульслар триггер (2) га боради. Триггерда ажраган импульслар характеристикалари, параметрлари билан фарқланмайдиган ёруғлик диодлари (3), (4) ларга берилади. Ёруғлик диодларининг оқимлари мос равишда назорат қилинадиган 5 ва эталон 6 суюклик қатламларидан ўтиб, айнан ўхшаш қилиб танланган АФН-қатламлар 7 ва 8 га тушади. 7 ва 8 АФН-қатламлари 5 ва 6 назоратдаги ва эталон суюкликлардан ўтган ёруғлик оқимини электр сигналига айлантиради. АФН-қатламлар ҳосил қилган фотоэлектрик сигналлар мос равишда 9 ва 10 ўзгарувчан резисторлар орқали қурилманинг чиқишидаги ўлчов асбобига (11) берилади.

Назорат қилинаётган суюклик орқали ўтган  $\lambda_1$  (яшил) ва  $\lambda_2$  (қизил) тўлқин узунлигидаги ёруғлик оқимлари Ламберт-Бер қонунига асосан топилади:

$$\Phi_{\lambda_1} = \Phi_{0\lambda_1} x \exp(-K_1 d), \quad \Phi_{\lambda_2} = \Phi_{0\lambda_2} x \exp(-K_1 + K_2) d,$$

$$\Phi_{\lambda_2} = \Phi_{0\lambda_2} x \exp(-K_1 d) \exp(-K_2 d). \quad (36)$$

Формуладаги  $\Phi_{0\lambda_1}$ ,  $\Phi_{0\lambda_2}$  - ёруғлик диоди ҳосил қилган оқимлар;  
 $\Phi_{\lambda_1}$ ,  $\Phi_{\lambda_2}$  - назоратдаги суюклик орқали ўтган ёруғлик оқимлари;

$K_1$  - ютилиш коэффициентиги;

$K_2$  - суюклик рангдорлиги билан боғлиқ ютилиш коэффициентиги;

$\Phi_{021} = \Phi_{022}$  тенгликни билган ҳолда қуйидаги муносабатни ёзишимиз мумкин

$$\frac{\Phi_{21}}{\Phi_{22}} = \frac{\Phi_{021} \exp(-K_1 d)}{\Phi_{022} \exp(-K_1 d) \exp(-K_2 d)} = \exp(K_2 d). \quad (37)$$

Бу муносабатдан кўринадикки, суюклик қатлами калинлиги доимий сақлаганда  $\lambda_1$  ва  $\lambda_2$  тўлқин узунликларига мос келувчи ёруғлик оқимларининг ( $\Phi_{21}/\Phi_{22}$ ) нисбати назоратдаги суюклик ёки эритманинг рангдорлигига пропорционал бўлади.

60-расмдаги қурилма устида олиб борилган амалий текширишларга асосланиб, суюклик ва эритмаларнинг рангдорлигини технологик жараёнда автоматик равишда назорат қилувчи қурилма схемасини (61-расм) тавсия қилиш мумкин. Автоматик назорат қилувчи бу қурилмада генератор (1) нинг сигналлари триггер ёрдамида навбат билан олдин 3 (яшил) ёруғлик диодига, ундан сўнг 4 (қизил) диодга берилади. Назоратдаги (5) суюкликдан ўтган оқимлар 6 ва 7 АФН-қатламларга тушади. Уларнинг электр сигналлари 8 ва 9 резисторлар орқали (10) ўлчов асбобига келади. Бу қурилманинг ташқи кўриниши 64-расмда кўрсатилган [34].

### Оптик тасвирнинг потенциал рельефини ҳосил қилиш

Тасвирни электр сигналга, электр сигнаolini оптик тасвирга айлантирувчи қурилмаларда юқори кучланиши ташқи манбалар ишлатилади. Юқори кучланиш олиш учун махсус блоklar ишлатилади. Табиийки, кўшимча қурилмалар, энергия исрофини кўпайтиради.

Маълумки, [2, 30] АФН-қатламлар ёритилганда юқори аномал фотокучланиш ҳосил қилганлиги сабабли улар ишлатилган занжирларда кўшимча автоном манбага эҳтиёж қолмайди. Шунинг ҳам таъкидлаш жоизки, АФН-қатламларда анизотропия [31] кузатилади. Оптик тасвирнинг потенциал рельефини ҳосил қилишда АФН-қатламли матрицадан фойдаланилса, шу типдаги мавжуд қурилмалар ихчамлашади. Энергия исрофи камаяди. Электрон нур дастасини тезлаштирувчи юқори кучланиш ҳосил қилувчи қисмга эҳтиёж қолмайди.

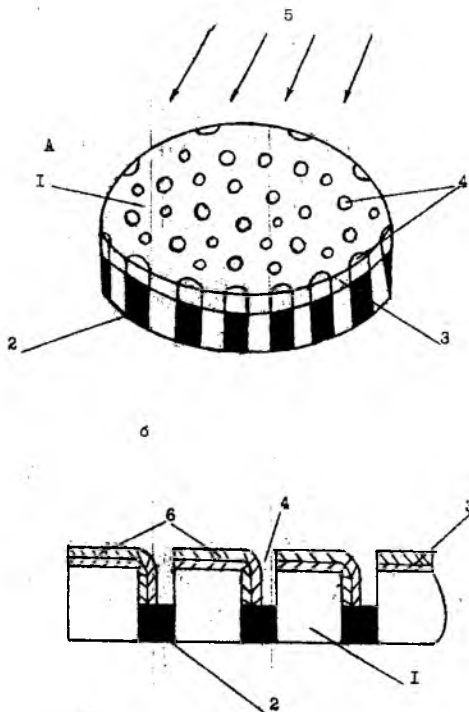
Оптик тасвирни электр потенциалли рельефга айлантирувчи матрицали АФН-фотоприёмникни қуйидагича лойиҳалаш мумкин. Бунинг учун 65-расмда тасвирланганидек [2] шиша (1) таглик олиб, унга махсус йўллар билан металл (2) симлар кавшарланиб қўйилади. Бу симларнинг учлари ташқи занжирга боғланиш имкониятига эга. Шиша таглик сиртининг бирига юпка платина қатлами (3) ўтказилади. Химиявий емириш усули билан расмда кўрсатилганидек, чуқурчалар (4) ҳосил

қилинади. Шундай йўл билан ҳосил қилинган металл толали шиша пластинканинг сиртига анизотроп буғлатиш йўли билан (5) молекуляр оқим юборилади. Натижада (6) фотовольтаик элементлар системасидан иборат матрица кўринишида АФН-катлам ҳосил бўлади (65,6-расм). Ҳосил бўлган АФН матрицадаги ҳар бир АФН элементнинг битта контакти тагликдаги платина қатлами билан уланган, иккинчи учи эса шиша таглик ичидаги металл толаларга бориб уланади. Аномал юқори фотоқучланишли ёруғликка сезгир элементлардан ташкил тоинган матрица ўзида жуда кўп сонли информацияни элтувчи ёруғликнинг датчиги вазифасини бажаради. Бундай матрицалар мавжуд матрицалардан (транзисторли, фотодиодли, фоторезисторли) тубдан фарқ қилиб, ёруғликнинг мураккаб сигналларини тўғридан тўғри электр сигналларига айлантириш хусусиятига эга. Шунинг учун уларга алоҳида махсус таъминлаш блокларининг кераги йўқ. Ҳозирда ишлаб чиқилган технология билан бир сантиметр квадрат таглик юзасида  $10^5$  фотоактив элементли матрица олиш мумкин. Бунинг натижасида юқори ажрата олиш қобилиятига эришилади.

Ёритилганда аномал юқори фотоқучланиш ҳосил қиладиган юпка ярим ўтказгич қатламлари асосида яратилган фотовольтаик элементлардан ташкил топган матрица «улкан» вакуум камерали кинескопларнинг ўрнини яқин келажакда олиши учун технологияни такомиллаштириш керак бўлади. Ёритилганда аномал фотоэлектрик, фотомагнит, электрик ва электрет эффектлар кузатиладиган ярим ўтказгич юпка поликристалл пардалари жуда кўп сондаги микрокристаллчалар мажмуасидан иборат бўлади. Бу кристаллчаларнинг сирт қатлами ички қисмидан электр ўтказувчанлиги бўйича тубдан фарқ қилади. Бу кристаллларнинг орасидаги чегарада сирт ҳолатлар (ва бошқа жуда кўп жараёнлар) ҳисобига ҳар хил шакл ва формадаги жойлашиш ҳамда характери хилма-хил электрон-тешик ўтишлар вужудга келиб, уларнинг сони етарли кўп (1см парда узунлигида  $\sim 10^5$  дона) бўлади. Натижада юпка парда ўзига хос супер *p-n* ўтишлар системасини ташкил этади (СМС). Маълум, технологик жараёнда материал турига боғлиқ равишда бу *p-n* ўтишлар гетеро ўтишларни бериши ҳам мумкин. Бундай юпка ярим ўтказгич пардаларида аномал юқори фотоқучланиш, фотомагнит қучланиш ва электрет қучланишлар СМС ларнинг кучайтириш эффектидан келиб чиқади. Бу СМС-структуралар [70] катта юзаларда ҳосил қилинса, ўзига хос улкан матрицани ҳосил қилади. Бу матрица орқали ёруғлик сигнали ўтказилса, унинг электр потенциал «рельефини» ҳосил қилиши мумкин (66, 67-расмлар). Ярим ўтказгичларнинг юпка пардаларидан ясаладиган видиконлар ёрдамида тасвирни узатиш ва худди шу йўл билан ясалган кинескоплар ёрдамида қабул қилиш мумкин бўлади.

Таклиф қилинаётган ярим ўтказгич юпка пардали АФН-матрица лойиҳасини бошқа кўринишларда ҳам яшаш мумкин. Бунинг учун 65,6-расмдаги оптик тасвирни электр потенциалли рельефга айлантирувчи матрицанинг махсус таглигининг шаклини ўзгартириш керак. Матрицанинг ишлатилиш жойига қараб тагликлар лойиҳасини исталганча

Ўзгартириш мумкин. АФН-пардаларни олиш технологиясини ривожлантириб ва шаффоф тагликлар тайёрлашни яхши ўзлаштириб, катта юзали АФН-пардалар олишга эришмоқ керак. Шиша тагликка кавшарланган металл контакт симлари (2) ва шиша сиртига ўтказилган платина қатламлари (3) геометриясини ўзгартириб, АФН-матрицага талаб қилинган шакл ва кўринишни бериш мумкин. 65,а-расмда бундай матрицаларнинг ташқи кўринишлари ва кесимлари 65,б-расмда ифодаланган.



65-расм. Оптик тасвирни потенциалли рельефга айлантирувчи матрица.  
а- юкоридан кўриниши, б-кесилгандаги кўриниши.

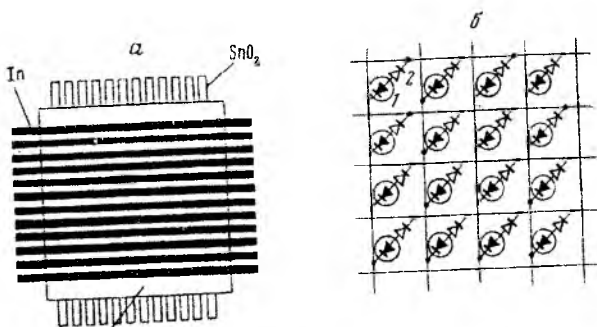
Тайёрланган тагликнинг сиртига вакуумда термик буғлатиш усули билан танланган ярим ўтказгич моддадан АФН-қатлам ўтказилади. АФН-қатламни олдиндан ишлаб чиқилган махсус АФН тайёрлаш технологияси асосида олиб борилади [2,25]. Ярим ўтказгич молекуляр оқими таглик сиртига технология талабларига асосан танланган қияликда туширилганлиги сабабли, ҳар бир чуқурчани ён сиртида (6) алоҳида фотокучланиш берадиган элемент ҳосил бўлади. Бу элементнинг бир учи тагликка кавшарланган сим билан, иккинчи учи умумий платина 3 электроди билан бирлашган АФН-қатламдир. Бу микрофотоэлементлар



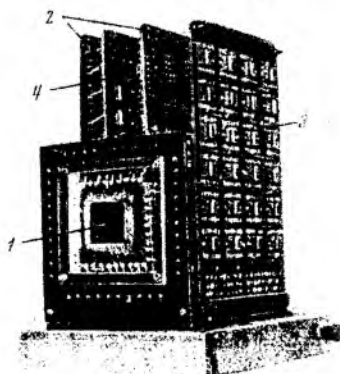
системаси матрица кўринишидаги фотоприёмникни ҳосил қилади. Тайёрланган фотоактив матрицанинг ёруғликка сезгир АФН қопланган сиргига оптик тасвир туширилганда қавшарланган сим электродларнинг учларида тушаётган ёруғлик окимининг интенсивлигининг тақсимланиш қонуниятига моинд равишда электр потенциал рельефи ҳосил бўлади.

Бундай АФН-матрицали фотоприёмник ташки электр манбасиз ишлашидан ташқари, фазовий ажрата олиш қобилияти жуда юқори бўлиб, уни яшашда мураккаб, нозик қурилиш талаб қиладиган электрон техника галаб этилмайди.

Бундай АФН-матрицалар келажакда «улкан» вакуум камерали узатиш ва қабул қилиш электрон нур трубкалари ўрнининг эгалласа ажаб эмас.



66-расм. СМС – матрица лойихаси(а), микробил схемаси(б).



67-расм. СМС-матрицанинг ташки кўриниши(тажриба варианты). 1-матрица(1 см<sup>2</sup>); 2-транзисторли калитлар; 3-қатор буйича ейиш генератори; 4-қадр буйича ётовчи генератор.

## Оптоэлектроникада қўлланиладиган АФН ли оптронларни имкониятларини баҳолаш

Ясаладиган АФН ли оптронларни оптоэлектрониканинг маълум соҳасида ишлашига тавсия қилиш учун унинг тезкорлиги, чиқиш кучланиши ҳақида маълумот олиш керак бўлади. Бу катталиклар кўп жиҳатдан ёруғлик диоди (СД) га ва АФН-катлам имкониятлари билан боғлиқ.

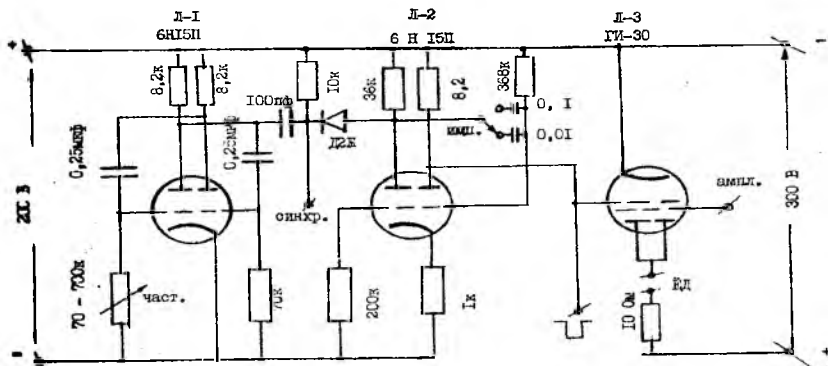
Бу параграфда оптоэлектрон схемаларда кенг қўлланилаётган фосфид галлий ва арсенид галлийли ёруғлик диодларининг импульсли режимда нурланиш қувватиши ўлчаш натижалари билан таништирамиз. Тайёр оптронларни текшириш, синаш усулларини баён қиламиз.

Ёруғлик диодларини импульсли режимда текшириш учун 68-расмдаги схема йиғилади.

Ёруғлик диоди Л-3 чиқиш лампасининг анодига уланади. Унга кетма-кет уланган  $R=10$  Ом қаршилик ток импульси амплитудасини ўлчаш учун хизмат қилади. Л-3 нинг экран тўридаги потенциални текис ўзгартириб, амплитуда бошқарилади. Қурилма максимал токи  $\sim 0,8$  А,  $2\div 10$  Гц ли узатиш частотасида 1 мс ва 10 мс ли импульс беради. Ёруғлик диодлари импульсли режимда ишлаганда улар ўтказиши мумкин бўлган ток ортади. Бунга боғлиқ равишда, нурланиш ёритилганлиги ҳам ортиши керак. АФН-катламдаги кучланиш ёритилганликка боғлиқ.

Нурланиш энергиясини, аниқлашда импульсли режимда термостолбиклардан фойдаланиб бўлмайди, чунки уларнинг тезкорлиги жуда пастлиги туфайли инерцион бўлади. Шу сабабли олдиндан абсолют бирликларда даражалаб қўйилган тезкорлиги юқори селектив фотоприёмниклардан фойдаланиб, энергиянинг спектрал тақсимоги монохроматор ёрдамида ўлчанади.

Монохроматор сифатида ИКС-12 спектрометрдан фойдаланилган. Нурланишни қабул қилгич сифатида ФЭУ-28 (фото-умножитель), ишлатилган. ФЭУ-28 монохроматорнинг чиқиш тиркишига яқин қилиб жойлаштирилади. ФЭУ-28 чиқишидаги нурланиш ОК-11 осциллографи ёрдамида қайд қилиниб, унинг ўзгармас токли кириши ФЭУ аноди билан катод қайтаргич орқали боғланади.



68-рasm. Ёруглик диодларини импульсли режимда текшириш схемаси.

Курилмани 0,9÷2,3 эВ дан иборат спектрал соҳада спектрал даражалаш учун ПРК-4 симоб лампаси 17-чизикли нурланишидан фойдаланилган. Абсолют бирликларда, Ваттларда энергетик даражалаш мақсадида СПС10-5 типидаги ёруглик ўлчовчи эталон лампа ишлатилди. Энергетик даражалаш усули билан таништирамиз. Жисмининг рангдорлик температураси  $T_c$  га мос келувчи нурланишнинг спектрал зичлигини (38) формула кўришида ёзиш мумкин.

$$P_r(E)dE = rA_1\varphi(x)dE, \quad (38)$$

бу ерда  $r$  - кулранглик коэффициенти,  $A_1$  - абсолют (Т) температурага боғлиқ коэффициент,  $\varphi(x)$  - универсал функция,  $x = E/E_1$  деб олинади.

Вольфрам учун  $T_{11} = 2360^\circ K$  ва  $r = 0,4$  эканлигини ҳисобга олиб, қуйидагини топамиз,

$$P_r(E) \approx 24\varphi(x) \frac{\text{Вт}}{\text{стер} \cdot \text{эВ} \cdot \text{см}^2}. \quad (39)$$

Нурланиш бўлаётган сирт юзини  $S_0$  десак бирлик фазовий бурчакка мос келувчи спектрал оким

$$F_r(E) = P_r(E)S_0 \frac{\text{Вт}}{\text{стер} \cdot \text{эВ} \cdot \text{см}^2} \quad (40)$$

бўлади.  $S_0$  нинг эффектив қийматини ва  $T_{11}$  нинг маълум қиймати учун ёруглик кучини топамиз:

$$I = KS_0 \int P_r(E)\psi(E)dE, \quad (41)$$

бу ерда  $K$  - ёруғликка боғлиқ эквивалент,  $V(E)$  - кўриниш эгрилиги.

$V(E)$  функция учун ҳисоблашга қулай аналитик ифода топилмагани учун (41) интегрални сонли усул билан олиш керак.  $S_0$  нинг топилган қийматини (40) га қўйиб

$$F_1(E) \approx 1,15\varphi(x) \frac{\text{Вт}}{\text{стер} \cdot \text{эВ}} \quad (42)$$

ифодага эга бўламиз.  $F_1(E)$  функция [41] да келтирилган жадвалдаги  $\varphi(x)$  функция қийматларига асосланиб ҳисобланган. Агарда ўлчов қурилмаси каналининг чиқишида қайд қилинадиган катталиқ  $I_d(E)$  бўлса, ФЭУ нинг спектрал сезувчанлигидаги ва монохроматорнинг оптик ўтказувчанлигидаги нотекисликни мувофиқлаштирувчи коэффициентни куйидаги муносабатдан аниқланади.

$$K_d(E) = \frac{F_1(V)}{I_d(E)} \Omega_d, \quad (43)$$

$\Omega_d$  - фазовий бурчак лампа геометрияси ва монохроматор даражаланиши билан боғлиқ, уни

$$\Omega_d = \frac{h}{\ell^2} d \quad (44)$$

ифодадан топилади.  $h$  - монохроматор кириш тиркиши баландлиги,  $u$  ўзгармас бўлади,  $\ell$  - тиркиш кенлиги,  $\ell$  - нулланиш берувчи толадан кириш тиркиши текислигигача масофа.

Амалда текшириш шунинг кўрсатадики,  $d \leq 0,03$  см бўлганда

$$I_d \sim d^2 \quad (45)$$

муносабат бажарилади.

(44) муносабатни ҳисобга олиб, куйидаги тенгликларни ёза оламиз:

$$K_{d1} \cdot d = K_{d2} \cdot d = \dots = K_{dn} \cdot d. \quad (46)$$

Бу тенгликлардан фойдаланиб  $d = d_0$  қиймат учун  $K_d(E)$  коэффициентини экспериментал аниқлаш имкони туғилади.

Экспериментал йўл билан топилган  $K_d(E)$  нинг қиймати осциллограф экранда 1 В кучланишга мос келувчи танланган бирлик сезгирликка келтирилиб, график йўл билан текисланади. Ундан сўнг топилган қиймаглардан энг кичиги  $K_{d_0}$  бирлик сифатида қабул қилинади. Қолган қийматлар унга солиштирилади. Шунинг учун

$$K_{d_n}(E)_{\text{ошк}} = K_{d_0}(E)_{\text{имк}} \cdot 1,04 \cdot 10^n \frac{\text{Вт}}{\text{эВ} \cdot \text{В}} \quad (47)$$

натижани ёза оламиз. Агар ўлчаш натижаси Вольтларда олинса ва қурилманинг сезгирлиги  $Z$  бўлса, нурланиш қувватининг ҳақиқий қиймати (монохроматор кириш тирқишига тушаётган) қуйидаги ифодадан топилади:

$$\Phi_d(E) = 1,04 \cdot 10^6 \frac{d_0}{d} K_{d_0}(E)_{\text{нм}} \frac{I_d(E)}{Z} \left( \frac{\text{Вт}}{\text{эВ}} \right). \quad (48)$$

Ўлчаш ячейкаси ёруғлик ўтказмайдиган камера бўлиб, спектрометр кириш тирқишига нисбатан мустақкам (боғланган) созланган бўлади. Ёруғлик диодларининг камерадаги ҳолати асбобнинг оптик ўқи яқинига жойлаштирилган мослаштирувчи қурилма ёрдамида аниқ вазиятга келтирилади. Ёруғлик диодларининг алмаштиришда созланган вазият бузилмайди.

Кириш тирқишининг тўғри ёритилишини таъминлаш мақсадида махсус линза (коллимирующая линза КО 351) дан фойдаланилган. Камерадаги температура мис-константан термопараси билан ўлчанади.

Температурани ўзгармас ушлаб туриш мақсадида камерага иссиқ ҳаво ёки суюқ азот буғини ҳайдаб берувчи митти компрессордан фойдаланилади.

Дастлабки ўлчаш натижаларига кўра фосфид галлийли диодларнинг нурланиш тасмаси контурининг ярим кенглиги (энининг ярмиси)  $\sim 0,2$  эВ, арсенид галлийли эффектив диодлар учун шу микдор  $\sim 0,07$  эВ га тенг бўлди. Буни ҳисобга олиб, спектрометр тирқиши кенглиги мос равишда  $0,02$  эВ ( $d = 0,02$  см) ва  $0,07$  эВ ( $d = 0,05$  см) қилиб танланди. Ҳар бир диодда ёруғлик импульсларининг формаси, ток импульси формасига умуман мос келиб, фақат фронтларида кичикрок эгрилик кузатилди.

Импульс давомида бирлик фазовий бурчакка мос келувчи ёруғлик диодининг нурлантирган энергиясини

$$Q = \left[ \int_{(E)} Q(E) dE \right] t_n = t_n \int_{(E)} \frac{\Phi_d(E) dE}{\theta_d} \quad (49)$$

формуладан ҳисоблашимиз мумкин. Бу ерда  $Q(E)$ - ёруғлик диоди нурланиш қувватининг спектрал тақсимланиши.  $t_n$ - импульс узунлиги,  $\theta_d$ - ёруғлик диодининг кириш тирқишига нисбатан жойлашиш геометриясига боғлиқ фазовий бурчакнинг эффектив қиймати.

(48) ифодани ҳисобга олиб, (49) ни қуйидагича ёза оламиз:

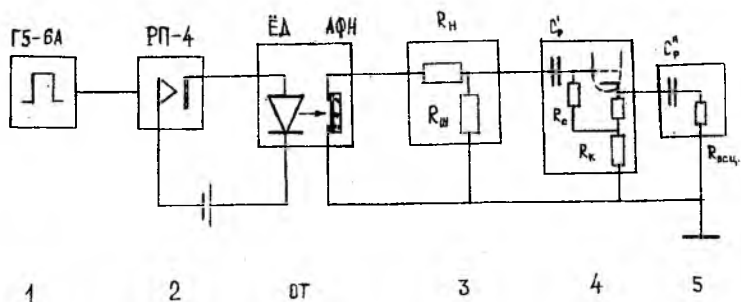
$$Q = 1,04 \cdot 10^{-6} \frac{d_0 t_n}{d \theta_d Z} \int_{(E)} K_{d_0}(E) I_d(E) dE. \quad (50)$$

(50) ифодадан.  $K_u(E)$  коэффициентдан фойдаланиб сочилаётган ёруғлик спектрининг графиги қурилади. Ундан сўнг график эгри чизиги остидаги майдон аниқланади. (50) ифодага  $d_0=0.02$  см ва  $\theta_r=2$  стерад. қийматларни қўйиб, ишчи формула топилади:

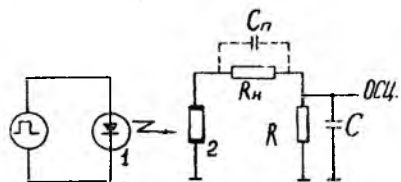
$$Q = 1.04 \cdot 10^{-8} \frac{St_u}{Zd} \left( \frac{Ж}{\text{стер. имп.}} \right), \quad (51)$$

бу ерда  $S$  (50) ифоданинг чап томонидаги интегралнинг график усул билан топилган қиймати, у В-эВ да ифодаланган,  $t_u$  - секундларда ифодаланган импульснинг узунлиги,  $Z$  - ўлчаш вақтидаги қурилманинг сезирлиги, у «Вольт» ларда берилади,  $d$  - спектрометр тиркишининг кенглиги, сантиметрларда берилади. Ўлчаш натижалари 71-74 расмлардаги графикларда ўз аксини топган [42]. Графиклар ҳар хил (1-208 К, 2-273 К, 3-325 К) температураларда олинган натижаларга асосланиб қурилган. 71-расмда У-15 типдаги ёруғлик диоди учун нурланиш қуввати ва ток импульси амплитудалари орасидаги боғланиш берилган. Бу расмдаги графиклардан шунини билиб олиш мумкин, температура камайиши билан ёруғлик диод ( $\text{ЕД}$ ) истеъмол қилаётган, нурланишнинг максимумига мос келувчи ток қиймати ортади. Масалан, температура 325К дан 208 К га камайганда  $\text{ЕД}$  нинг токи икки марта ортган. Токнинг ортишига боғлиқ ҳолда  $\text{ЕД}$  нурланишининг максимал қуввати ҳам 2-3 марта ортиши кузатилади. Шунини ҳам таъкидлаш керакки, тажриба ўтказилган температураларда нурланиш спектрларида сезиларли ўзгаришлар кузатилмаган (71, б-расм). Олинган натижалар шунини кўрсатадики, импульсли режимда  $\text{ЕД}$  лари ишлатилганда уларнинг нурланишига боғлиқ қувват барқарор режимдагига нисбатан 5-10 марта ортиши мумкин экан. Фосфит галлийдан ясалган  $\text{ЕД}$  лари импульсли режимдаги нурланишнинг қуввати  $10^{-3}$  Вт га эришса бу қиймат арсенид галлийдан ясалган  $\text{ЕД}$  ларида (0,4А)  $10^{-2}$  Вт га етади. Қувватнинг бу қийматлари чегараси эмас уларни яна ортириш мумкин.  $\text{ЕД}$  ларнинг юқорида келтирилган нурланиш қувватлари АФН-қатламларининг хатто  $1 \text{ мм}^2$  ўлчамларида етарли аномал юқори фотоқучланиш ҳосил қила олади.

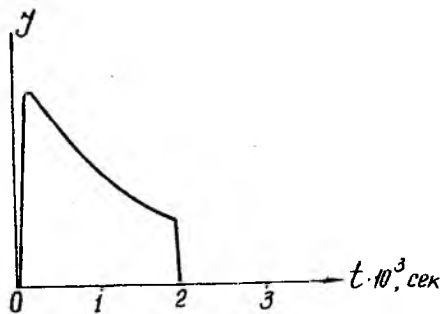
АФН-қатламларининг импульсли режимдаги имкониятларини баҳолаш учун АФН кинетикасини ўрганишда ишлатилган схема йиғилади. АФН асосида яратилган оптоэлектрон трансформаторларни (ОЭТ) ишга яроқлилигини сиёанида 69-расмдаги схемадаги қурилмалардан фойдаланилади.



69-расм. Оптоэлектрон трансформаторларни синаш курилмаси.

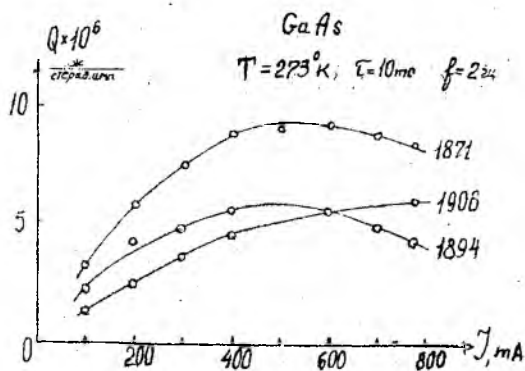
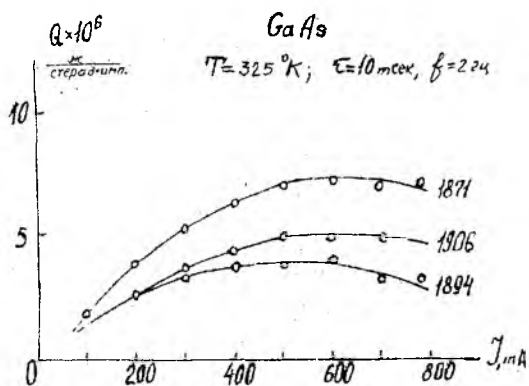


а)



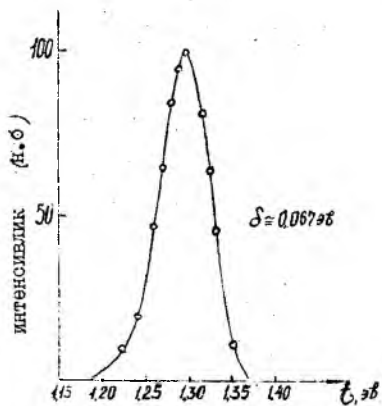
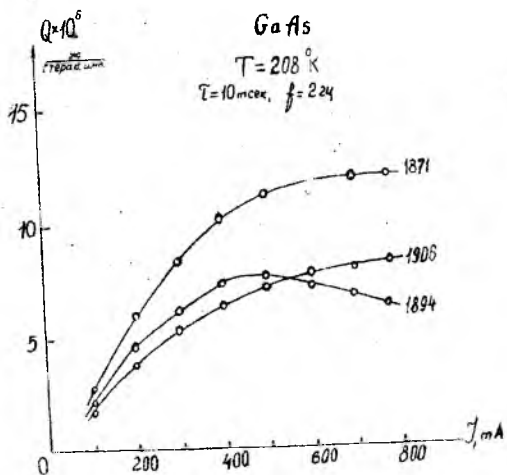
б)

70-расм. 70-расмга ёрдамчи чизмалар. А- оптроннинг элементар схемаси. Б- ток импульсининг формаси.

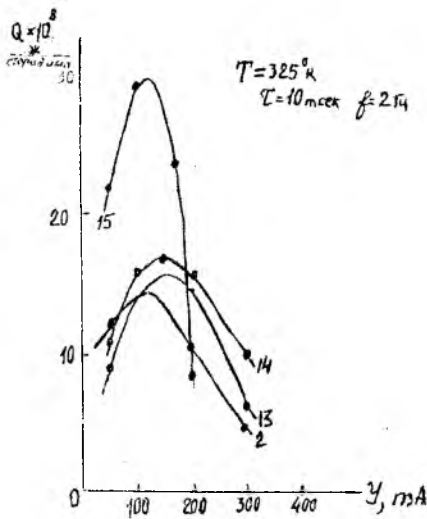


71-расм. У-15 типдаги ёруғлик диоднинг нурланиш куввати билан ток импульсининг амплитудавий киймати орасидаги боғланиш (арсенид галлий учун).

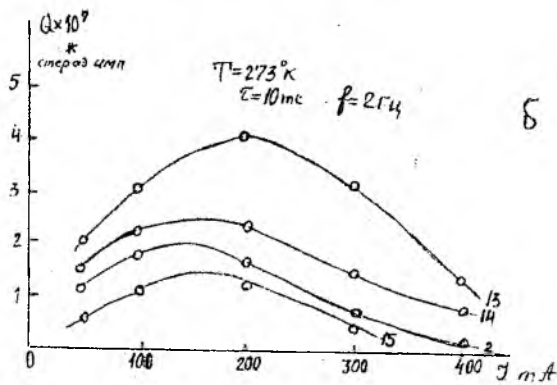




72-расм. У-15 У-15 типдаги ёруғлик диодининг нурланиш куввати билан ток импульсининг амплитудавий киймати орасидаги боғланиш (а), нурланиш спектори (б).

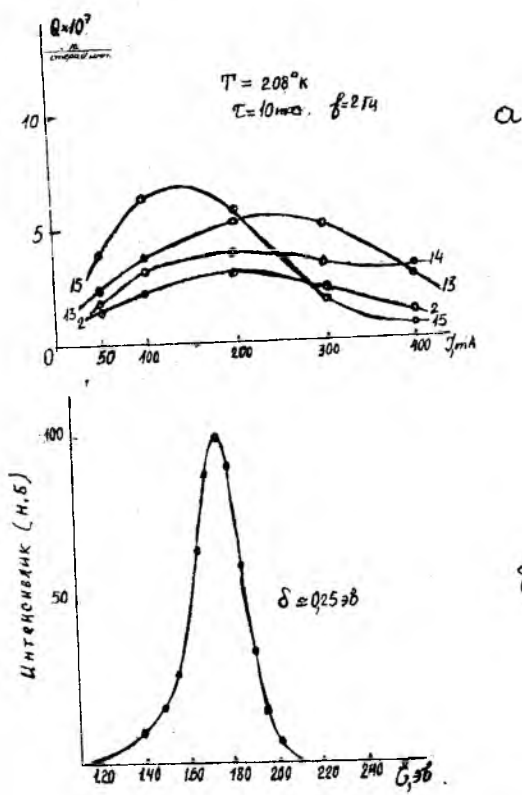


a



b

73-расм. Фосфид галлий ёруғлик диодининг нурланиш қуввати билан ток импульси амплитудавий қиймати орасидаги боғланиш (хар хил тўртта намуна учун).



74-расм. Фосфид галлий ёруглик диоднинг нуланиш қуввати билан ток импульси амплитудавий киймати орасидаги боғланиш (а), нуланиш спектри (б).

1-генератор Г5-6 А, 2-аккумулятордан калит (реле РП-4) орқали ЁД ни таъминлаш блоки, 3-кучланишни ажратиш блоки, 4-катод қайтаргич, 5-осцилограф.

Оптоэлектрон трансформаторларни синаб кўришда ҳам АФН кинетикасини салт режимда ўрганишда қўлланилган қурилма схемасини асос қилиб олинган. Мазкур қурилма схемаси универсал бўлиб, даврий импульслар бериш билан бирга якка импульслар ҳам бера олади. ОЭТ ларнинг тезқорлиги АФН-қатламларнинг вақт (RC) доимийси билан боғлиқ. Вақт доимийсини орттиришнинг ҳар хил усуллари мавжуд. АФН олиш технологиясини такомиллаштириш билан бу жараёни бошқаришга имкон туғилади. Технологик йўл билан ҳам маълум даражада RC ни ўзгартириш мумкин. Юқорида таъкидлаганимиздек, вакуумда моддани

буғлатиш жараёнида молекуляр оқим тезлигини орттириш, RC нинг ўзгаришига сабаб бўлади. Катта тезликларда олинган АФН-қатламларнинг қаршиликлари нисбатан кичик бўлади. Бунинг ҳисобига (RC) тезкорлик билан ҳам тезкорликни ўзгартириш мумкин. Ҳозирча АФН ОЭТ лари юқори тезкорликда ишлайдиган қурилмаларда қатламнинг қаршилигининг катталиги ( $\sim 10^{10}$  Ом) туфайли қўлланилиши чегараланган.

### АФН қатламларнинг вольт-ампер характеристикасидаги N-симон узилиш

АФН-қатламлар мураккаб тузилишга эга бўлганлиги учун уларнинг вольт-ампер характеристикаларини (ВАХ) назарий йўл билан ҳисоблаб чиқариш анча қийин масала. Шунинг учун АФН вольт-ампер характеристика (ВАХ) ларини топиш учун эксперимент ва назарий текшириш натижаларга суянган ҳолда қатламларнинг моделлари яратилади [2, 9, 70]. Бу моделларни эквивалент схемалар билан алмаштирилиб, *p-n* ва *n-p* ўтишли АФН-қатламлар учун ВАХ нинг назарий ифодаси топилади. Бу ифодани умумий кўриниши қуйидагича бўлади:

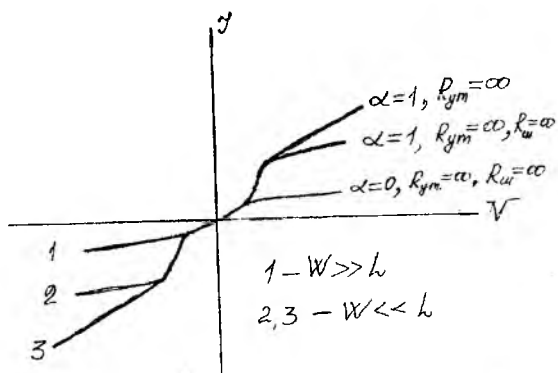
$$J = J_s \frac{\frac{V}{R_m J_s} - \frac{aB}{J_s} - 1 + \frac{V_1}{J_s R_{\gamma r}} + \left[ (1+\alpha) \frac{aB}{J_s} + \frac{V}{J_s R_m} (1-\alpha) + 1 - \frac{V_2}{J_s R_{\gamma r}} \right] \exp A}{1 + (1-\alpha) \exp A} \quad (52)$$

Бу формула кадмий теллур АФН-қатлами учун чиқарилган [9] бўлиб, уни электрон тешик ўтишли механизмга эга бўлган барча АФН-қатламлар учун ишлатиш мумкин. Формула анча мураккаб кўринишга эга. Унга қирувчи параметрлар ( $R_m$ ,  $R_{\gamma r}$ ,  $\alpha$ ,  $J_s$ ,  $B$ ,  $a$ ,  $\gamma$ ) муайян АФН-қатламнинг тузилиши ва ўзига хос хусусиятлари билан боғлиқ. Баъзи ( $\text{Sb}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{CdTe}(\text{Hg})$ ) ва шунга ўхшаш) моддаларнинг АФН-қатламларидаги *p-n* фотоактив ўтишларининг “силкув” қаршилиги ўта катта ( $R_{\gamma r} \rightarrow \infty$ ), уни ҳисоблашларда тушириб қолдириш ҳам мумкин, у ҳолда (52) ифода қуйидаги кўринишини олади.

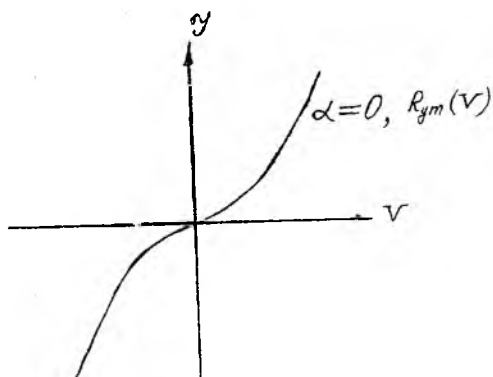
$$J = J_s \frac{\frac{V}{R_m J_s} - \frac{aB}{J_s} - 1 + \left[ (1+\alpha) \frac{aB}{J_s} + (1-\alpha) \frac{V}{R_m J_s} + 1 \right] \exp A}{1 + (1-\alpha) \exp A} \quad (53)$$

Ёруғлик интенсивлигининг кичик қийматларида ёруғликка сезгир қатламнинг “шунтловчи” ҳажм қаршилигини ( $R_m = 0$ ) ҳисобга олмаслик мумкин.

$$J = J_s \exp\left\{\left(\frac{2q}{NkT}\right)(V - RJ)\right\} - J_s \quad (54)$$



75-расм. Теллурид кадмий учун топилган назарий ВАХ кўринишлари.



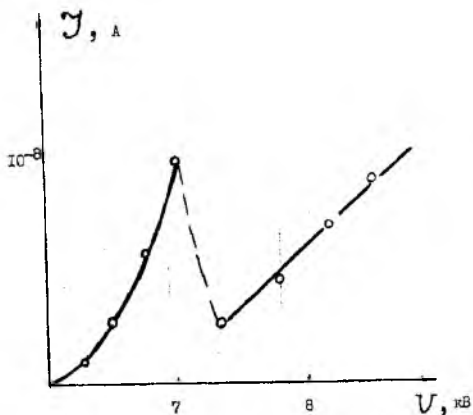
76-расм. Теллурид кадмий АФН қатламларининг тажрибада кузатишган боғлиниши.

Формулалардаги (52, 53, 54) қатламлар тузилиши ва хусусиятлари билан боғлиқ параметрларнинг қабул қиладиган қийматларига қараб АФН-қатлам ВАХ си турли кўринишларни олиши мумкин. Бу параметрларнинг чегаравий қийматлари учун назарий топилган ВАХ нинг кўринишлари 75-расмда келтирилган. АФН-қатламлар ВАХ сининг шакллари қатлам узунлиги бўйлаб жойлашган электрон-тешикли ўтишларнинг ўзаро таъсири билан боғлиқ. АФН-қатламдаги электрон-тешикли ўтишлар

(уларни сони 1см қатлам узунлигида 100 мингга яқин бўлади), ўзаро таъсирда бўлганда уларда ток ташувчиларнинг (зарядлар) алмашуви содир бўлиб, формуладаги олиб ўтиш коэффициенти  $\alpha = 1$  бўлади. Агарда қатлам электрон-тешикли ўтишлар орасида ўзаро таъсир бўлмаса уларнинг биридан иккинчисига зарядлар ўтмайди, десмак ток ташувчиларининг алмашуви ҳам содир бўлмайди. У ҳолда (52) учун олиб ўтиш коэффициенти  $\alpha = 0$  бўлади. АФН-қатламнинг танланган модели учун топилган ВАХ ифодасини келтириб чиқаришда қатламдаги электрон-тешикли ўтишлар қаторидаги ҳар бир ўтишнинг параллел қаршилиги ( $R_n$ ), кетма-кет қаршилиги ( $R_i$ ) қатламнинг ҳажми билан боғлиқ шунт қаршилиқ ҳисобга олинган. Булар ҳаммаси ВАХ шаклига таъсир қилади. Электрон-тешикли ўтишлар қаторида ўзаро таъсир мавжуд бўлиб, улар орасида ток ташувчиларнинг бир-бирига ўтиш жараёни (транзистор эффекти) содир бўлади. Бу ҳолда ВАХ дастлаб чизикли, ундан сўнг  $J \sim V^n$ , ( $1 < n < 2$ ) боғланиш мос келувчи соҳа ва яна чизикли боғланишдан иборат учта кетма-кет келувчи участкалар кузатилиши керак. Қатламдаги ҳар бир электрон тешиқлар ўтишнинг паралел қаршилиги, қатлам ҳажмига боғлиқ шунт қаршилигини ҳисобга олмасак ( $R_n \rightarrow \infty$ ,  $R_m \rightarrow \infty$ ) назарий ВАХнинг кўриниши 75-расмдаги 1, 2 эгриликлар кўринишида бўлади. Бунда 1 эгрилик ўзаро таъсири йўқ ( $\alpha = 0$ ) ҳолатга тўғри келса, 2 эгрилик ўзаро боғлиқ ўтишларга ( $\alpha = 1$ ) мос келади. Қатлам ҳажмига боғлиқ шунт ( $R_m$ ) таъсирини ҳисобга олсак  $\alpha = 1$  бўлганда, ВАХ ўзгаради ва 75-расмдаги 3 эгрилик кўринишига келади.

ВАХ нинг назарий участкалариини тажрибада кузатиш мақсадида теллурид кадмий ва селенид сурьма АФН-қатламларининг ВАХ ларини катта электр майдонларда текширилади. Тажрибада кузатилган ВАХ да назарий ВАХ даги дастлабки чизикли ва  $J \sim V^n$  ( $1 < n < 2$ ) боғланишни ифодаловчи қисми кузатилади. Лекин, иккинчи  $J \sim V^n$  боғланишдан сўнг кузатиш керак бўлган чизикли участка кузатилмади.

Теллурид кадмий кадмийга бой ёки ёғ аралашмалар концентрацияси юқори бўлган АФН-қатламларида ва сурьма селениднинг сурьмага бой ёки ёғ аралашмалар кўп бўлган қатламларида ВАХ лар текширилганда иккинчи чизикли участка кузатилиши лозим бўлган кучланиш берилганда ( $\sim 2 \cdot 10^5$  В/см) токнинг кескин камайиши кузатилиб, ВАХ 77-расмдаги  $N$ -симон узилиш кўринишини олади.



77-расм. Кадмийга бойитилган ёт аралашмалар концентрацияси юкори бўлган катламлар ВАХ си.

Тажрибада олинган АФН-катламлар ВАХ ларида (77-расм)  $\sim 500$ В/см электр майдонларгача ВАХ чизикли бўлади. Ундан сўнг майдон кучланганлиги ортиши билан ВАХ да  $J \sim V^n$  боғланиш бошланади. ВАХ даги  $N$ -симон узилиш катламдаги аралашма сатхларининг электронлар билан нотекис тўлдирилишининг натижаси бўлса керак. Агар электрон-тешикли ўтишлар орасида инжекция бўлмаса ( $\alpha = 0$ ) катлам ёритилмаганда ВАХ даги  $N$ -симон узилишни  $\mu = f(E)$  боғланиш билан тушунтириш мумкин. Катламлар ёритилиши билан ёруғликни катта интенсивликлариди ВАХ даги  $N$ -симон узилишлар йўқолади. Характеристика тўғриланади. ВАХ нинг биринчи тўғри чизикли қисми сақланиб, қолган қисмлари тўғри чизикқа яқинлашади. Буни « $\sigma$ » факторнинг электрон майдон кучланганлигига боғлиқ бўлиб қолиши билан тушунтирилади.

Шундай қилиб назарияга асосан кузатилиши керак бўлган характеристикадаги дастлабки чизиклилик ва ундан сўнгги кузатилаётган юкори чизиклилик ( $J \sim V^n$ ) электрон-тешикли ўтишга мос АФН модели билан тушунтириладиган катламларда фақат  $\alpha = 0$  бўлгандагина кузатилади. Тажрибада кузатилган 76-расмдаги боғлаиш  $R_{\text{т}}(V)$  билан тушунтирилади. Назарий ВАХ ларнинг  $\alpha = 1$ ,  $R_{\text{т}} = \infty$  ҳолатга мос келувчи кўриниши тажрибада кузатилмади.

Баъзи АФН-лардаларининг вольт-ампер характеристикаларидаги  $N$ -симон узилиш пайтидаги токнинг кескин камайишининг бошланиш нуқтаси электродлар орасидаги масофа ва катлам қалинлигига боғлиқлиги тажрибаларда маълум бўлди. Катламга қўйилган майдон кучланишининг бир хил бўлган электродлар орасидаги масофа 3 мм дан катта бўлган қалин ( $\sim 1,5$  мкм) парда катламларидаги токнинг кескин камайиши 5-6 кВ ларида

бошланади. Электродлар орасидаги масофа 2 мм дан кичик, калинлиги ~1мкм атрофида бўлган парда қатламларида токнинг узилиши 7-8 кВ ларда бошланиб, узилишгача парда қатламининг қаршилиги  $10^{12}$  Ом бўлган, узилишдан сўнг эса  $10^7$  Ом бўлиб қолган. Бундай АФН парда қатламларида қатта электр майдон қучланганликлари таъсирида кузатиладиган жарёнларни тўлиқ назарий механизми ҳануз аниқ ўрганилгани йўқ.

### **Ионлаштирувчи нурланишларнинг юпка қатламларининг фотоэлектрик хусусиятларига таъсири**

Ер шароитида, атмосферада ва ундан ташқарида ишловчи қурилмаларда қўлланиладиган ярим ўтказгич асбоблар доимий равишда қуёшдан келувчи ионлаштирувчи нурланиш таъсири остида бўлади. Бу нурланиш таркибида турлича энергияли ҳар хил заррачалар бўлиб, уларни ярим ўтказгичларига таъсири натижасида яримўтказгич асбобларининг кўпгина характеристикаларини, иш режимларини белгилувчи асосий параметрларини ўзгартириб юборади. Шу сабабли ҳар хил шароитларда ионлаштирувчи нурланишларнинг турлича таркибларини қўллаб, яримўтказгичларнинг ҳар хил хусусиятларини ўрганиш муҳим масала ҳисобланади. Ионлаштирувчи нурланиш (ИН) нинг кристалл ярим ўтказгичларга таъсири яхши ўрганилган.

Ҳозирги замон электроникаси ўзининг истиқболида микроэлектроника, оптоэлектроника каби юпка қатламлар физикасига асосланган соҳалар мажмуасида ривожланмоқда. Ярим ўтказгич юпка қатламлари электрон асбобсозликда кенг қўлланилмоқда. Юпка қатламларнинг фотоэлектрик хусусиятларига ИН ларнинг таъсири кам ўрганилган соҳа ҳисобланади. Қуйида кейинги 15 йил давомида муаллифларнинг шу соҳадаги илмий-текшириш ишларининг натижалари баён қилинади ва бошқа олимларнинг ишларини янги тажрибали натижаларига асосланиб қилинган илмий таҳлиллар берилади.

### **Ренгент нурларининг юпка қатламлар фотоэлектрик хусусиятларга таъсири**

Ренгент нурларини тўлқин узунлиги диапазони  $5 \cdot 10^{-8}$  дан  $10^{-12}$  м гача ораликда ётади. Юлдузлар (Қуёш сингари) Ер атмосферасидан ўта олмайдиган ренгент нурлари сочади. Космик кемалардаги асбоблар бу нурлар таъсирида бўлади.

Теллурид кадмий, сурьма селенидларнинг юпка қатламларига ренгент нурларини таъсири В.Г. Цукерман [53] ўрганган. Бу моддаларнинг юпка қатламлари ренгент нури билан ёритилганда, фотоэлектрик сезгирлиги ошгани маълум бўлади. Бундай юпка



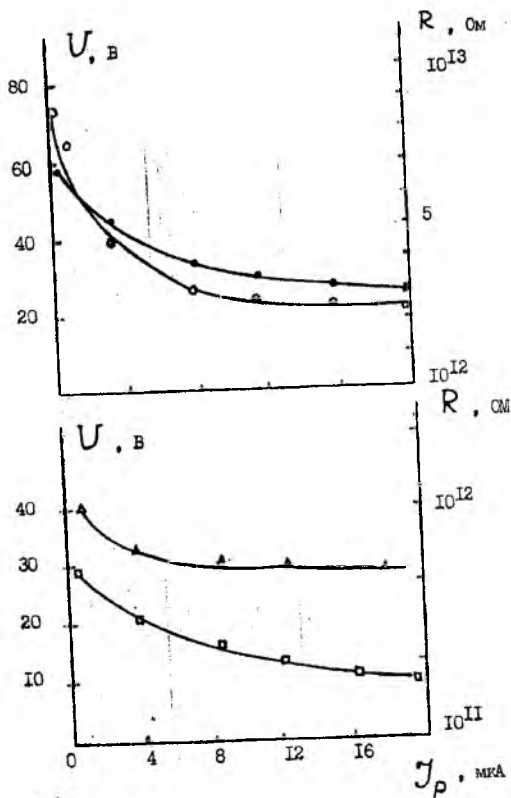
катламларга асосланган детекторларнинг инерционлиги унча юқори эмас. Германий, кремний юпка катламларига рентген нурлари туширилганда АФН-эффект ҳосил бўлмаган, лекин унинг бошқа хусусиятларини ўзгартирган. АФН-катламлар ок ёруғлик билан ёритилиб, шу пайтнинг ўзида рентген нури таъсир эттирилганда фотокучланишнинг камайиши сезилган. Бу камайиш рентген нурининг қаттиклиги ва интенсивлигига боғлиқ холда вужудга келади. АФН-кадамлардаги фотокучланиш ва катламнинг қаршилигига рентген нуриининг таъсири 78-расмда тасвирланган. Расмдан кўринадики, АФН-катлам рентген нури билан ёритилганда интенсивлик ортириш билан (ок ёруғлик ёритилганлиги доимий бўлганда) АФН-қучланиш ва катлам қаршилиги камайиши кузатилади. Аномал юқори қучланишли юпка яримўтказгич катламларининг рентген нури таъсирида қаршиликларининг камайиши улардаги фотокучланишнинг камайишига сабаб бўлади. Чунки аномал юқори фотокучланиш юқори қаршиликли катламларда ҳосил бўлади:

$$V_{\text{АФН}} = f(B, R).$$

Бу формула АФН эффектни вужудга келтирувчи элементар жараёнлар механизими фотодиффузион характерда бўлса ҳам, фотовольтаик характерда кечса ҳам АФН эффект факат юқори қаршиликли катламларда вужудга келишини кўрсатади.

Ёритилганда аномал юқори фото қучланиш берадиган юпка ярим ўтказгич катламларда кузатиладиган ҳодисаларга боғлиқ жараёнлар у ёки бу даражада хал қилинган бўлсада, бу соҳада жавобини кутаётган муаммолар хали жуда кўп. Шу билан бирга ярим ўтказгич юпка катламлари таркибини билишда электронографик ва микроскопик текширишлар билан бир қаторда рентген нурларининг АФН-катламларга таъсирини ўрганишнинг ҳам роли каттадир.

Кучсиз рентген нурлари ҳам АФН-катлам бераётган қучланишни, унинг токини, қаршилиги ва бошқа параметрларини сезиларли даражада ўзгартириб юборади. Бу ўзгаришларни аниқлаш ва уларнинг характерини ўрганиш АФН- физикасидаги кўпгина муаммоларини тушинтириб беришга ёрдам бериши мумкин.



78-расм. Фотокучланиш ва қатлам қаршилигининг рентген нури интенсивлигига боғлиқлиги (иккита намуна учун).

АФН-қатлам қаршилигини рентген нурланиши таъсирида камайиши, АФН-қатламнинг микрокристаллчалар қаторидан иборатлиги билан боғлиқ. Бу кристаллчалар ўзаро алоҳида хусусиятли бўлиб, уларни «контактион» кристаллчаларо қатламлар боғлаб туради. Рентген нурлари юқори частотали нурланишлар қаторига кириб, ( $\sim 10^{19}$  Гц,  $4,1 \cdot 10^4$  эВ) унинг фотонлари ( $h\nu = hc/\lambda$ ) юпка қатламга кириб, унинг кристалчалари хусусиятларини ва улар орасида жойлашган оралик қатлам (контактион) хусусиятларни ўзгартиради. Бунинг натижасида оралик қатлам қаршилиги, шунг деб аталувчи фотоактив қатлам қаршилиги ўзгаради.

Рентген нурларини АФН-қатламларига таъсирини ўрганиш мақсадида аноди мисдан ясалган рентген трубки олинади ( $\lambda = 1,54 \text{ \AA}$ ). Бундай рентген трубки ёрдамида интенсивлиги 0 дан 25 мк А гача, энергияси 25 дан 50 кэВ гача бўлган нурланиш олиш мумкин.

Ренгент нурларини кучсизлантириш учун алюминийдан ясалган пластинкалар ишлатилди. АФН эффект кузатилган ҳамма яримўтказгич юпка қатламларига ( $\text{Ge}$ ,  $\text{Si}$ ,  $\text{CdTe}$ ,  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{GaP}$ ,  $\text{A}^{\text{II}}$ ,  $\text{B}^{\text{VI}}$ ,  $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$  типдаги яримўтказгич бирикмаларидан,  $\text{PbS}$ ,  $\text{PbSe}$ ,  $\text{CdHgTe}$  ва бошқалар) ренгент нурларининг таъсир характери бир-бирига ўхшайди. Ҳамма қатламларда R ва V ларнинг камайиши кузатилади (вакуумда ҳам ҳаводаги ўлчашларда ҳам).

Ўтказилган текширишлар натижаларига асосланиб, кучсиз ренгент нурларини жуда анки қайд қилувчи асбоблар лойиҳасини тавсия қилиш мумкин. Бундай асбоблар ренгент нурларининг интенсивлигини қайд қилиш диапазони, асбобда қўлланиладиган АФН-қатлам турига ва тайёрланиш сифати билан боғлиқ. Масалан,  $\text{Ge}$  материали учун интенсивликни ўлчаш диапазони  $\text{Si}$  никига солиштирилганда кенгрок бўлади.

### Электронлар оқимининг таъсири

АФН-қатламларга электронлар оқимининг таъсирини ўрганиш учун, электронларнинг энергияси 0 дан бошлаб 140 КэВ гача қиймаглари бера оладиган қурилмалардан фойдаланилади. Германий ва кремнийга бағишланган [52] ишларда АФН-қатламларга энергияси 10 кэВ гача бўлган электронлар оқимини таъсири ўрганилди. Бунда электронлар оқими дастасининг зичлиги  $1\text{мкА}/\text{см}^2$  бўлган. Бу оқим қатлам сиртига  $45^\circ$  бурчак остида туширилган (қатламни олиш бурчагига мос). Электронлар оқимининг қатлам хусусиятларига таъсирини ўрганишда ҳар хил геометрик ўлчамли ва қалинлиги  $0,1\div 2$  мкм гача бўлган АФН-қатламлардан фойдаланилди. Текшириш натижаларининг кўрсатишича кремний қатламларига электрон нурланиш дозаси  $\sim 10^4$  мк Кл/см<sup>2</sup> бўлган 2 кэВ энергияли электрон оқим тушганда аномал фотоқучланиш (АФН)  $10\div 20\%$  га камайган. АФН-қатламнинг қаршилиги сезиларли ўзгармаган. Бу қатламлар юқори вакуумда сақланса, вақт ўтиши билан фотоқучланишнинг тикланиши кузатилган.

Германий АФН-қатламларида юқоридаги тажриба такрорланганда фотоқучланишнинг нисбатан кўпроқ камайиши кузатилди. Германий қатламларида ҳам вакуумда сақлаш нағижасида қучланишнинг тикланиши кузатилади. Электронлар дастаси энергияси ортиши билан фотоқучланиш билан бирга қаршилиқ ҳам камаяди. Фотоқучланишнинг камайиш даражаси ортади. Бу қатламларда вакуумда сақлаш билан қучланишнинг тўла тикланиши кузатилмайди. Қатламлар ҳавода жойлаштирилганда қучланишни тикланиши яхшиланиб, дастлабки қийматига яқинлашиши рўй берган. Электронлар таъсирида фотоқучланиш ва қатлам қаршилиқларининг камайишини қатлам кристаллчалари орасидаги оралик оксид қатламчаларининг емирилиши билан тушунтирилса, ҳавода уларни сақлаганда фотоқучланиш ва қаршилиқнинг тикланишини қайта оксид қатлам ҳосил бўлиши билан тушунтирилади.

Генератор типидagi фотоприёмникларнинг (ФП) кўпчилиги учун кичкина энергияли электронлар ( $E \sim 100 \div 200$  эВ) оқими билан қатламлар ёритилганда  $V$  ва  $R$  ларнинг камайиши ва уларнинг вакуумда тикланиши характерли хусусиятдир. Барча биз текширган қатламларда электрон оқимининг дозаси ортиши билан  $V$  ва  $R$  ларнинг дастлабки ҳолатига нурланиш тўхтагандан сўнгги қайтиши сусайган. Электронлар билан нурлантирилган  $CdTe$ ,  $Sb_2Se_3$ ,  $PbS$ ,  $CdHgTe$  қатламлар хавода сакланса  $V$  ва  $R$  ларнинг нурланишгача бўлган қийматларининг тикланиши тезлашган, лекин тўла тикланиши бу қатламларда кузатилмаган.

### Ионлар оқими билан нурлантириш

Генератор типидagi ФП ларни ҳар хил элементларнинг ( $Li^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cs^+$ ,  $Ca^+$ ) ионлари билан нурлантириб, фотозлектрик хусусиятларнинг ўзгариши ўрганилди. ФП ларнинг параметрлари, характеристикаларининг ўзгариш табиати ионлар турига боғлиқ бўлмасдан, асосан нурланишнинг энергияси ҳамда дозасига боғлиқлиги аниқланди. Ионлар таъсирида фотокучланишнинг ва ФП қаршилигининг ўзгариши кузатилди.

Ионлар энергияси 3000 эВ дан кичик бўлган соҳаларда қизик ҳодиса қатламларининг қалин соҳаларида фотокучланишнинг камайиши, нисбатан юнка жойларида фотокучланишнинг ўсиши (ўзгариши) кузатилди. Қаршилик ҳар иккала ҳолда камайган. Ионлар энергиясининг орттирилиши билан қаршилиқнинг кескин камайиши кузатилади (2-3 марта). Бу ҳолда нурланиш дозаси  $D < 50$  мк кул/см<sup>2</sup> бўлган. Нурланиш дозасини катта ( $D > 100$  мк кул/см<sup>2</sup>) қийматларида фотокучланишнинг қатламнинг ҳамма жойларида йўқолиши кузатилиб, нурланиш олингадан сўнг, оддий ёруғлик билан ёритилганда фотокучланиш ва  $R$  ларнинг тикланиши кузатилмаган. Бу ҳол қатлам таркибида структуравий ўзгариш содир бўлганлигидан далолат беради. Аномал режимда ишловчи (АФН) генератор типидagi ФП ларда фотокучланиш қатлам кристаллитларининг маълум геометрик тартиб билан жойлашиш топологияси билан боғлиқ. Қатлам оғир ионлар билан нурлантирилганда ионлар кристалликлар оралиғига кирди ва қатламдаги маълум тартибли жойлашув топологиясини ўзгартириб юборади. Нағижанда аномал юқори фотокучланиш ҳосил бўлмайди. Лекин иормал фотокучланиш пайдо бўлаверади. Ионлар билан нурлантириш натижасида аномал режимда ишловчи генератор типидagi ФП лар (АФН) оддий, ФП режимда ишлайди. Бу ҳолда ФП лар юқори тоқларда ишлаш хусусиятини олади. Маълумки, аномал режимда ишловчи генератор типидagi ФП лар юқори кичкина тоқлар ( $10^{-8}$  А), катта ( $\sim 10$  кВ) кучланишлар билан ишловчи электрон занжирларда қўлланилади. Агар система иш давомида катта тоқли режимда, кам кучланиш билан ишлаш талаб қилинса, унча катта бўлмаган ионлар оқими билан нурлантирилиб уни нормал режимда ишловчи генератор типидagi ФП ларга айлантириш мумкин. Бундай

қурилмалар оптоэлектрон схемаларнинг асосий элементи бўлиб хизмат қилиши шубҳасиздир.

### **Гамма нурланишнинг АФН га таъсири**

Оддий кўринадиган нурлар соҳасидаги ёруғлик билан ёритиладиган генератор типдаги ФП ларда АФН эффект кузатилади (ИК-нурланиш соҳасида ҳам бу эффект кузатиладиган ФП лар бор). Бундай юққа қатлам кўринишидаги ФП ларни оддий ва гамма нурлар билан бир вақтда ёритилиб, оддий нурлар интенсивлиги ўзгаришсиз қолдирилиб, гамма нур интенсивлиги ўзгартирилса, оддий ёруғликка боғлиқ аномал юқори фотокучланишнинг гамма нурлар интенсивлигига пропорционал равишда ўзгариши кузатилади. Бу ҳодиса АФН кузатиладиган ҳамма ФП лар учун характерли бўлиб, умумий қонуниятга эга. АФН кузатиладиган ҳар бир юққа қатлам моддасига боғлиқ равишда фотокучланишнинг ўзгариш кўлами ва пропорционаликнинг кузатилиш соҳаси кенглиги турлича бўлади. Биз ўрганган ҳамма генератор типдаги аномал режимда ишловчи ФП ларнинг кўпчилигида ( $CdTe$ ,  $Sb_2Se_3$ ,  $Ge$ ,  $Si$ ,  $PbS$ ,  $CdHgTe$ ) гамма нурланиш интенсивлигининг ортиши билан аномал фотокучланишнинг пропорционал камайиши кузатилади. Тажрибалар ҳавода, хона температурасида олиб борилган. Ўлчаш шароитида бу қулайлик, АФН-қатламлар асосида яратиладиган гамма нурларини қайд қилувчи қурилмалар лойиҳасини соддалаштиради. Бундай қурилмаларда қуёш радиацияси шароитида автоном энергия манбасига, махсус вакуум совутгич асбобларни қўллашга эҳтиёж йўқ.

Қурилма лойиҳасини мукамаллаштириш ва генератор типдаги ФП ларни олиш технологияси ривожлантириш йўли билан гамма нурларни қайд қилувчи бундай қурилмаларнинг ўлчаш чегарасини кенгайтириш имконияти туғилади.

Бундай гамма нурлар датчикларида аномал режимда ишловчи генератор типдаги ФП ва ионлар оқими таъсирида нормал режимга ўтувчи ФП ларни биргаликда ишлатиб, қурилманинг функционал имконият даражасини кўтариш мумкин.

Шу йўл билан янги типдаги фотоэлектрон ўлчов асбобларининг махсус синфини яратиш учун қулай имконият туғилади.

### **Генератор типдаги оддий ФП (ГТОФП) ларга ионлаштирувчи нурланишларнинг таъсири**

Генератор типдаги ФП ларни шартли равишда оддий ва аномал режимда ишловчи ФП лар группаларига ажратиш мумкин. Аномал режимда ишловчи ГТОФП ларга асосан АФН-қатламлар қиради. Биз юқорида асосан АФН-қатламлар ҳақида фикр юритдик. Энди генератор типдаги оддий ФП ларга қисқача тўхталамиз ва уларга ионлаштирувчи

нурланишларнинг таъсири натижасида фотоэлектрик хусусиятларининг қандай ўзгариши ҳақида маълумот берамиз. ГТОФП ларга ҳамма қуёш элементлари мисол бўлади. Уларда ёруғлик таъсирида ҳосил бўладиган кучланиш ҳар бир яримўтказгич моддасининг тақикланган зонаси кенлигидан катта бўла олмади. Бундай ФП ларнинг «ички» қаршилиги кичик бўлганлиги сабабли қиска туташув токи катта бўлади. ГТАФП ларда эса бу ток «ички» қаршилиқ катта бўлганлиги учун жуда кичик бўлиб ( $\sim 10^{-10}$  А), фақат катта қаршиликли истъмолич билан ишлайди. Уларнинг кучланишигина аҳамиятли бўлиб, ток қийматига эътибор йўқ бўлган электрон схемаларда қўлланилишини юқорида кўрдик. ГТОФП лар эса ёруғлик энергиясини электр энергиясига айлантирувчи энергия манбаси сифатида ишлатилади. Биз лабораторияда кремний асосида ва поликристалл CdTe [54] асосида юпка қатламли гетеро ўтишли қуёш элементлари (ГТОФП) ясаб, уларга ҳар хил ионлаштирувчи нурланишларнинг таъсирини ўргандик. Ҳамла бу ГТОФП ларга вакуум шароитида, ҳавода қиздиришнинг таъсирини текширдик. Бу текшириш натижаларининг қисқача тафсилотини келтираемиз [55].

### Ҳавода ва вакуумда қизитишнинг ГТОФП ларнинг хусусиятларига таъсири

ГТОФП ларнинг қўлгина фотоэлектрик хусусиятлари уларнинг ҳавода, ҳар хил газлар муҳитида ва вакуумда қиздириш билан кескин ўзгариб, параметрлари яхшиланиши, тургун қийматларга эришиб қолиши мумкин. Бунда асосий вазифани поликристалл қатламларни ташкил қилган кристаллчалар занжиридаги оралик соҳалар (контактион) га қиздириш жараёнида кириб қоладиган актив ёт аралашма атомларининг концентрацияси ўйнайди.

Қатламларни ҳавода қиздириш йўли билан атмосферадаги кислород атомларининг ГТОФП ларга таъсири билиб олиш мумкин.

Биз текширган (CdTe, Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>, Ge, PbS, PbSe, Si, CdHgTe ва х.к) ҳамма типдаги ГТОФП ларни ҳавода қиздирилганда уларнинг R<sub>r</sub> (ёритилмаган ҳолатда қаршилиги) қаршилиги ортиши кузатишган. Қиздириш натижасида (100°C да қиздирилган) фотоқучланишнинг кескин қайиши кузатилади. ГТОФП ларни тезкорлигига ҳам қиздириш таъсир қилади. Қиздиришнинг дастлабки дақиқаларида ГТОФП ларнинг тезкорлиги ортади, лекин кейинги дақиқаларда қайиши. Пастроқ (<100°C) температураларда қиздириш юқорида баён қилинган жараёни секинлаштиради.

PbS, PbSe асосида яратилган ГТОФП ларни вакуум шароитида 120°C температурада маълум муддат саклаб, ҳавога чиқарилиб табиий шароитда маълум вақт давомида ушлаб турилса, R<sub>r</sub> нинг қиймати дастлабки қийматидан 4-5 марта ортганлиги кузатилади. Лекин кучланиш ўзининг дастлабки қийматининг 15-20% гачагина тикланади. Юқори

температураларда ( $>120^{\circ}\text{C}$ ) киздириш натижасида катламларда таркибий ва кристаллитларнинг жойлашувидаги топологик ўзгаришлар содир бўлганлиги сабабли кучланишнинг тўла тикланиши кузатилмайди. Текширишда вакуумда буглатиш йўли билан ва химиявий йўл билан ҳар хил технологик услубларни қўллаб олинган кагламлардан фойдаланиб ясалган ГТОФП лардан фойдаланилади. Контакт моддаси сифатида **Жп, Аg, Аи** элементларидан ва баъзи ҳхолларда «аквадак» дан фойдаланилди. Ўлчов қурилмаси сифатида саноат ишлаб чиқарган К.54.410 (№322) типда қурилма билан биргаликда КП-1 (№386) катод қайтаргичдан фойдаланилди. Ҳамма намуналар учун умумий характерда бўлган ўзгариш қонуниятлари жадваллардаги натижалар орқали келтирилган (жадвал 1, 2).

### **Баланд тоғ шароитида УБ-нурланишнинг ФП лар характеристикаларига таъсирини ўрганиш**

УБ-нурланиш таъсирини текшириш учун 70 та намуна ажратиб олинди. Улардан (ҳар бир партиядан иккитадан) маълум қисми солиштириш учун сақланди. Қолган қисми икки ой ҳавода сақлангандан сўнг баланд тоғ шароитида 6 ой текширилди.  $R_f$  қаршилиги  $U_c$ - кучланиши ва  $U_w$ - кучланишлар нурлантирилгунгача ва маълум вақт нурлантирилгандан сўнг ўлчаб олинди. Нурлантириш жараёнлари ҳар хил температурали шароитларда олиб борилди. Паст температурали шароитда нурлантирилган намуналар, юқори температурали ( $15^{\circ}\text{C}$  дан юқори) шароитда УБ-нур билан нурлантирилиб ўлчанганда  $R_f$  қаршилигининг сезиларли камайганлиги кузатилди. Бунга сабаб, нисбатан юқори температурали шароитда сақланганда ФП ларнинг табиий эскириш жараёнлари тезлашади. Чунки, юқори температураларда аралашма атомларининг диффузион жараёнлари тезлашади. Катлам кристаллитлари чегара атмосфера кислороди атомларининг икки томонлама оқими вужудга келиб (катлам сиртидан ичкарига ва кристаллитлар чегарасидаги контактион орқали йўналган оқимлар), катлам параметрларининг ўзгариши асосан бу диффузион оқимларнинг нисбатига боғлиқ бўлади.

УБ-нурланиш атмосфера кислороди атомларининг катламнинг сирт томонидан бўладиган диффузион оқимини орттириб, унинг ролини биринчи қилиб қўяди. Бунинг натижасида кристаллитларнинг чегара соҳаларида сирт ҳолатларининг концентрацияси ортади.

Ўлчаш натижалари жадвал ва графикларда келтирилган. **PbS** катламлари учун атмосферадаги кислород атомларининг таъсири характерлидир. Кислород атомларининг катлам таркибидаги концентрациясининг ортиши ФП нинг асосий параметрларининг ўзгаришига сабаб бўлади. Шу сабабли катламдаги кислород характерлиги концентрациясини назорат қилиш ФП иш режими учун муҳим аҳамиятга эга.

Баланд тоғ шароитида куёш нури билан 40 соат  $PbS$  қатламларини нурлантириш натижасида қаршилиқ ва кучланишнинг ортиши кузатилди.

Бир неча сутка хона температурасида ушлаб турилганда, нурланишдан ҳосил бўлган деффектларнинг турғун – ўзгаришсиз қолиши маълум бўлди. Нурлантиришгача қатламлар кислородга етарли тўйинган бўлса, параметрлардаги нурланиш таъсиридаги ўзгаришлар ҳисобга олмаслик даражасида оз бўлади.

### Генератор тишидаги оддий ФП ларни электронлар, протонлар оқими билан нурлантирилганда бўладиган ўзгаришлар

Қатламларни нурлантириш учун  $4,4 \cdot 10^{16}$ ;  $4,4 \cdot 10^{17}$ ;  $4,4 \cdot 10^{18}$  эл см<sup>-2</sup> дозадаги энергияси 135 кэВ электрон оқими танланади. Протонлар дозаси  $10^{11}$ ,  $10^{12}$ ,  $10^{13}$  р см<sup>-2</sup> энергияси 18 мэВ бўлган оқимлар олинди. Бундай электронлар, протонлар оқими таъсирида қатламларда ҳосил бўладиган деффектлар турғун характерда бўлиб, хона температурасида бир неча сутка сақланганда ҳам йўқолмайди. Интеграл оқимлар мос равишда электронлар ва протонлар учун  $5 \cdot 10^{16}$  эл см<sup>-2</sup> ва  $10^{13}$  р см<sup>-2</sup> бўлган кадмий селен, кадмий теллур ФП ларида намунанинг ( $\rho$ ) қаршилиги нисбий ўзгаришида нурланиш дозасининг ортиши билан тўйиниши кузатилади. Бундан сўнги оқим дозасининг ортиши билан қаршилиқ ортиши тўхтаб, монотон камайиши кузатилади.

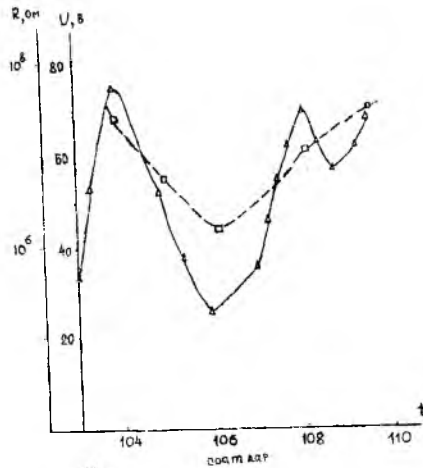
Оқимларнинг қатта дозаларида намуналарида (қатлам, кристалл кўринишда) ҳар хил характердаги деффектлар ҳосил бўлиб, буни ток ташувчиларнинг вақт доимийсининг камайишидан билиб олиш мумкин. Кичик энергияли электронлар билан  $CdSe$ ,  $CdTe$ ,  $Sb_2Se_3$  лар нурлантирилса, унда боғланган ва етарли миқдорда кўп ажралган Френкель жуфтлари ҳосил бўлар экан. Бу жуфтлар эса намунадаги аралашмалар атомлари билан ўзаро таъсирлашиб «бўш жой...атоми» шаклидаги бирикма нуқсонлар ҳосил қилади. Электронлар ва протонлар билан нурлантирилган ГТОФП ларда бўладиган радиацион деффектлар, намуналарда деградиацион жараёнларни тезлаштиради.

Деффект ҳосил бўлиш механизмини ўрганиш мақсадида температуравий боғланишнинг асосий босқичлари учун ўзгармас температурада қиздириб кўрилди, натижада деффект ҳосил бўлиши нурланиш дозасига қизиқли боғланишда эканлиги аниқланади. Қиздириш активлашган энергия  $CdSe$  учун (0,3-0,04) эВ (0,6-0,04) эВ ни ташкил қилиб, нейтрал «бўш жой» нинг «миграцияси» ва «бўш жой» билан аралашманинг бирикмасидан ташкил топган «марказ» нинг активлашмиш энергиясига мос келади.

Бошка намуналар учун текшириш натижалари жадвал ва графикларда ўз аксини топган. Масалан, 79-расмда протонлар оқими



билан нурлантирилган қалин қатламларнинг фотокучланиши ва қаршилигининг вақт ўтиши билан ўзгариш қонуниятини ифodalанган.



79-расм. Протонлар билан нурлантирилган қалин қатламларнинг (ГТФП) фотокучланиши ва қаршилигининг ўзгариши.

1-жадвал

Генератор типдаги ФП ларга ҳавода қиздиришнинг таъсири

Намуна №	Минутлар → Параметрлар ↓	T = 100° C									
		10	20	30	40	45	60	120	180		
1	кОм	20	23	24,5	25		25,5	26	27	29	
	мкВ	16,7	17,4	19,5	19,1		18,8	18,1		12,8	
	мкс	50,5	37,4	44,4	88,8		53,9	69,1		32,5	
2	кОм	42,5	43	43,5	44		45	47	51	56	
	мкВ	5,3	7	5,5	6,2		6,8	7,2	7,4	7,4	
	мкс	59,3	80,8	65,4	74		106	96	48	34	
3	кОм	43	45	46	46,7		47	47	46	46	
	мкВ	7	8,5	6,8	6,2		6,3	7,6	8	7,8	
	мкс				107		55	55	53	47	
T = 50° C											
1	кОм	17	18,5	19,8	20,8		22	23	24,2	25,6	
	мкВ	28,8	26	27,3	27		26,9	26,5	24	22	
	мкс	225	168	197	173		140	143	132	106	
2	кОм	50	51,5	52,8	54		55	56	57,5	58	
	мкВ	40	40	38	35		36	31	28	23	
	мкс	106	101	103	110		91	70	73	63	
3	кОм	17	19	21	22,5		23,8	24,8	28	27	
	мкВ	27	23	21	20		18	20	21	17	
	мкс	95	88	93	90		81	79	63	61	

2-жадвал

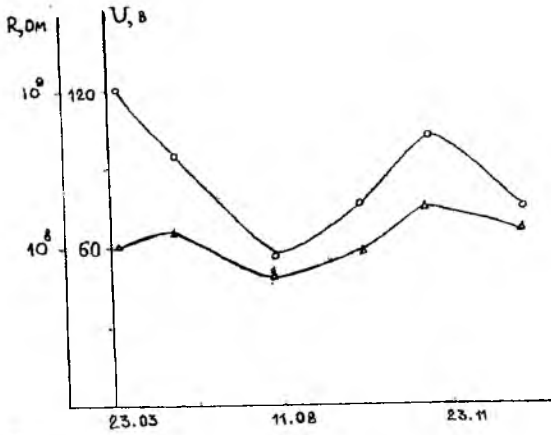
## Генератор типдаги ФП ларга вакуумда киздиришнинг таъсири

Намуна №	Минутлар → Параметрлар ↓		10	20	30	45	60	120	180
<b>T=50°C</b>									
3	кОм		14,5	18	22	24	24	24	26
	мкВ		17	14	14,1	13	15	14	15,5
	мкс		96	88	79	75	94	98	89
1	кОм		27,5	67	77	87	102	130	142
	мкВ		95	108	110	112	110	93	78
	мкс		98	88	86,6	99	87	15	11
2	кОм		58	60	62	63	66	74	80
	мкВ		30	40	17	19	18	15	14
	мкс		109	89,4	100	100	96	82,7	11
<b>T=100°C</b>									
2	кОм		12,8	18	21	22,5	20	27	29
	мкВ		11,6	7,4	8,2	7	6	3,5	3,7
	мкс		126	159	124	138	157	242	245
3	кОм		31	56	95	17	25	28	32
	мкВ		2,6	2,3	2,5	2,7	3	2,8	2
	мкс		115	109	99	96	101	105	133
1	кОм		18	20	21	22	23	24	25
	мкВ		23	11	5,4	3,1	2,3	1,8	1,7
	мкс		116	107	109	134	145		147

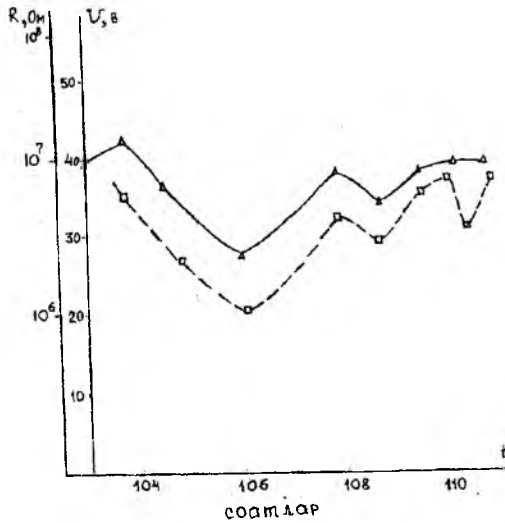
Юқоридаги жадваллардаги (1-жадвал, 2-жадвал) келтирган натижалар PbS материалдан ясалган ГТФП учун ёзилган. Поликристалл қатламлар таркибидаги кислород миқдорини унча катта бўлмаган (~50-70°) температурада вакуумда киздириб камайтириш мумкин.

Генератор типдаги фотопиёмник (ГТФП) ларнинг қўпчилигида (PbS, PbSe, GdTe ва бошқалар) юпка қатлам таркибидаги кислород миқдорини ўзгартириб уларнинг параметрларини ўзгартириш мумкин экан.

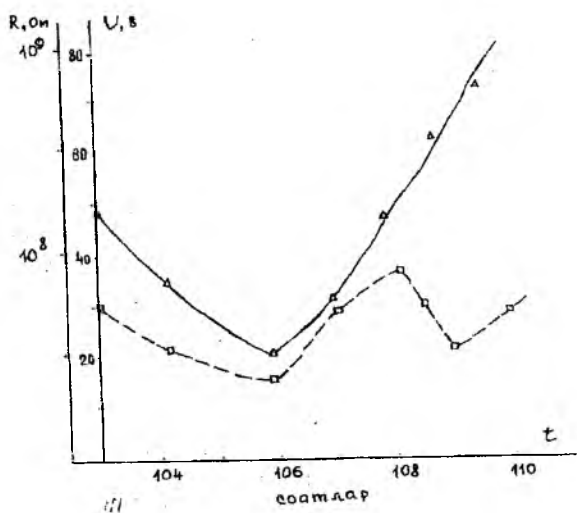
Ультрабинафша нурларнинг ГТФП ларга таъсири натижасида вақт ўтиши билан унинг кучланиши ва қаршилигини ўзгариши куйидаги расмдаги графикларда ифодаланган. Ўлчашлар денгиз сатҳидан 1750 м баландликда олиб борилган.



80-расм. Ўлчанш муддатларига қараб қучланиши ва қаршилиқнинг УФ-нурланиш таъсирида ўзгариши. Ўзгаришлар тўртта ГТФП учун берилди. Улардан биттаси (2) солиштириш учун сақланган ГТФП нинг хона температурасида ўлчанган фотоқучланиши ва қаршилиқларининг юқоридаги муддатларда ўлчанган қийматларидир.



81-расм. Электронлар билан нурлантирилган ГТФП ларнинг фотоқучланиши ва қаршилиқнинг ўзгариши.



82-расм. Протон билан нурлантирилган ГТФН ларнинг фотокучланиши ва каршилигини ўзгартириш.

## 3-жадвал

**Электронлар билан нурлангиритан намуналар учун натижалар**  
 нурл. оқими  $4,4 \cdot 10^{16}$        $4,4 \cdot 10^{17}$        $4,4 \cdot 10^{18}$       назоратдаги намуна (нурлангирилмаган)

Ўлчанган вақт	Партия 11861-V			Партия 11861-VI			Партия 11861-VIII			Партия 11861-2		
	$R_T$ (мОм)	$U_n$ (мкВ) 1200/400	$U_c$ (мкВ) 1200/400	$R_T$ (мОм)	$U_n$ (мкВ) 1200/400	$U_c$ (мкВ) 1200/400	$R_T$ (мОм)	$U_n$ (мкВ) 1200/400	$U_c$ (мкВ) 1200/400	$R_T$ (мОм)	$U_n$ (мкВ) 1200/400	$U_c$ (мкВ) 1200/400
6.04	0,250	3,7/5,3	1010/1370	0,350	3,8/6,0	840/1080	0,220	3,8/5,9	1130/1490	0,340	7,2/8,2	1100/1160
9.07	0,158	3,2/4,9	650/940	0,210	2,8/4,3	550/800	0,135	2,9/4,2	580/865	0,270	3,7/6,6	630/850
11.08	0,300	2,9/4,2	620/880	0,360	2,3/3,5	485/675	0,275	2,6/3,9	510/735	0,181	2,8/4,4	390/580
23.08	0,340	2,7/4,0	639/835	0,410	2,2/3,3	485/665	0,340	2,6/3,9	590/800	0,240	2,3/3,8	330/485
23.09	0,305	3,0/4,5	720/985	0,450	2,2/3,4	630/785	0,320	2,8/4,0	600/845	0,275	2,3/3,9	385/520
10.10	0,3/4,0	3,2/4,3	940/1300	0,440	-	615/869	0,360	2,8/3,9	850/1190	0,300	2,4/4,0	465/640
										0,340	2,7/4,2	605/815

## 4-жадвал

**Электрон оқимининг энергияси 135 кэВ**

Ўлчанган вақт	Нурл. оқим $4,4 \cdot 10^{16}$			Нурл. оқим $4,4 \cdot 10^{17}$			Нурл. оқим $4,4 \cdot 10^{18}$			Назоратдаги намуна		
1,11	0,275	2,9/4,0	650/885				0,31	2,6/3,6	620/840	0,260	2,7/4,9	370/580

Ҳамма намуналар учун оқим энергияси 135 кэВ олинган. Ўлчашлар етти ой давом этиб, шу муддат давомнда етти марта ўлчаниб нурланишнинг вақт ўтиши билан ўз таъсирини сақлаши кузатилган. Бу натижалар назоратдаги намунадан олинган натижалар билан солиштирилган.

Генератор типдаги фотоприёмниклар олинда ишлатиладиган баъзи яримўтказгичларни  
ваккуумдаги буглашнинг асосий шартлари [45,57,58,59]

Ярим ўтказгич модда	Буглатилгич	Буглатилган температура	Таглик материали	Таглик температура °C	Вакуум мм. рт. ст.	Буглатиш тезлиги мк/мин.	Қатлам қалинлиги мк
CdTe	A <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , W	850	Борсилк. шиша	250	10 <sup>-4</sup> -10 <sup>-3</sup>	0,5 -1,2	0,1-1
Sb <sub>2</sub> Se <sub>3</sub>	-	-	-	200	-	1,5	1-10
CdSe	A <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , W	1050	кварц	500	10 <sup>-3</sup> - 10 <sup>-6</sup>	10 <sup>2</sup> -2	0,06-1
CdS	кварц	700	пирекс, кварц	350	2·10 <sup>-3</sup>	0,1-0,7	0,6-1
Si	-	1120	шиша	300	10 <sup>-3</sup>	-	0,1-1
GaAs	-	806	фарфор	200	10 <sup>-3</sup>	-	0,2-0,5
PbS	W, Ta	-	шиша	-	10 <sup>-3</sup>	-	0,2-1
Ge	-	-	-	230	10 <sup>-4</sup>	-	0,5-10

Юпка пардали фотореџимникларга доир баъзи маълумотлар

Элементнинг структураси	Элемент типи	Тайёрлаш технологияси	Майло- ви см <sup>2</sup>	Нурлан иш нитен- сивлиги	$U_{oc}(В)$	$J_{ыз}$ мА/см <sup>2</sup>	$\eta, \%$	Эслат ма
2	3	4	5	6	7	8	9	10
n-GaAs-p-GaAs-p-GaAs	ГМП	ХОПФ	0,51	-	-	-	17	
p-GaAs-n-GaAs	ГМП	ХОПФ	0,5	AM1	0,91	10,3	15,3	
p-GaAlAs-p-GaAs-n-GaAs	ГТС	ХОПМОС	0,29	128	0,99	24,5	12,8	
n-GaAs-n'-GaAs-W (ѐки графит)	БШ	ХОПФ	8	AM1	0,456	10,4	3	
GaAs-M <sub>0</sub>	БШ	ХОПМОС	-	AM1	0,39	19	4,3	
n-GaAs-n'-GaAs-M <sub>0</sub>	БШ	ХОПМОС	-	AM1	0,49	20,6	5,45	
n-GaAs-n'-GaAs-W- графит	МОП	ХОПФ	9	AM1	0,45-0,52	11...13,4	4,4	
n-GaAs-n'-GaAs- графит	МОП	ХОПФ	9	-	0,5	18	6,1	
n-GaAs-n'-GaAs	МОП	ХОПФ	9	-	0,56	22,7	9,5	
GaAs-GaAs (монокристалл)	ГМП	ХОПФ	0,4	-	0,92	22	15	
n-cdS-p-ZnJn <sub>2</sub> Se <sub>2</sub>	ГТП	ВБ	-	AM1	0,27	16	1,5	
Mg-p-Zn <sub>3</sub> P <sub>2</sub>	БШ	ВБ	-	83	0,37	12	2,5	
p-JnP-n-CdS	ГТП	ХОПФ	-	AM2	0,46	13,3	4,9	
p-JnP-n-CdS	ГТП	ХОПФ	-	AM2	0,46	15,4	5,7	
p-JnP-n-CdS-M <sub>0</sub>	ГТП	ВБ	-	-	0,37	18	2	
p-JnP-n-CdS-C	ГТП	ВБ	0,5·10 <sup>-2</sup>	AM1	0,4	-	1,7	
n-JnP-p-Cu,Se-M <sub>0</sub>	ГТП	ХОП-ВБ	-	AM1	0,47	11	1,9	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
CuJnSe <sub>2</sub>	p'-CuJnSe <sub>2</sub> ; Cu-p-CuJnSe <sub>2</sub> -n-CdS-n'-CdS; Jn	ГТП	ВБ	1	101,5	0,396	35	8,72
	p'-CuJnSe <sub>2</sub> ; Cu-p-CuJnSe <sub>2</sub> -n-CdS-n'-CdS; Jn	ГТП	ВБ	1	AM1	0,41	19,9	9,4
	p-CuJnSe <sub>2</sub> -n-JnCdS	ГТП	ВБ	1	AM1	0,42	36,3	5,7
		3	4	5	6	7	8	9
Cu <sub>2</sub> O	Cu-p-Cu <sub>2</sub> O	БШ			78	0,37	7,7	1,6
CdTe	p-CdTe-n-CdTe	ГМП			77,2	0,75	9,8	6
	Металл - CdTe	БШ	ПП	0,034	-	0,36	13,4	2
	p-Cu <sub>2</sub> Te-n-CdTe	ГТП	ГТО	-	-	0,5	-	6
	p-Cu <sub>2</sub> Te-n-CdTe	ГТП	ДИ	-	-	0,6	-	4,1
	p-CdTe-n-CdS	ГТП			50	0,67	14,2	8,2
	n-CdS-p-CdTe	ГТП	ТП	0,21	71	0,73	11,4	6,3
	n-CdS-p-CdTe	ГТП	ГТО	10	71	-	-	10
CdSe	n-CdSe-p-CdTe (монокристалл)	ГТП	ГТО	-	85	0,61	-	-
	n-CdSe-p-ZnTe (монокристалл)	ГТП	ГТО	-	85	0,56	1,89	-
	Au-Sb <sub>2</sub> Se <sub>3</sub> -n-CdSe	МДП	ВБ	-	AM1	0,6	20	>5
Cu <sub>2-x</sub> Se	p-Cu <sub>2-x</sub> Se-n-Si (монокристалл)	ГТП	ВБ	-	75	0,45	23	8,8
	p-Cu <sub>2-x</sub> Se-n-CdS	ГТП	ВБ	-	AM1	0,46	0,45	0,51
	p-Cu <sub>2-x</sub> Se-n-CdS	ГТП	ВБ	-	AM1	0,46	11,6	3,3



Фотопрёмниклар ясаида ишлатиладиган баъзи ярим ўтказгичлар ҳақида маълумотлар

Буглатиладиган материал	Зичлик $\gamma/\text{см}^3$	Қайнаш температураси, $^{\circ}\text{C}$	Эриш температураси, $^{\circ}\text{C}$	Температура, $^{\circ}\text{C}$		Буглатгич материали, усули	Таглик ( $T_a$ ), буглатгич ( $T_b$ ) температураси, юшқа парда, ўтказини тезлиги ( $r$ )
				Буг босими $1,33 \cdot 10^3 \text{ Па}$	Буг босими $1,33 \text{ Па}$		
1	2	3	4	5	6	7	8
Ag	10,5	2212	960,8	832	1027	Mo, Ta	
Al	2,7	2467	660,2	972	1217	Графит	
Au	19,3	2966	1063	1132	1397	W, Mo	
Cr	7,2	2482	1890	1157	1397	W	
Cu	8,9	2595	1083	1027	1257	Mo, Ta	
Fe	7,9	3000	1535	1227	1477	W	
Ge	5,3	2830	937,4	1137	1397	Mo, Ta, W	
Mo	10,2	5560	2610	2027	2527	Ингичка сим буглатилади	
Ni	8,9	2732	1453	1262	1527	$\text{Al}_2\text{O}_3$	
Pb	11,3	1744	327,5	547	715	W, Mo	
Pd	12	2927	1552	1197	1467	$\text{Al}_2\text{O}_3$	
Si	2,2	2355	1410	1337	1639	BeO, C, электрон нур билан буглатилади.	$T_a = 550^{\circ}\text{C}$ $r_b = 20 \text{ мкм/мин}$
Ta	16,6	5425	2996	2587	3057	Ингичка симдан буглатилади, электрон нур билан	
Ti	4,5	3260	1675	1442	1737	W, графит	

1	2	3	4	5	6	7	8
W	1963	5927	3410	2757	3227	Ингичка симлари буғлатилади	
CdS	4.8	сублимация	1750 10 МПа да	920	-	Графит, кварц	$T_m=200...240$ $T_b=900...1100$ $r=1...2$ мкм м буғ таркиби
CdSe	5.8	-	>1350	-	-	Иккита буғлатич (Mo, Ta), (Ta, Mo)	
CdTe	6.2	-	1040	-	-	Иккита буғлатич (Mo, Ta), Mo	$T_m \geq 2500$
Cu <sub>2</sub> O	6.0	-	1235	600	-	Электрон нур билан буғлатилади	
Cu <sub>2</sub> S	-	-	1100	-	-	-	
Cu <sub>2</sub> Se	6.75	-	1113	-	-	Иккита буғлатич, Mo	$T_m=1600$
GaAs	5.3	-	1238	-	-	Иккита буғлатич, дискрет буғлатилади.	
Jn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.2		-	200		BeO	O <sub>2</sub> муҳим $T_m=4200$ $r=0.08$ нм
JnP	4.8	-	1070	730	-	Ta, W	Иккита буғлатич $T_m=2150$
MgF <sub>2</sub>	3.2	2239	1266	1540	-	W, Mo, C	
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	7.5	-	1460	-	-	-	
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	3.44	-	1900	-	-	-	
SiO	2.1	1880	1702	600	-	W, Ta	
SiO <sub>2</sub>	2.7	2230	1610	850	-	-	бўлиниб кет
SnO <sub>x</sub>	0.45	-	1080	-	-	W	бўлиниб кет

1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	8,7	-	1800	1920	-	Ta, W	
<b>TiO<sub>2</sub></b>	4,3	2500-3000	~1830	1000	-	Ta, W, нить	
<b>ZnO</b>	5,6	-	1975	-	-	Ta, W, Mo	
<b>Zn<sub>3</sub>P<sub>2</sub></b>	4,55	1100	>420	-	-	-	T <sub>п</sub> ≥220°C T <sub>б</sub> ≈750°C
<b>ZnS</b>	4,1	сублимация	1850	300	-	Ta, Mo, C	
<b>CuInS<sub>2</sub></b>	-	-	-	-	-	Mo, W, дискрет буглатилади	
<b>CuInSe<sub>2</sub></b>	-	-	-	-	-	Mo, W	Буглатгич: Иккитаси учун: T <sub>п</sub> =225°C T <sub>б</sub> =1150°C (CuInSe <sub>2</sub> ) ~200...450°C r=0,5 нм/с
<b>Zn<sub>x</sub>Cd<sub>1-x</sub>S</b>	-	-	-	-	-	графит, кварц	Иккита камерали битта буглатгич: T <sub>п</sub> =200...250°C T <sub>б</sub> =900...1050°C r=1...2 мкм/мин

Фотоэлектрик генераторлар оптоэлектрон схемаларда фотоприёмниклар сифатида ҳам электр манбаси бўлиб, куёш батареялари сифатида ҳам Ер шароитида ва атмосферадан ташқарида ишлатиладиган ҳар хил қурилма ва космик кемаларда қўлланилади. Ер атмосфераси жуда кўп миқдордаги космик келиб чиқишига эга бўлган заррачаларни ютиб қолади. Шу сабабли Ер шароитида ишлатиладиган фотоэлектрик генераторлар (ФЭГ), космик фазо шароитида ишлайётган ФЭГ ларга нисбатан радиацион таъсири камроқ учрайди. Орбитал станцияларда, йўлдошларда ишлайётган ФЭГ ларни космик нурларни таъсирдан ҳимоя қилиш мақсадида, радиацион таъсирга чидамли яримўтказгичлар танланади. Шу билан бирга радиацион ҳимоя қобиғи билан ФЭГ лар копланеди. Куёшдан келаётган космик нурларнинг қарийиб 97% ни протонлар ташкил қилади, қолган 3% гелий ядроларидан иборат. Зарядланган заррачалар ФЭГ нинг яримўтказгич кристалл панжарасидаги атомлар билан тўқнашиб, уни ионлаштиради. Ионлаштирувчи заррачалар окимининг таъсирида ФЭГ ларда радиацион деффектлар ҳосил бўлиб, деградицион жараёнларни тезлаштириш мумкин. Бунинг ҳисобига ФЭГ ларнинг фойдаланиш муддати кескин қисқаради. Шу каби радиацион таъсирлардан ҳимоя қилиш учун ФЭГ лар махсус ҳимоя қобиғи ФЭГ тайёрланган материал, *p-n* ёки *p-n*-ўгишларнинг характерига қараб танланади. Ҳимоя қобиғи сифатида эпоксид смоласи, кварц, шиша, сапфирлар қўлланиляпти. Иккинчи томондан калин ҳимоя қобиклари ФЭГ ларнинг ўлчамлари ва оғирлигини орттириб юборади. Натижада қўшимча исроф кўпаёди. Бу соҳада ҳам тадқиқотларни кучайтириш керак.

### АФН фотоприёмник кучланиш манбаси сифатида

Генератор типидagi фотоприёмникларнинг жуда кўп турлари бор. Улардан АФН фотоприёмниклар аномал режимда ишлайди. Оддий генератор типидagi фотоприёмникларга ёруғлик тушса, улар ҳосил қиладиган кучланиш АФН-фотоприёмник тайёрланган яримўтказгич металлларнинг ман этилган зонаси кенглиги билан чегараланган ( $V \cong \frac{kT}{q} \ll \Delta E$ ) бўлади. АФН-фотоприёмниклар ёруғлик тушса, улар ҳосил қилган фотокучланиш жуда катта ( $V_{\text{АФН}} \approx 10^3$  В/см) яримўтказгич юпка пардасининг 1 см узунлигида бир печа юз киловольт кучланиш ҳосил қилишини биламиз.

Бу юкори кучланишини манба сифатида ишлатиш мумкин. Лекин АФН-пардаларнинг ички қаршилиги жуда катта ( $\gg 10^{10}$ ), шунинг учун уларнинг қаршилиги катта бўлган электр занжирида ишлатилади. Бундай занжирларнинг ишчи тоқлари ҳисобга олмаслик даражада оз бўлиб ( $J \approx 10^{-10} \div 10^{-14}$  А), қурилмани ишини таъминлашда ток ҳеч қандай рол ўйнамайди. Бундай қурилмаларнинг электрик занжирларини токсиз системалар деб юритилади. «Токсиз системалар» да қурилма иш режимини

фақат кучланишнинг қийматигина белгилайди. Демак, АФН-фотоприёмниклар салт режимда ишлайди. Салт режимга мослашган қурилмаларнинг электр схемасининг юқори кучланишли манбаси сифатида АФН-фотоприёмникларни ишлатиш мумкин. Радиоэлектроника, микроэлектрониканинг кўпгина соҳаларида бундай катта кучланиш манбасига эҳтиёж катта. АФН-фотоприёмник ёритилганда аномал юқори кучланиш ҳосил қиладиган, фотоэлектрик генератор бўлиб, у яримўтказгичларнинг ўта юпка пардаларидан ясалади (~1мкм). Шунинг учун ундан тайёрланадиган юқори вольтли манбалар ҳам ўта ихчам бўлади.

Радиоэлектрониканинг кўпгина соҳаларида электромагнит нурланишнинг частотасини ва вақтни доимий ушлаб туриш (барқарорлигини таъминлаш) мақсадида аммиакли молекуляр генераторлардан фойдаланилади. Молекуляр генераторнинг электр таъминот манбасининг фазовий ўлчамлари ва оғирлиги етарли катта. Манба сифатида аномал юқори кучланиш берадиган АФН-фотоприёмниклардан ясалган кучланиш батареяларидан фойдаланиш мумкин. Молекуляр генераторнинг ишини таъминлаш учун бир неча киловольтли вақт бўйича барқарор турадиган (стабил) кучланиш манбаси керак. Молекуляр генераторларга кучланиш манбаи сифатида АФН-батареялардан фойдаланилса, электр таъминоти блокининг жами оғирлигини 10-100 маротаба камайтириш мумкин.

Яримўтказгичларнинг аномал юқори фотокучланиш бера оладиган юпка пардаларидан ясалган АФН-батареялар кучланиш манбаси сифатида Москвадаги ОКБ МЭИ нинг махсус лабораториясида синовдан ўтказилди. Ҳозирги кунда аммиакли молекуляр квант генераторларида кучланиш манбаси сифатида қўлланилмоқда.

Электрон техника ишлаб чиқариш саноатида, электрон асбоблар ва қурилмалар учун ҳар хил деталлар ва махсулотлар ишлаб чиқарилади. Технологик жараённинг автоматлаштирилган линияларида (системалари) ишлаб чиқариш жараёнининг баъзи этапларини масофадан туриб фақат ёруғлик билан бошқаришга тўғри келади. Чунки, магнит, электр бошқаруви ишлаб чиқариш жараёнига мос келмайди. Бу мақсадда электроадгезион ишғол ва маҳкамловчи, ёруғлик билан масофадан туриб бошқариладиган робот қурилмалари ишлатилади. Электроадгезион ишғол ва маҳкамлашни ёруғлик таъсирида ҳосил бўлувчи катта ўзгармас (тургун) электр ёрдамида бажрилади. Бунинг учун роботга етарли сезгир АФН-пардалар жойлаштирилади. АФН-фотоприёмник ёруғликни қабул қилиб, катта кучланиш (~10<sup>5</sup> В/см) ҳосил қилади. Катта электр майдон адгезион контактдаги ҳар хил қаттиқ сиртларнинг адгезион хусусиятини кучайтириб, ишғол ва маҳкамланиш жараёнини кучайтиради. Бу эса тез ҳаракатга келувчи, автоном характерда, фақат ёруғлик билан масофадан таъминланиб электроадгезион ишғол ва маҳкамлашга асосланиб ишловчи роботлар техникаси учун янги қурилмалар яратиш имкониятини беради.

Ўруғлик тушганда аномал фотокучланиш ҳосил қиладиган яримўтказгичнинг юпка пардаларидан ясаладиган генератор типидagi фотоприёмникларнинг ҳаммаси фақат катта қаршиликли нағрузкада ишлайди. Ҳозирги вақтда электрон қурилмаларда диэлектрик қатламли ҳар хил транзисторлар ишлатилияпти. Масалан, МДП, МНОП, МОП, МНОК-транзисторлари. Бу транзисторларнинг иш режимини таъминлаш учун катта қаршиликли ( $>10^7$  Ом) кучланиш манбалари керак. АФН-фотоприёмниклар диэлектрик қатламга эга бўлган махсус транзисторли электр схемаларда ишлатилганда ўруғлик билан автоном бошқаришни, юқори кучланиш манбаси ролини бир вақтда битта яримўтказгич пардаси бажаради. Унга ўруғлик тушса бўлди. У юқори кучланиш берадиган ички қаршилиги ўта катта бўлган манбага айланади.

### **Графитопласт асосидаги янги қуёш электр сув иситгичлари**

Ипакчилик саноатида жуда кўп микдорда иссиқ сув ишлатилади. Ҳозирги корхоналар асосан иссиқ сувни нефть маҳсулотини ҳисобига олишади. Бу корхоналарга қимматга тушиши аниқ масала. Иссиқ сувни олишда электрдан ва қуёшдан биргаликда фойдаланишининг қатор афзалликлари бор. Бу энергия манбаларидан фойдаланиш билан экологик масала ҳал бўлади, нефть маҳсулотлари иктисод қилинади.

Бу лойиҳани корхонадаги мавжуд сув иситиш системаси асосида яратилади. Шу сабабли қўшимча маблағ кам сарфланади. Лекин электр тоқининг сув иситгичларининг махсус турларини яратиш зарур. Нихром асосидаги тендлар ишлатишда ноқулай ва қимматга тушади. Уларни Пластмасса институтини олимлари билан ҳамкорликда яратилган Графитопласт ПГ-2 дан ясалган электр иситгичлар билан алмаштирилса кўзлаган мақсадга эришиш мумкин. ПГ-2 графитопластлари графит қўшилган фуран смолалари асосида яратилади. Бу ЭИ лар механик таъсирларга чидамли, мутлақо зарарсиз, узок вақт ишлатса бўлади. Ҳеч қандай химоя қобилийсиз, тўғридан-тўғри болтли бирикма билан контакт қилиб ишлатса бўлади. Ишлаб чиқариш талабларидан келиб чиқиб, ҳар хил шаклда яшаш мумкин. Институтимиз олимлари ПГ-2 нинг механик иссиқлик ва электр характеристикаларини ўрганишган. Саноат частотасидаги ва ўзгармас ток манбаларидан таъминланиб, бемалол ишлайди.

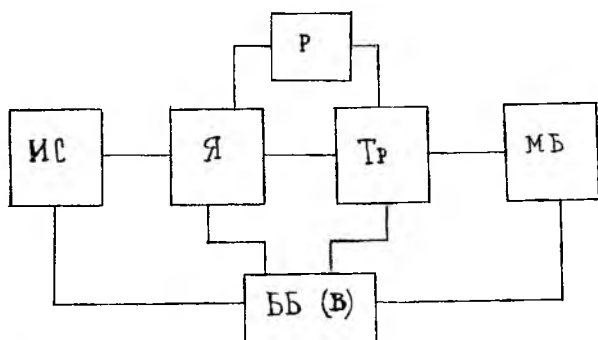
Қуёш сув иситгичларининг кўп турлари мавжуд, уларда тўғридан-тўғри иситиш ва ундан фойдаланишда қуёш энергиясини электр энергиясига айлантирилмайди. Тавсия этилаётган сув иситгич лойиҳасида, асосий энергия манбаси қуёш энергияси ҳисобланиб, у ҳозирги ишлаётган нефть маҳсулотлари, газ иситгичларни тамоман ишлаб чиқаришдан олиб ташламайди. Бироқ улар билан биргаликда ишлатишнинг эффеқтив йўлини назарда тутати. Бу лойиҳа бир пайтнинг ўзида электр тармоғидан

фойдаланиш, қуёш батареяларидан электр токи олиш ҳисобига ҳамда бу системаларнинг ҳозирги ёқилғи, ишлатиш билан сув иситадиган қурилмаларга уланган ҳолда навбатлашиб ишлашини кўзда тутати. Қайси система ишга киришини махсус релелар (иссиқлик, ток ва ёруғликка мослашган) бошқаради. Қуёш батареялари билан биргаллик аккумулятор системасидан фойдаланиш мумкин, улар ортикча электр энергиясини исроф қилмайди, тўплаш имконини бериб, керак бўлганда, ундан фойдаланиш мумкин. Қуёш батареяларидан ЎзФА ФТИ махсус СКБ сида яратилаётган элементлардан фойдаланиш ҳам мумкин. Қуёшли кунларда тўла қуёш энергияси сув иситади. Агар генератор типигади фотоприёмникларда ясалган реле ток етарли эмас деб сув температурасини пасайишини кўрсатса автоматик қурилма электр тармоғидан энергия олишга мосламани улайди. Тармок энергияси таисик пайтларида вақтинча ёқилғи системасини ишлатиш ҳам мумкин. Иссиқ сувни аккумуляция қилиб, ҳам энергиядан иқтисод қилиниши мумкин. Агар бу учталиққа қуёшнинг иссиқлик таъсиридан фойдаланиш системаси ҳам уланса, қуёшли иссиқ кунлари қолган системаларни ишидаги танаффус қўпайтирилиши мумкин. Бу тўрттала энергетик манба ўзаро уйғунлашиб ишлаши натижасида корхоналарда энергиядан анча иқтисод қилиниши аниқ. Бу лойиҳани автоном ҳолда ишлайдиган индивидуал уйлар учун ҳам мослаштириш мумкин. Бунинг учун лойиҳага қўп ўзгартириш киритиш шарт эмас. Лойиҳанинг асосий ядроси ПГ-2 графитопласт элементи бўлиб, бир вақтда электр тармоғига, қуёш элементига ва уларнинг резерв системаси (аккумуляторларга) уланган бўлади. Сув тармок электр токидан иситилса ПГ-2 ядро токни улардан олади. Агар системадаги сув қуёш иситкичига ёки ёқилғи иситкичига уланса энергияни улардан олади. Иссиқ сувнинг ишчи ҳажмда айланиш жараёни ягона бўлиб, уни иситиш ҳар хил манбаларнинг навбатлашиб, уйғун ишлаши асосида амалга ошади. Тўрттала манбанинг навбатлашиб ишлашини тўла автоматлаштириш мумкин. Иссиқ сув ҳароратини нормада ушлаб туриш учун, ҳарорат оптоэлектрон релелари қўйилади. Улар берган маълумотлар асосида компьютер система ишини бошқариши мумкин. Системани компьютерга улаш марказлашган бошқаришни таъминлаб, унинг равон, унумли ишлашига имконият яратади.

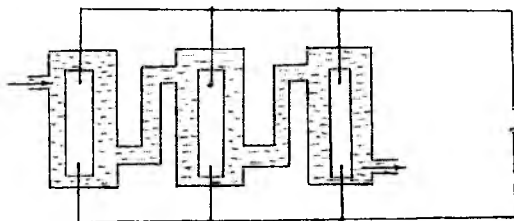
ПГ-2 дан ясалган иситкич катта тоқларга ҳам чидамли. Буни ҳисобга олиб паст кучланишларда ҳам ишлайдиган қилиш мумкин. ПГ-2 элементларининг таркибини ўзгартириб, қаршилигини (солиштирма қаршилигини) маълум чегарада ўзгартириш мумкин. Қуёш батареялари асосан кам кучланиш беради. 5-10 В кучланиш берадиган қуёш элементлари учун ток нормадан ошмаслиги учун 1-3 Ом ли ПГ-2 элементлар тайёрлаш керак бўлади. Бу ҳолда ток тахминан 3-4 А тартибида бўлиб, ўтказкичнинг ортикча қизиқ кетмаслигини таъминлайди. ПГ-2 элементларини параллел ёки кетма-кет улаб ҳам исталган қаршилик олиб, ишлатса бўлади. Текшириш натижалари кўрсатишича, сувда узок турса ҳам ПГ-2 элемент ўзининг электр, механик ва химиявий

хусусиятларини ўзгартирмайди. Юқори температурада қизитилгандан сўнг мўрт бўлиб қолмайди. Силкиниш ва урилишлардан мўрт эмаслиги туфайли «қўрмайди». Тайёр ПГ-2 элементларга бирор шакл бериш керак бўлса, ишлов бериш, тешиш унча кийин эмас. ПГ-2 элемент учун ишлагиладиган махсулотлар тиннархи юқори эмас, бу махсулотларни Ўзбекистон худудидан топиш имконияти бор. Ташиб келтириш муаммосидан холи. Битта ПГ-2 элементи яшаш учун унча кўп махсулот кетмайди. Ўртача  $10 \div 15$  кВт ли элемент яшаш учун 300-400 Г махсулотлар кетади холос. 83-расмда графитопласт асосида яратилган универсал электр сув иситкичларининг блок схемаси берилган. Блок схема асосан уч қисмдан иборат: манбалар блоки (МБ), бошқарув блоки (ББ), истеъмолчилар блоки (ИС). Манбалар блокининг асосий элементи қуёш батереялари бўлиб, у қуёш энергиясини электр энергиясига айлантириб беради. Бу блокда яна ёрдамчи манбалар ҳам бўлади. Ёрдамчи манбалар сифатида биринчи навбатда тармок электр манбалари олинади. Манбалар блокига шамол микроэлектр станциялари, нефть махсулотлари билан ишловчи электр станциячалар ва аккумуляторлар багереялари қиради. Бу манбаларнинг қайси кетма-кетликда ишлашини истеъмолчининг токи, қучланиши, сувнинг ҳарорати ва сарф қилаётган электр қувватини назорат қилувчи бошқарув блоки белгилайди. Бошқарув блокда релелар системаси, ҳар хил трансформаторлар, коммутацион аппаратлар ва бошқа истеъмолчи билан манбаларнинг уйғунлашиб ишлашини таъминловчи керак бўлганда инсталган манбани ишга тушириш учун хизмат қиладиган механик ва электрон системалар бўлади. Истеъмолчилар системасининг асосий ядроси (Я) ПГ-1, ПГ-2 графитопласт элементлари ҳисобланади. Улар сув бемалол кириб чиқиб кетиш йўллари бўлган берк идишга жойлаштирилган бўлади. Ундан чиққан иссиқ сув иситиш системасига ёки керак жойга ишлатиш учун юборилади. ПГ-2 ядродан ортиб қолган энергия эса электр истеъмолчиларига ёки аккумуляторларга уланади. 84-расмда ПГ-2 элементларининг якка холда ёки группалаб ишлатиш схемалари келтирилган. Истеъмолчи талабидан келиб чиқиб ПГ-2 ёки ПГ-1 элементларни кетма-кет, параллел ёки аралаш улаб мўлжалланган қувватдаги ПГ-2 ядросини ҳосил қилинади. Блок схемадаги (ИС, МБ) истеъмолчи ва манбалар системалари орасидаги тўғри ва тескари алоқани (электр алоқа) таъминлаш учун хизмат қилади. Р- релелар системаси, ТР- ҳар хил тиндаги трансформаторлар. В- релелар, алоқа системалари, истеъмолчилар ва манбалар ишини уйғунлаштириш учун хизмат қилади (ЭХМ системаси бўлиши керак). ПГ-1, ПГ-2 элементларининг асосий ядроси 84-расмда тасвирланган.





83-расм. ПГ-2 элементли универсал электр сув иситгичининг блок схемаси.



84-расм. 83-расмдаги блок схеманинг ядроси (Я) тасвири.

ИЛОВАЛАР

Ярим ўтказгичларнинг физикавий параметрлари

Моддалар	$T_s$ К (эриш)	$E_g$ эВ	$u_n$ $m^2/v \cdot c$	$u_p$ $m^2/v \cdot c$
<b>Элементар ярим ўтказгичлар</b>				
$\alpha - S^n$	285	0,08	~0,2	~0,1
C (графит)	4273	<0,1	-	-
Sb	273	~0,12	-	-
P (қора)		~0,33	~0,02	0,035
Te	725	0,35	0,17	0,12
Ce	1231	0,75	0,39	0,19
Si	1688	1,12	0,12	0,05
Se(кристалл)	495	~1,2	-	0,0005
As	573	1,2	0,005	-
In	386,6	~1,3	~0,0025	-
P(қизил)		-1,5	-	-
B	~2573	~1,58	~0,0001	0,0025
P (сарик)	317	-2,1	-	-
Si(аморф)	-	~2,3	-	-
S	386	~2,4	-	-
C (олмос)	-	5,3	0,18	0,12

Мураккаб ярим утказгичлар

Ag <sub>2</sub> Te	1228	0.17	0.4	-
LnSb	796	0.18	8	0.4
HgTe	943	0.2	1.7	-0.01
Mg <sub>2</sub> Sn	1051	0.2	0.03	0.025
Zn <sub>2</sub> As <sub>2</sub>	1288	1.0	-	-
H <sub>2</sub> S	962	1.2	0.01	-
Ga <sub>2</sub> Te <sub>3</sub>	-	1.2	-	-
InP	1323	1.3	0.35	0.07
Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub>	858	0.25	0.06	0.15
HgSe	963	0.3	1.5	-
InAs	1215	0.35	3	0.02
PbSe	1338	0.55	0.15	0.15
PbTe	1190	0.6	0.21	0.08
PbS	1387	0.6	0.064	0.08
CuPb	1383	~0.45	-	-
CdAs <sub>2</sub>	994	0.5	-	-
CuSb <sub>2</sub>	1131	0.5	0.03	-
Cu <sub>2</sub> Sb	-	~0.55	0.05	-
CuBi	-	0.55	-	0.035
CdSb	729	0.55	-	0.035
Sb <sub>2</sub> Zn	819	0.6	0.006	0.01
Mg <sub>2</sub> Ge	1388	0.65	0.05	0.1
CuSb	998	~0.7	0.5	0.007
Mn <sub>2</sub> Si	1375	0.75	0.4	0.008
Mg <sub>2</sub> Sb <sub>2</sub>	1501	~0.8	0.002	-
K <sub>2</sub> Sb	1085	0.8	-	-
K <sub>2</sub> Bi	878	0.9	-	-
Ga <sub>2</sub> Sn	1395	0.9	-	-
As <sub>2</sub> S	1115	~1.0	0.005	-
GaAs	1553	1.35	0.4	0.04
CuTe	1318	1.5	0.45	0.01
AMBb	1333	1.52	0.005	0.015
BiC	2973	1.5	0.006	0.001
Cu <sub>2</sub> O	1505	~1.5	-	0.010
CdSe	1623	1.8	0.06	-
CuSi	1193	1.9	-	-
TeTe	1512	2.2	-	0.010
AlAs	1873	2.2	-	-
P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	~1773	2.2	-	-
CdS	2023	~2.4	0.02	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2323	2.5	-	-
AsI	825	2.8	0.003	-
ZnSe	1513	2.8	0.01	-
AlP	~1773	~3.0	-	-
ZnO	2248	3.2	0.02	-
ZnS	2123	3.7	-	-
CuBr	771	5	~0.03	-
KBr	1004	6.6	0.012	-
KCl	1043	7.6	-	-
NbCl	1073	7.8	0.0025	-

### Баъзи физикавий константалар (СИ системасида)

Электрон заряди, $e$	$1,6 \cdot 10^{-19} \text{ К}$
Электроннинг тинч ҳолатдаги массаси, $m$	$9,108 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Больцман доимийси, $k$	$1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Ж} \cdot \text{град}^{-1}$
Планк доимийси, $h$	$6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot \text{сек}$
Ёругликнинг вакуумда тарқални тезлиги, $c$	$2,99 \cdot 10^8 \text{ м} \cdot \text{сек}^{-1}$
Авогадро сони, $N_0$	$6,025 \cdot 10^{26} \text{ кмоль}^{-1}$
Гравитация доимийси, $g$	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{сек}^{-2}$

### Фойдаланилган адабиётлар

1. Pensak B., Goldstein J. High-Voltage Photovoltaic effekt //J. Appl. Phys. 1959.Vol.30.P.318.
2. Адирович Э.И., Мастов Э.М. и др. Аномально большие фотоэлектрический и фотомагнитный эффекты в полупроводниковых пленках// Фотоэлектрические явления в полупроводниках и оптоэлектроника. Ташкент: ФАН, 1972. стр. 143-220.
3. Иванов Н.К. Технология микросхем. М.: «Высшая школа», 1972, стр. 87-95.
4. Стафеев В.И. Супермногослойные структуры с  $p-n$  переходами// ФТП. 1971. Т.5.№3. стр. 408.
5. Аронов Д.А., Заитова В. Фотомагнитный эффект и фотопроводимость в полупроводниках при высоких уровнях возбуждения. Ташкент: ФАН, 1987. стр.190.
6. Найманбаев Р. Исследование фотоэлектрических свойств АФН пленок теллурида кадмия и трехселенистой сурьмы и разработка на их основе оптоэлектронных приборов. - Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. физ.-мат. наук. Ташкент. 1978. 36 с.
7. Равич Ю.И. Фотомагнитный эффект в полупроводниках и его применение. М.: Советское радио, 1967. 93 с.
8. Куммеров Р.Л. Полупроводниковые преобразователи энергии излучений. М.: ИЛ, 1959. 262 с.
9. Юабов Ю.М., Найманбаев Р. Вольтамперная характеристика АФН пленок теллурида кадмия//ФТП. 1978. Т.12. №10. стр. 1942-1946.
10. Стафеев В.И., Агарев В.Н. Фоточувствительность супермногослойных структур с  $p-n$  переходами// ФТП. 1974. Т. 8. №2. стр. 387-394.
11. Адирович Э.И. Об аномальном эффекте Дембера// Докл. АН СССР. 1963. Т. 150. №4. стр. 1252-1255.
12. Адирович Э.И., Аронов Д.А. и др. Спектры фотомагнитного эффекта в многослойных структурах с  $p-n$  переходами//ФТП. 1974. Т.8. №2 стр.

354-361.

13. Валацка К.К., Тункунайте Р.М., Яситис В.В. Высоковольтный фотогальванический эффект в поликристаллических слоях теллурида кадмия // Литовский физический сборник. 1961. 1. №3-4. стр. 371.
14. Эргашев Ж. Исследование фотоэлектрического состояния без внешнего поляризующего поля в полупроводниковых пленках теллурида кадмия и трехселенистой сурьмы. – Автореф. дис. на соиск. учен. степ. кандидата физ.-мат. наук. Вильнюс, 1985. 34 с.
15. Адирович Э.И. Фотоэлектрическое состояние в полупроводниках с *p-n* переходами // ФТП. 1970, Т.4. №4. стр. 745.
16. Шакиров Н. Кинетика и характеристические времена АФН эффекта полупроводниковых пленках с микро *p-n* переходами. – Автореф. дис. на соиск. учен. степ. кандидата физ.-мат. наук. Ташкент. 1980. 34 с.
17. Грибанов Ю.И. Измерения в высокоомных цепях. М-Л.: Энергия, 1967.
18. Ложников А.П., Сонин Е.К. Каскадные усилители. М-Л.: Энергия, 1964.
19. Киреев П.С. и др. Смещение границы собственного поглощения под действием электрического поля в пленках  $CdTe$  и  $Sb_2Se_3$  // ФТТ. 1965. Т.7. №4. стр. 1271.
20. Адирович Э.И., Шакиров Н. Релаксация аномально больших фотонапряжений в пленках теллурида кадмия // Докл. АН СССР. 1967. Т. 173. №2. стр. 298.
21. Адирович Э.И., Найманбаев Р., Юабов Ю.М. Оптоэлектронный трансформатор напряжения // Докл. АН СССР. 1973. Т.208. №1. стр. 73.
22. Найманбаев Р. и др. Исследование оптической анизотропии в АФН пленках теллурида кадмия // Твердотельная электроника. Наманган: 1994. стр.
23. Адирович Э.И., Мастов Э.М., Юабов Ю.М. Фотомагнитный эффект в АФН пленках теллурида кадмия // Докл. АН СССР. 1969. Т.188. №6. стр. 1254-1258.
24. Аронов Д.А. Расчет спектральной зависимости фотомагнитного эффекта в *p-n* переходе // Изв. АН УзССР. Сер. физ.-мат. наук. 1975. №5. стр. 30-33.
25. Найманбаев Р., Юабов Ю.М. Исследование фотомагнитного эффекта в пленках трехселенистой сурьмы // Изв. АН УзССР. Сер. физ.-мат. наук. 1979. №1. стр. 57.
26. Адирович Э.И., Мастов Э.М., Юабов Ю.М. Гигантский фотомагнитный эффект в полупроводниковых пленках // ФТП. 1971. Т.5. №7. стр. 1415.
27. Адирович Э.И., Гуро Г.М. Характеристические времена электронных процессов в полупроводниках // Докл. АН СССР. 1956. Т. 108. №3. стр. 417.
28. Найманбаев Р., Каримов Ю. Оптоэлектронный метод измерения магнитного поля // Фотоэлектрические явления в полупроводниках. Киев: Наукова думка. 1982. стр. 180.
29. Найманбаев Р. и др. Индикатор угла поляризации падающего света //

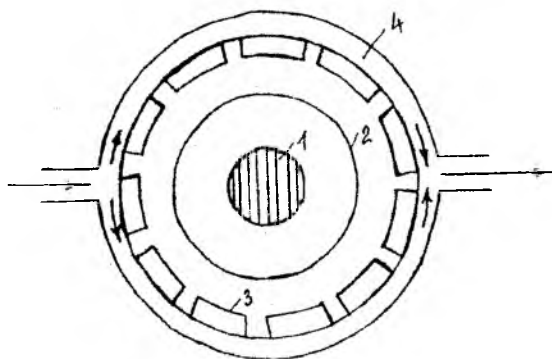
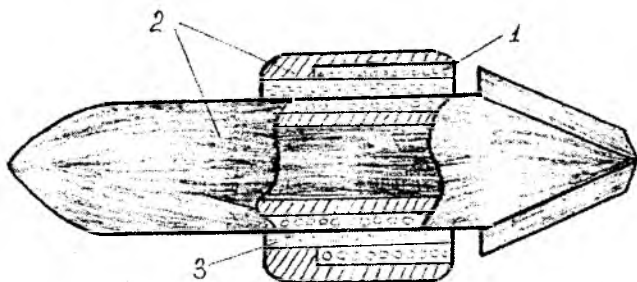
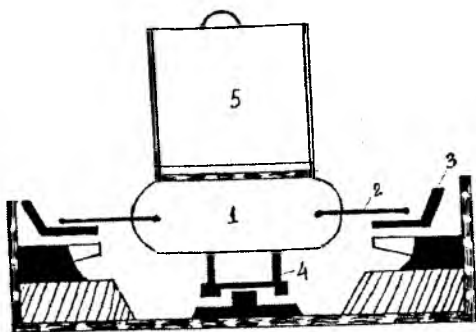
- Оптические и радиовольновые методы и средства неразрушающего контроля качества материалов и изделий. Фергана. 1981. стр. 261.
30. Найманбаев Р., Юлдашев А. Исследование оптической анизотропии в АФН пленках трехселенистой сурьмы// Твердотельная электроника. Наманган. 1994. стр. 40.
  31. Найманбаев Р., Юлдашев А. Оптическая анизотропия в АФН пленках// Тез. докл. респ. науч. техн. конф., Гулистан. 1994. стр. 143.
  32. Найманбаев Р. и др. Фотоприёмники автономного типа и их применения// Электрофизические свойства некоторых полупроводниковых соединений. Ташкент. ФАН. 1989. стр. 8-15.
  33. Найманбаев Р., Маманов О. Применение АФН фотоприёмников в качестве первичных преобразователей информации// Узб. физ.-журн., 1993. №6. стр. 30.
  34. Найманбаев Р., Рахимов Н. Устройства для контроля качественных параметров жидкостей на основе фоточувствительных полупроводниковых датчиков. М.: Внешторгиздат. 1988. Т-4, № 1379 т.
  35. Ландсберг Л.Г. Фотометрия // Оптика. Ташкент. Ўқитувчи. 1081. стр.
  36. Мухитдинов М.М. и др. Устройство для измерения развеса волокнистой ленте// Авт. свид. СССР. 1982. № 934315.
  37. Гильмаи Б.И. и др. Теория накопления заряда в МНОП-структурах// Микроэлектроника. 1973. Т.2. №3. стр.
  38. Гиновкер А.С. и др. Заноминающее устройство на основе МНОП (металл-нитрид-окисел-полупроводник) – структур// Микроэлектроника. 1973. Т.2. №5. стр. 379.
  39. Адирович Э. И., Найманбаев Р. и др. Запоминающее устройство// Авт.свид. СССР. 1976. №546936.
  40. Курдова Л.Е. и др. Проводимость пленок нитрида кремния ( $\text{SiN}_4$ ) в структурах металл-нитрид-кремния-окись кремния (МНОК) и металл-нитрид-кремния-кремний (МНК)// Микроэлектроника. 1974. Т.3. №4. стр. 363.
  41. Апанасевич П.А., Айзенштат В.С. Таблицы распределения энергии и фотонов в спектре равновесного излучения. Минск: АН БССР. 1961.
  42. Найманбаев Р. Некоторые исследования светодиодов серийного выпуска в импульсном режиме// Материалы респ. науч.техн. конф. молодых ученых. Ташкент. Ёш гвардия. 1976. стр.79.
  43. Амброзьяк А. Конструкция и технология полупроводниковых фотоэлектрических приборов. М.: Советское радио. 1970. 392 стр.
  44. Найманбаев Р. и др. Высоковольтный фотовольтаический эффект в поликристаллических слоях ( $\text{Cd}$ ,  $\text{Hd}_{1-x}\text{Te}$ ) КРТ// Изв. АН Уз ССР. Сер. физ.-мат. наук. 1987. №2. стр. 68-71.
  45. Пленочная микроэлектроника. Под. ред. Холенда Л.// Пер. с англ.- М.: Мир. 1968. 366 стр.
  46. Пулатов Р. Разработка и исследование импульсных оптоэлектронных трансформаторов. Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. физ.-мат.

- наук. М. 1975.
47. Вавилов В.С., Ухин Н.А. Радиационные эффекты в полупроводниковых приборах. М.: Атомиздат. 1969. 310 стр.
  48. Физика тонких пленок под.ред. Хасса Г./ Пер. с англ. М.: Мир. 1967. Т. 1. 343 стр.
  49. Физика соединений  $A^{II} B^{IV}$ . Под.ред. Георгобиани А.Н., Шейкмана М.К./ М.: Наука. 1986. 319 стр.
  50. Орешкин П.Т. Физика полупроводников и диэлектриков. М.: Высшая школа. 1977. 447 стр.
  51. Чопра Д.С., Дас С. Тонкопленочные солнечные элементы. Пер. с англ. М.: Мир. 1986. 439 стр.
  52. Абдуллаев Н. Исследование воздействия радиаций на свойства пленок кремния и германия генерирующих высоковольтные фотонапряжения. Автореф. дис. на сонск. учен. степени канд. физ.-мат. наук. Ташкент. 1972.
  53. Цукерман В.Г. и др. Влияние рентгеновского излучения на свойства пленок  $CdTe$  и  $Sb_2Se_3$ . // ПТЭ. 1966. №3. стр. 205.
  54. Найманбаев Р. и др. Пленочный солнечный элемент на основе поликристаллического  $CdTe$ // Использование возобновляемых источников энергии в практике народного хозяйства республики. Фрунзе. 1988.
  55. Найманбаев Р. Фотоприёмники генераторного типа на тонких пленках сернистого свинца. Фергана. УПТ ФерПИ. 1995. 32 стр.
  56. Шур М.С. Эффект ганна. Л.: Энергия. 1971. 78 стр.
  57. Физика тонких пленок. Под. ред. Хасса Г. и Туна Э.Р./ Пер. с англ. М.: Мир. 1972. Т.5. 334 стр.
  58. Физика тонких пленок. Под. ред. Хасса Г. и Туна Э.Р./ Пер. с англ. М.: Мир. 1968. Т.3. 331стр.
  59. Физика тонких пленок. Под. ред. Хасса Г. и Туна Э.Р./ Пер. с англ. М.: Мир. 1970. Т.4. 440 стр.
  60. Мосс Т. Оптические свойства полупроводников./ Пер. с англ. М.: ИЛ. 1961.304 стр.
  61. Васильев А.М., Ландсман А.П. Полупроводниковые фотопреобразования. М. «Советское радио», 1971. 248 стр.
  62. Азизов М.А. Ярим ўтказгичлар физикаси. Т. «Ўқитувчи». 1971. 288 бет.

63. Адирович Э.И. Вестник АН СССР, 1972. 12, 32. Стафеев В.И. ФТП, 1971. Т.5. в. 3, 408.
64. Стафеев В.И. ФТП, 1972. Т.6. в. 11, 2134.
65. Стафеев В.И. ФТП, 1973. Т.7. в. 2, 387.
66. Меньян М.Г. Сверх проводники в современном мире. М.: «Просвещение». 1991.
67. Физика за рубежом. М.: «Мир», 1986.
68. Ирматов. С.Х. и др. Инфракрасные фотоприёмники генераторного типа. XVIII Межд. НТК по электронике и приборам ночного видения, тезисы докл. Москва 2004. с. 124.
69. Найманбаев Р., Ирматов С.Х. Расчет вольт-амперной характеристики неоднородной супермногослойной структуры. НТЖ, ФерПИ, 2004. №2 с. 22-26.
70. Найманбаев Р., Ирматов С.Х. Влияние поляризованного света на фотоэлектрические свойства в ФПГТ. НТЖ, ФерПИ, 2005. №3 с. 170-172.



АЙЛАНУВЧАН ҚИСМЛАРСИЗ ҲАРАКАТЛАНА ОЛАДИГАН  
ФОТОДИВИГАТЕЛЛАРНИНГ ЛОЙИҲАЛАРИ



## Мундарижа

1. Сўз боши.....	5
2. Фотоэлектрик генераторлар ва энергия муаммоси.....	9
3. Фотоприёмникларнинг асосий параметр ва характеристикалари.....	13
4. Вольт-ампер характеристикалари.....	16
5. Импульс ва частота характеристикалари.....	17
6. Фотовольт.....	18
7. Фотоприёмник ёруғлик сезувчи конденсатор сифатида.....	19
8. Фотоприёмникларнинг эффективлигига электрон ва тешик ўтказувчанлик соҳаларидаги ёт элементлар атомларининг тақсимланишини таъсири.....	20
9. Фотоприёмникларнинг физикавий хоссалари.....	24
10. Фотоэлектр юритувчи куч.....	30
11. Ярим ўтказгичли бирикмалар.....	33
12. Аморф моддалар.....	35
13. Дисплей нима?.....	36
14. Суюк кристаллар.....	37
15. Фототранзистор.....	38
16. Фототиристор.....	40
17. Фотодатчиклар.....	41
18. Заряд боғланишли асбоблар.....	43
19. Куёш элементлари.....	44
20. АФН электрон билан танишишни истайсизми?.....	52
21. АФН ясаб олишни истасангиз.....	56
22. Сантиметрда 100000 генератор.....	60
23. Микроскопда аранг кўринадиган кристаллчаниннг катта иши.....	62
24. АФН нинг электр модели.....	64
25. АФН спектрлари хақида.....	67
26. Теллурид кадмийда АФН учуп кадмий жавобгардир.....	70
27. АФН-катламлар совитилса унинг фотокучланиши ортади.....	73
28. Механик кучланишларни АФН кайд килади.....	75
29. АФН фотоэлектрет ҳолатга киради.....	78
30. АФН нинг вақт доимийси нима?.....	80
31. Электр майдони вольт-ампер характеристика ва спектрни ўзгартиради.....	82
32. Оптик усул билан бошқариладиган трансформатор.....	88
33. АФН-эффект магнит майдонини ўлчашга ва ярим ўтказгич юпка катламларининг характеристик параметрларини аниқлашга имкон беради.....	95
34. АФН-юпка пардаларидаги фотошунтларнинг фотоэлектрик генератор характеристикаларига таъсири.....	104
35. АФН ёрдамида ёруғликнинг интенсивлигини баҳолаш мумкин.....	108
36. Кутбланган ёруғликда АФН-катламларда кузатиладиган ҳодисалар.....	110
37. АФН ёрдамида нарсаларнинг геометрик ўлчамлари хақида маълумот олиш мумкин.....	117
38. АФН асосида яратилган хотира элементлари.....	124
39. Суюкликларнинг сифат характеристикаларини аниқлаш.....	129
40. Оптик тасвирнинг потенциал рельефини ҳосил қилиш.....	134
41. Оптоэлектроникада қўлланиладиган АФН ли оптронларнинг имкониятларини баҳолаш.....	138
42. АФН-катламларнинг вольт-ампер характеристикасидаги N-симон узилиш.....	148
43. Ионлаштирувчи нурланишларнинг юпка катламларининг фотоэлектрик хусусиятларига таъсири.....	152

44. Рентген нурларининг юпка қатламлар фотоэлектрик хусусиятларига таъсири.....	152
45. Электронлар окимининг таъсири.....	155
46. Ионлар окими билан нурлантириш.....	156
47. Гамма нурланишининг АФН га таъсири.....	157
48. Генератор тишидаги оддий ФП (ГГОФП) ларга ионлаштирувчи нурланишларнинг таъсири.....	157
49. Ҳавода ва вакуумда кизитишининг ГГОФП ларнинг хусусиятларига таъсири... 158	
50. Баланд тоғ шароитида УВ-нурланишининг ФП лар характеристикаларга таъсирини ўрганиш.....	159
51. Генератор тишидаги оддий ФП ларни электронлар, прогонлар окими билан нурлантирилганда бўладиган ўзгаришлар.....	160
52. АФН фотоприёмник кучланиш манбаси сифатида.....	172
53. Графитопласт асосидаги Янги кўёш электр сув иситкичлари.....	174
54. Иловалар.....	178
55. Фойдаланилган адабиётлар.....	180
56. Мундарижа.....	186

Рахмонали Найманбоев  
Садик Ирматов

ЯРИМ ЎТКАЗГИЧЛИ  
ФОТОПРИЁМНИКЛАР

Монография

---

Теришга берилди 1.08.2011 йил. Босишга рухсат этилди 2.09.2011  
йил. Ўлчови 60x84 1/16. Хажми 12 б.т. Нусхаси 200.

ФарПИ "Тахририят ноширлик" бўлими. Фарғона-712028,  
Фарғона кўчаси, 86-уй. Маъмурий бино.