**№1 Лабораториялық жұмыс**

**СУДА ЖАРЫҚ ЖҰТЫЛУЫН ЗЕРТТЕУ**

*Жұмыстың мақсаты:* Судың жұтылуының спектрін зерттеу.

Құрал - жабдықтар

1. Спектрофотометр СФ-26

1.1 Жарықтың атмосфералық әлсіреуі

Жер атмосферасы арқылы тіркеуіш приборға өту кезінде жұлдыз спектрінде энергияның таралуы бұрмаланады. Жарықтың атмосфералық әлсіреуінің үш негізгі факторы болады. Біріншіден, бұл ауаның бір текті емес тығыздығын шақырушы, яғни оның қарапайым көлемінде молекулалар санының түрлендірмесінің молекулярлық шашырауы. Екіншіден, бұл аэрозольдық бөлшекте шашырау. Мұндай бөлшектерге шаңдардың бөлшектері, мұз бен судың ұсақ тамшылары жатады. Үшіншіден, ауа құралатын газдың молекулаларының ақиқаттылық сіңуі. Спектрдің көрінетін жән жақын ультракүлгін аймақтары озонның О3, оттектің О2 және сутегінің Н2О молекулаларының маңызды мағынасына ие. Өте алыс ультракүлгін және инфрақызыл аймақтар сутегі сіңіруіне өте күшті әсер ете бастайды, сонымен қатар, азот пен көміртектің әртүрлі байланыстарының күшті әсері пайда болады.

Атмосферада жарықтың әлсіреуі едәуір және тұрақты емес. Уақыт өте келе аэрозоль құрамы мен әртүрлі газдар яғни бәрінен бұрын озонның құрамының арақатынасы өзгереді.

Зат арқылы жарықтың өтуі толқынның электромагнитті өрісінің әсерімен атомдар ортасының электрондарының тербелісін тудыруға әкеледі және электрондар тербелісінің қозуына жұмсаоатын толқын энергиясының жоғалуымен шығарып салынады. Жекелеп бұл энергия электрондармен жіберілген екілік толқын ретінде сәулеленуге қайта оралады, сонымен қатар, жекелеп энергияның басқа түріне ауыса алады, мысалы, дененің ішкі энергиясына. Сондықтан зат арқылы өту кезіндегі жарықтың интенсивтілігі азаяды, жарық затта жұтылады. Жер атмосферасында жарықтың жұтылуының негізгі жолақтары 1 – суретте келтірілген.



1 - сурет – Сутегі жұтылуының негізгі жолақтары

Тәжірибенің көрсетуінше, зат арқылы өту кезіндегі жарықтың интенсивтілігі экспоненциальды заң (Ламберт – Бугер заңы) бойынша азаяды:

I = Io\*exp ( - αd). (1)

Мұнда Iо – затқа енуші толқын интенсивтілігі, I – d қалыңдықты зат қабатынан өтуші жарықтың интенсивтілігі, α - жұтылушы заттың қасиетіне байланысты жұтылу коэффициениті.

Жұтылу коэффициентінің сандық мағынасы d қабат қалыңдығына кері пропорционалды.

Жұтылу коэффициенті α түсуші жарықтың толқын ұзындығына байланысты. Атомдар бір біріне әсер етпейтін заттарда жұтылу коэффициенті көптеген толқын ұзындықтары үшін нольге жақын және тек жіңішке спектральды аймақтар үшін жіңішке максимумдар табылады. Бұл максимумдар атомдар ішіндегі электрондар тербелісінің резонансты жиілігіне сәйкес келеді. Көпатомды молекула жағдайында сонымен қатар молекулалар ішіндегі атомдар тебелісіне сәйкес келетін жиіліктер табылады. Бірақ, атом массасы электрон массасынан едәуір үлкен болған сайын бұл молекулярлық жиіліктер атомдықтан бірнеше есе аз. Жоғары қысым кезіндегі газдар, сұйықтар мен қатты денелер жұтылудың кең жолағын береді.

Газдардың қысымының өсуі бойынша максимумдар жарықтың толқын ұзындығынан жұтылу коэффициенттерінің қисық тәуелділіктерінде өте бұлдыр болып келеді және сұйықтықтың спекріне жақындайды. Бұл жарық жұтылуында атомдар немесе молекулалардың бір бірімен өзара әрекетін көрсетеді.

Жарық жұтылуының орнына зат молекулаларына ие болған жағдайда жұтылу коэффициенті жол ұзындығының бірлігіне жұтылушы молекулалар санына пропорционал болады, яғни, *с затының концентрациясына* пропорционал болады: α=*Ас* және жалпыланған Бугер заңы (немесе Бугер – Ламберт – Бер заңы) келесі түрде болады:

I = Io\*exp ( - Асd), (2)

А – концентрацияға тәуелді болмайтын және жұтылушы заттың молекуласына арналған сипаттамалы болатын жаңа коэффициент.

 Заттардың мөлдірлік (немесе мөлдірлік емес) сипаттамасы үшін оптикалық тығыздық D (кейде оны ерітінді экстинкциясы деп атайды) ұғымының өзге жұтылу коэффициентін қолдануға болады. Оптикалық тығыздық жұтылу секілді затта жарықтың шашырауын шақыратын жарық әлсіреуін сипаттайды. Заттың шағылыспайтын қабаттары үшін оптиалық тығыздық

D = lg(Io / I) = Kλd, (3)

Мұндағы Io, I – *d* қалыңдықты заттың қабатына түсетін және соған сәйкес содан өтетін сәулелену интенсивтілігі, *Kλ*- *λ*толқын ұзындығына арналған ортаның жұтылу көрсеткіші, *Kλ* = 2,303*αλ*.

Оптикалық тығыздық зат қабатының τ [τ = (I / Io)\*100%] кері жіберу коэффициентінің көлем логарифмі ретінде анықталуы мүмкін:

D = lg(1/τ). (4)

Оптикалық тығыздықты енгізу есептеу кезінде ыңғайлы болады, себебі, ол бірнеше бірлікке ғана өзгереді, сол кезде *I / Io* мөлшері әртүрлі үлгілер және спектрдің әртүрлі аймағында бірнеше ретке өзгереді.

**1.2 Приборлар құрылғысы және эксперимент методикасы**

Бұл жұмыста өлшеу қатты үлгіде секілді толқын ұзындығына тәуелді сұйық үлгіде де жіберу коэффициентін, оптикалық тығыздығын өлшеуге мүмкіндік беретін спектрофотометр СФ-26 көмегімен орындалады. Жарық көзі ретінде сәулелендірудің үздіксіз спекріне ие, қыздыру лампасы бар жарықтандырғыш қолданылады. Белгілі бір құрамның монохроматтық жарығын алу үшін кейбір диапазондардағы толқын ұзындығын жарықпен бөлетін дифракционды тор қолданылады.

Спектрдің кең диапазонында спектрофотометр жұмысымен қамтамасыз ету үшін екі фотоэлемент және екі тұтас спектрдің сәулелендіру көзі қолданылады. Кварцтік шыныдан тұратын терезелері бар сурьмяно – цезийлік фотоэлемент 186 – ан 650 нм–ге дейінгі спектр аймағында өлшеу үшін қолданылады, қышқылды – цезийлік фотоэлемент – 600 – нан 1100 нм – ге дейінгі спектр аймағында өлшеуге арналған. Бір фотоэлементі бар өлшеуден өзге фотоэлементі бар екінші өлшеуден ауысу кезінде толқын ұзындығы спектрофотометрдің куәлігінде көрсетіледі.

Дейтерилік (дейтериевая) лампа 186 – дан 350 нм – ге дейінгі спектр аймағындағы жұмысқа арналған, балқыту лампасы – 340 – тан 1100 нм – ге дейінгі аймақтағы жұмысқа арналған. Бөліктеуді тексеру үшін ртутты – гелийлі лампа қолданылады. Сигналдар фотоқабылдағыштан күшейткіш кірісіне түседі. В1 ауыстырып – қосқыш (переключатель) көмегімен шкалалар (шкалы) ауыстырып – қосылады және былай жинақталған, ауыстырып – қосу кезінде «х1» жағдайынан «х0.1» жағдайына прибор көрсеткіші 10 ретке өзгереді, ал ауыстырып – қосу кезінде КАЛИБР жағдайынан «х0.01» жағдайына 100 ретке өзгереді.

Жіберу бойынша бір бірінен айырмашылығы аз үлгілерді өлшеу кезіндегі санау нақтылығын жоғарылату үшін спектрофотометрде қалпына келтіруші кернеуді қосу мүмкіндігі қарастырылған. Қалпына келтіру кернеуі В2 ауыстырып – қосқыш көмегімен дискретті түрде жүргізіледі. В1 ауыстырып – қосқыштың «х1» жағдайында өлшегіш прибордың кез келген көрсеткіші қалпына келтіріледі. В1 ауыстырып – қосқыштың КАЛИБР жағдайында шкаланың 1 -- 10 аралығында прибор көрсеткіші қалпына келтіріледі. Өлшеу нәтижесінде Т(%) үлгінің мөлдірлігінде 0.4 – 1.2 мкм дианазонда жіберудің спектральды тәуелділігін аламыз.

**Жұмыстың орындалу тәртібі**

Лабораториялық жұмысты орындаудың алдында оқу лабораториясында қауіпсіздік техникасы бойынша инструкциямен танысу керек.

Жұмысты орындауға кірісе отырып міндетті түрде:

1. Спектрофотометрдің сипаттамасымен танысу.
2. Спектрофотометрдің арнайы ұстағышында сумен кюветті орналастыру.
3. Т(%) үлгінің мөлдірлігінде 0.2 – 1.2 мкм дианазонда өлшеу жүргізу.
4. λ толқын ұзындығынан Т(%) үлгінің мөлдірлігіне тәуелділік графигін тұрғызу...
5. Су жұтылу коэффициентінің спекральды тәуелділігін есептеу және оның графигін тұрғызу.

**Әдебиеттер**

1. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: Учеб.пособ. для вузов. 2-е изд. - М.: Лаборатория Базовых знаний, 2000.- 488с.
2. Итоги науки и техники. Серия Электроника, т.16, Москва, 1984.
3. Раков А.В. “Спектрофотометрия тонкопленочных полупроводниковых структур”, М., “Советское радио”, 1975.
4. Cванбаев Е.А. Диэлектрические параметры адсорбированной воды. Вестник КазНУ, сер. , физическая, 2005 г., №2(20), с 99-101.
5. Cванбаев Е.А. Исследование диэлектрических параметров воды на начальных стадиях формирования фазы. Тез.докл. 4-й международной конф. “Современные достижения физики и фундаментальное физическое образование”, Алматы, 5-7 окт 2005 г., с 78

**№ 2 Лабораториялық жұмыс**

Вакуумды фотоқабылдағыштар

Жұмыстың мақсаты:

Вакуумды фотоқабылдағыштардың сипаттамасын зерттеу.

Қажетті құрал-жабдықтар:

Спектрофотометр СФ-26

2.1 Фотодетектордың классификациясы және техникалық сипаттамалары

Фотоқабылдағыштар оптикалық сигналды электрлік сигналға түрлендіру үшін арналған.Оны кейде фотодетектор деп те атайды,яғни ол оптикалық сигналдың демодуляциясын немесе детектрлеуін туындатады.Фотоқабылдағыш оптикалық сигналдың өңделуінің және демодуляция жүйесінің бірінші және негізгі элементі болып табылады.Барлық фотоқабылдағыштарды жұмыс істеу принципіне қарай екі үлкен бөлімге бөлуге болады:жылулық және фотонды.Фотонды қабылдағыштарды мынадай негізіндегі фотодекторлерге бөлуге болады:

а) сыртқы фотоэффект (фотоэлектронды көбейткіштер және вакуумды фотоэлементтер,электронды-оптическалық түрлендіргіштер);

б) ішкі фотоэффект (фоторезисторлар, фотодиодтар, фототранзисторлар, фототиристорлар және т.б).

Анықталған фотоқабылдағыштың техникалық мүмкіндіктерін анықтау үшін келесідей сипаттамалар қолданылады

1. **Спектралды (монохроматты) сезімталдық-** фотоқабылдағыштың (λ) толқын ұзындығы бар оптикалық сәулеленуге әсер ету мөлшері.Жылулық қабылдағыштар (болометрлер) үшін сезімталдық толқын ұзындығынан тәуелсіз,ал фотонды қабылдағыштар үшін фотоэффекттің пайда болуына жеткіліксіз фотонның энергиясынан Е = *hc* / λ жоғары болатын λ*m* (қызыл шекара) максималды толқын ұзындығы бар болады.Жылулық және фотонды қабылдағыштың спектралды сипаттамасы 1.суретте көрсетілген.

2. **Интегралды сезімталдық *S*** – фотоқабылдағыштың берілген спектралды құрамдағы жарық ағынына Ф әсер ету мөлшері.Идеалды жылулық қабылдағыш үшін S спектрден тәуелсіз болады.Реалды фотоқабылдағыш үшін S өлшемі тіркелетін жарық спектріне тәуелді болады.Көбінесе эталонды жарық ағыны негізінде S-ті анықтау үшін,анықталған температурасы бар абсолютті қара дененің сәулеленуі немесе вольфрамды жіппен қыздырылған эталонды лампаның сәулеленуі қолданылады.Егер қыздырылған жіптің температурасы 2850 К тең болса,онда бұл режимді А режимі деп атауға болады.



1 сурет-Кейбір вакуумды фотокатодтардың фотосезімталдығының спектралды тәуелділігі

Көрінетінаймақтаең аз сезімталдық S1 типті (ГОСТ бойынша С1) катодта болды. Бұл күміс-оттегілі катод болып табылады.Оның екі негізгі ерекшеліктері бар.Біріншіден,бұл фотокөбейткіштерде қолданған тарихи ең алғашқы катодтардың бірі болып табылады.Екіншіден,көрінетін аймақта бұл катодқа қатысты сезімталдық жоғары болмағанымен ,оның спектралдық сезімталдық аймағы λ= 1200 нм-ге дейін жетеді,яғни ол жақын инфрақызыл аймақта жұмыс істейді.

S11(ГОСТ бойынша  С6) типті катоды бар фотокөбейткіш бұл сүрме-күмісті катод болып табылады.λ = 400 нм аймағында S1типті катодпен салысытырғанда,оның кванттық шығысы 20 есеге үлкен болып табылады.λ= 650 нм толқын ұзындығында бұл катодтың сезімталдығы шамамен нөлге дейін түседі. Дәл осы сезімталдықтың басылу нәтижесінде ,спектралды жолақтың ұзынтолқынды шекарасының формасы мен күйі Джонсонда анықталған.S20 типті фотокатод (ГОСТ бойынша С11), мультижарық болып аталады.Оның құрамына беті күміс адсорбталған қабат Sb(Na2K) кіреді.Бұл катодтардың көптеген даусыз артықшылықтары бар және де қазіргі таңда жұлдызды фотометрияда кеңінен қолданылады.Олардың сезімталдықтары ұзынтолқындық жағынан λ= 900 нм-ге дейін созылып жатыр Дәл осы типті катодпен бірге Тянь-Шань обсерваториясында қолданылатын *WBVR* фотометриялық жүйесінің R жолағы құрылған.

Арсенид галийден тұратын катод жұлдызды фотометрия үшін айқын кызықтарын көрсетеді,бірақ жеткіліксіз таралған. Арсенид-галлийлі катодтар мөлдір емес болып келеді,және фоткөбейткіштер фотоэлектрондардың жарық түскен жағымен шығуын ескере отырып құрастырылады.Бұл фотокатодтар қызыл және жақын инфрақызыл аймақтарда жоғары квантты шығысымен ажыратылады.Кейбір арсенид-галлийлі катодтар максимумды спекралды сезімталдықта кванттық шығыс 50% жетеді.

Кез келген фотоқабылдағыштың маңызды сипаттамаларының бірі минималды айырмалы сигнал болып табылады,*Ф*min-жарық ағынының өлшемі,өлшем бірлігі [Вт],және фотоқабылдағыштың шығысында шуға тең болатын сигнал шығарады.Ақ шумның интенсивтілігі күшейткіш тракттің *f*өткізу жолағынан квадраттың түбіріне пропорционал болып келеді,не келесі сипаттаманы енгізеді.Шумның эквивалентті қуаты NEP (Noise Equivalent Power) фотоқабылдағыштың шығысында шумға тең болатын бірлік жолақтағы жиілікті сигнал туындататын жарық ағының өлшемі болып табылады.D анықтайтын мүмкіншілік шумның эквивалентті қуатына кері болып келеді.

Бұл өлшем А қабылдағыштың ауданына тәуелді,себебі шум А-ға пропорционалды болып келеді.Детектерлейтін мүмкіндік D\*,сонымен қатар нормаланған байқалу мүмкіндігі деп те аталады.Бұл айырықша объективті және берілген типті фотодетектордың маңызды сипаттамасы болып табылады,себебі ол күшейткіштің жиілік жолағына және ауданына тәуелсіз болып келеді.

Бұрмалаусыз фотоқабылдағыштың мүмкіншілігіндегі жарық ағынының интенсивтілігінің тез өзгеруі екпінге тәуелді болады.Екпіндік fmах шектік жиілікпен сипатталады,ал фотоқабылдағыштың сезімталдығы берілген рет немесе тұрақты уақытта түседі.

Жылулық фотоқабылдағыштардың жұмыс істеу принципі температураның өзгеруі салдарынан оптикалық сәулеленудің жұтылуына және материал құрамының өзгеруіне негізделген. Әртүрлі эффекттерге негізделген түрлы типті жылулық фотоқабылдағыштар болады.Олардың арасынан кең тарағаны:

а) болометрлер,жұқа металдық,шалаөткізгішті,асқын өткізгішті қабаттардың кедергілерін өзгертеді.

б) термопар немесе термобағана типті термоэлектрлік детекторлер,екі металл контактілерінде термо ЭҚК эффектісі туындағанда қолданылады.

в) пироэлектрлік қабылдағыштар,пироэлектрлік эффектте және Кюри температурасына жақын ферроэлектрлік кристаллдарға негізделген.

г) оптико-акустикалық қабылдағыштар (ОАҚ),кейде пневматикалық ИК-детектор немесе Голея элементтері деп атайды,оптикалық сәулеленудің амплитудасы бойынша модульденген,газды сығуда және периодтық кеңейтуде қолданылады.Екпінді жылулық қабылдағыштар жоғары (> 10 мс) болады,ал сезімталдықсалыстырмалы түрде төмен болады. Сондықтан да бұлар ақпаратты жіберу жүйелерінде қолданбайды.Жылулық қабылдағыштар тұрақты спектралдық сезімталдықты қамтамасыз ету кезінде және ИК-спектр аймағында қолданылады.

Фотондық қабылдағыштар фотон энергиясы kT артқан кезде,спектр аймағында эффективті түрде жұмыс істейді.Жылулық энергия салыстырмалы немесе фотонның энергиясын арттырады,жылулық қоздыру оптикадан қарағанда активті әсер етеді және фотонды қабылдағыштың эффективтілігі күрт төмендейді.Сондықтан фотонды қабылдағыштар λ=3мкм аймақта жұмыс істеу үшін арналған,және суытуды талап етеді.

Жер атмосферасының жоғары шекарасында E(λ) кейбір жұлдыздардың спектрлерінде үлестірілген энергияны иемденеміз.Бұл энергия бірнеше Ti (λ) (i номерлі ) фотометриялық жолақтар аспаптық қисық реакциялары бар аппаратураға (телескоп + фотометр) ықпалын тигізеді.Атмосфераның шекарасынан әрбір i –ші жолақта құрылғы белгі береді

|  |  |
| --- | --- |
| \begin{displaymath} G_i^{\circ} = k_i \int\limits_{\lambda_1}^{\lambda_2}E(\lambda)T'_i (\lambda)\,d\lambda, \end{displaymath} | (1) |

λ1жәнеλ2 - берілген спектралды жолақтың өткізу шекарасы,ал ki- аппаратураның нақты данасына тәуелді пропорционалдық коэффициенті.

# Жұмыстың орындалу реті

1. Спектрофотометр туралы мәліметпен танысу
2. Әртүрлі толқын ұзындықтарында саңылауды реттей отырып, «К» вакуумды фотоқабылдағыштың фотосезімталдығының максимум күйін сол толқын ұзындығында анықтау және саңылауды реттей отырып 100%-ға орнату.
3. 0.4-1.2мкмдиапозонында вакуумды фотоқабылдағыштың фотосезімталдығының спектріне өлшеу жүргізу.
4. Вакуумды фотоқабылдағыштың фотосезімталдығының λ толқын ұзындығынан тәуелділік графигін салу.
5. Т=1840С қыздырылған жіптің температурасын ескере отырып,фотосезімталдықтың нақты спектрін анықтау.

Әдебиеттер

1.Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: Учеб.пособ. для вузов. 2-е изд. - М.: Лаборатория Базовых знаний, 2000.- 488с.

2.Итоги науки и техники. Серия Электроника, т.16, Москва, 1984.

3.Раков А.В. “Спектрофотометрия тонкопленочных полупроводниковых структур”, М., “Советское радио”, 1975.

4.Р.М. Айтмамбетов, Е.А.Cванбаев, Ш.Б.Байганатова, А.С.Калшабеков, Б.Капланбеков, Т.И.Таурбаев. Структура и свойства некоторых функциональных фотопреобразователей и солнечных элементов. Мат. научно-практической конференции «Роль фунда-ментальных общеобразовательных дисциплин и применение информационных технологий при подготовке специалистов в технических ВУЗах», ВИИРС, Алматы, 2004, с. 15-19.

5.Ю. А. Дудников, С.М. Манаков, Е.А.Cванбаев, А.А. Стамкулов, Т.И.Таурбаев, Л.Л. Хренов, Фотопреобразователи на основе аморфного гидрогенизированного кремния. Ж. «Оптико-механическая Промышленность», №12, 1989, стр. 49-51.

**№ 3 Лабораториялық жұмыс**

**ЖАРТЫЛАЙ ӨТКІЗГІШТІ ФОТОРЕЗИСТОРЛАР**

 Жұмыстың мақсаты:

Аморфты кремний негізіндегі жартылай өткізгішті фоторезисторлардың энергетикалық сипаттамаларын зерттеу.

Қажетті құрал-жабдықтар:

1. Тұрақты токтың қорек көзі.
2. Светодиодты тұрақты жарықтандырғыш.
3. Сандық микроамперметр.

**3.1 Фотоқабылдағыштардың түрлері**

Оптикалық электроникада жіберілетін немесе қабылданатын оптикалық ақпаратты екі түрге бөлуге болады: 1) оптикалық сигналдар; 2) оптикалық бейнелер мен суреттер.

Барлық фотоқабылдағыштарды екі топқа бөледі:

1. Ережеге сәйкес, *S* жоғары сезімталдығы, аз жұмыс ауданы бар, D детектрлейтін қасиеті, оптикалық сигналдарды қабылдауға арналған спектрдің тар аймағында аз инерциялығы және дискретті бірэлементті фотоқабылдағыштар. Құрал-жабдықтрдың бұл тобында фоторезисторлар мен фотодиодтар, оның ішінде p-i-n және көптеген фотодиодтар параметрлердің жақсы байланысына ие.
2. Жарықты бейнелерді қабылдайтын фотоқабылдағыштар. Бұл өзі сканерлейтін және жоғары кеңістікті қасиеті, шектеулі спектралды интервалда жақсы сезімталдығы бар көпэлементті фотоқабылдағыштар. Қабылдағыштардың бұл тобында қуатты байланысы бар фотосезімталды құрылғылар жақсы сипаттамаға ие. Көпэлементті фотоқабылдағыштар көп жағдайда ғарышты суретке түсіру кезінде фотопластинаны ауыстыра алады.

Дискретті және көпэлементті фотоқабылдыштар жұмыс істеу принциптері ішкі фотоэффектте қолданылатын жартылай өткізгіштер негізінде жасалады. Жартылай өткізгішті фотоқабылдағыштар аз инерциялы және жоғары тапқыш қасиетке ие. Заманауи құрылғылардың көбісінде бұл шамалардың өзінің теоретикалық шегіне жақын мәндері бар. Сондықтан астрофотометрияда және оптикалық электроникада біз төменде тоқталып өтетін фотонды қабылдағыштар жиі қолданылады.

**3.2 Ішкі фотоэффект.**

Ішкі фотоэффект деп жарық әсеріндегі заттағы бос тасушылардың санын көбейтуді айтады. Ішкі фотоэфффект жартылай өткізгіштерде немесе диэлектриктерде орын алуы мүмкін. Жартылай өткізгішті жұтылатын жарықпен жарықтандырған кезде валенттік зонадан қайсібір электрондар санының үзілуі (идеалды жағдайда үзілген электрондардың саны жұтылған фотондардың санына тең) және олардың өткізгіштік зонасына ауысуы жүреді, ал бұл кезде валенттік зонада соншалық бос орында, яғни тесіктер пайда болады. Жарық әсерінен пайда болған қосымша тасушылар (электрондар немесе тесіктер) фотогенерацияланған тасушылар деп аталады. Артық фотогенерацияланған заряд тасушылары әркелкі «жылулық» тасушыларға қатысты алғанда әркелкі емес. Жарықты өшіргеннен кейін әркелкі емес тасушылар рекомбинация әсерінен жоқ болып кетедіде, қараңғыда тек әркелкі жылулық тасушылар ғана қалады.

Қосымша фотогенерацияланған заряд тасушыларының генерациясы өткізгіштіктің өзгеруіне әкеледі. Жарықтандырған кезде жартылай өткізгіштің өткізгіштігінің өзгеруі фотоөткізгіштік деп аталады.

Жартылай өткізгіштегі әркелкі емес заряд тасушылардың генерациясы бос тасушылардың энергиясы мен қозғалғыштығын өзгертпей, концентрациясын өзгертеді.

* 1. **Жартылай өткізгіштегі жарықтың жұтылуы.**

 Жарықтың жұтылуы тек электрондар бастапқы қалпында болғанда және электрон өте алатын бос энергетикалық жағдайда болғанда жүруі мүмкін. Жарықтың жұтылуы тек hэнергиясымен бөлшектермен (кванттармен) жүреді. Жарықтың жұтылуы кезінде фотон энергиясы электронға беріледі.

 Жарық кванттардың жұтылуы кезінде ауысудың 4 негізгі типі болуы мүмкін:

 1) Жарықтың кристалдың негізгі атомдарымен өзіндік зонааралық жұтылуы әрбір жұтылған фотонға бос электронның және бос кемтіктің құрылуына әкеледі (1-суретте 1-типті ауысу).

F

3

4

EC

EV

 A

1-сурет. Жартылай өткізгіштегі жарық жұтылған кезде электрондардың мүмкін болатын типтері.

Eg

 1

2

2) Өткізгіш зонаға электрондардың босанып шығуы арқылы қоспамен немесе кристалдағы локалды жетілмегендермен жарықтың жұтылуы. Бұл кезде әрбір жұтылған фотонда бос электрон және өзіне сәйкес ортасымен байланысқан қозғалмайтын оң заряд пайда болады

(2-типті ауысу).

3) Валенттік зонадан локальданған күйге электрондарды асырып лақтыру арқылы қоспамен немесе кристалдағы локалды жетілмегендермен жарықтың жұтылуы. Бұл кезде әрбір жұтылған фотонда валенттік зонада бос кемтік және өзіне сәйкес ортасымен байланысқан қозғалмайтын теріс заряд пайда болады (3-типті ауысу).

 4) Төртінші топта көпфотонды ауысулар байланысқан. Бұл жағдайда электрондар валенттік зонадан бір немесе бірнеше локальданған күйдің қатысуы арқылы өткізгіш зонасына өтеді. Мұнда екі немесе одан да көп фотондардың энергиясы жұтылады. Көпфотонды генерацияның жылдамдығы барынша аз және бұндай процестің көрінетін үлесі тек дефектілердің жоғары концентрациясында ғана болуы мүмкін.

Жарықтың жұтылуы экситонды жұтылу кезіндегі және электрондардың дефектіден дефектіге ауысуында бос заряд тасушылардың пайда болуына әкелмейді. Экситонда жұтылу электрлі нейтралды құрылыс болып табылатын байланысқан электрон-кемтік жұбының пайда болуына әкеледі. Бірақ экситон қосымша энергияның жұтылуы нәтижесінде торда қозғалғанда ыдыраса, онда әрбір экситон екі бос заряд тасушыларды: электрон мен кемтіктерді пайда болуына әкеледі. Егер экситон рекомбинацияланса, онда экситонды жұтылу өткізгіштіктің өсуіне әкелмейді.

* 1. **Биполярлы және монополярлы.**

Бір уақытта бос элдектрондар мен кемтіктердің бірдей санын (Δn = Δр) құрайтын генерацияны биполярлы генерация деп атайды. Биполярлы генерация 1-суреттегі 1-типті зонааралық ауысуда ғана орын алады.

Бос тасушылардың тек бір типі ғана (не бос электрондар, не бос кемтіктер) құрылатын генерация монополярлы генерация деп аталады. Монополоярлы генерация тыйым салынған зонада тек дефектті күйлердің қатысуы арқылы ғана жүреді. 1-суретте 2-типті ауысулар тек бос электрондардың құрылуына мүмкіндік береді, ал 3-типті ауысулар тек кемтіктердің генерациясына ғана сәйкес келеді. Тәжірибе жүзінде монополярлы генерацияны тек дефектілердің жоғары концентрациясында ғана байқауға болады.

Жартылай өткізгіштің бос атомдарын (1-типті ауысу) қоздыру үшін фотон hv1 ≥ΔEg энергиясына ие болу керек. Жарық бос заряд тасушыларын құратын максималды толқын ұзындығы (фотоөткізгіштіктің қызыл шекарасы) мына қатынаспен анықталады:

Өзіндік фотоөткізгіштік үшін

λмакс.i*= hc/Eg*. (1)

Тұрақты hс=1,24 эВ/мкм-ге тең. 1эВ 1,24 мкм толқын ұзындығына сәйкес келеді.

Қоспалы фотоөткізгіштік үшін

λмакс.пр *= hc/ΔE пр* , (2)

мұндағы ΔЕпр – қоспалы атомдардың активация энергиясы (1-суреттегі 2 және 3-типті ауысулар).

Жарықпен генерацияланантын электрондар мен кемтіктер бірдей заряд тасушылары болып табылады. Бірдей күйдегі заряд тасушыларының толық концентрациясы бірдей

(по , ро*)*және айнымалы (Δ*n*, Δ*р*) заряд тасушыларының концентрация қосындысына тең:

*n = no + Δn* ; (3)

*p = po + Δp* . (4)

Жартылай өткізгіштің толық өткізгіштігі мынаған тең:

*σ = σr + Δσ = q(n0un + p0up) + q(Δn un + Δp up),* (5)

мұндағы σ***r*** – қараңғы (бірдей) өткізгіштік; un және up – электрондар мен кемтіктердің қозғалысы, Δσ - айнымалы өткізгіштік (фотоөткізгіштік). Онда фотоөткізгіштік үшін былай жазуға болады:

*Δσ = q (Δn un + Δp up).* (6)

Егер электрондар мен кемтіктер фотонның жұтылуы нәтижесінде бос болса, онда олар қандай да бір дефектімен басып алынбайынша бос болады немесе рекомбинацияланады. Тасушылардың басып алыну ортасын екі топқа - жұғу ортасы мен рекомбинация ортасына бөлуге болады:

1) жұғу ортасы, басып алынған тасушы жылулық қоздыру әсерінен қайтадан бос күйге өту мүмкіндігі бар. 2-суретте жұғу ортасы қатысқан ауысулар 1, 1/ и 2, 2/ деп белгіленген.

 2) рекомбинация ортасы тереңірек орналасқан, сондықтан басып алынған тасушы тордың жылулық энергиясы әсерінен делокальданған зонаға қайта орала алмайды және қарсы таңбалы тасушымен рекомбинацияға түсу мүмкіндігі өте жоғары.

 2-суретте электронды басып алу процесі – 3-ауысу, ал кемтіктер – 4. Басып алынған электрондар мен кемтіктердің рекомбинация процесі 3/ и 4/ауысулармен белгіленген. Бос электронның валенттік зонаның кемтігімен өткізгіштік зонасынан тура рекомбинациялануы зонааралық рекомбинация деп аталады және 5-ауысу деп көрсетілген. Зонааралық рекомбинацияда дефектілер қатыспайды. Реалды жартылай өткізгіштерде қоспалы және дефектті деңгейлердің көп санымен тура зонааралық рекомбинация болу мүмкіндігі аз. Жағдайлардың көбісінде рекомбинация 3-типтің басып алу ортасы арқылы болады, 4 – қоспалы ортамен алдымен электрон, сосын кемтік (3, 3/ ауысулар), немесе алдымен кемтік, сосын қоспалы деңгейге өткізгіштік зонадан электрон құлайды (4 және 4/ ауысулар).

1 1/

2 2/

3

4

5

EV

EC

 3/

 4/

2-сурет. Жұғудың электронды-кемтікті деңгейлері арқылы басып алу және рекомбинация процестері.

Тасушылардың рекомбинациясы кезінде генерация кезіндегідей энергияның және импульстің сақталу заңы қаралу керек. Рекомбинация кезінде босатылатын энергия жарық түрінде сәулеленуі (сәулелену рекомбинациясы), фонондар түрінде байқалуы (сәулеленусіз рекомбинация) мүмкін және басқа бос электронға берілуі мүмкін (соққылы рекомбинация).

**3.5 Фоторезистор фототогы.**

Фотоөткізгіштіктің көлемі жағынан бірдей генерацияның жарық интенсивтілігімен байланысын қарастырайық. Жартылай өткізгіштіктің тыйым салынған зонаға hν1≅ΔE тең квант энергиясы бар жарықпен жарықтандыру кезінде жұтылу коэффициенті аз және барлық көлемі бойынша бос электрондар мен кемтіктердің бірқалыпты генерациясы жүреді. Жұтылу коэффициентінің аз мәні былай анықталады:

*αd<< 1*, (7)

мұндағы *α*- жарықтың жұтылу коэффициенті, d – жартылай өткізгіштің қалыңдығы. Жартылай өткізгіштің бетіне нтенсивтілігі I=hN болатын монохроматты жарықты ағын құлайды. Жартылай өткізгіштің бетінен жарықтың шағылу коэффициенті r болса, жартылай өткізгіштікке кіретін ағынның өлшемі:

*I= (1-r)I* . (8)

Егер жарықтың жұтылу коэффициенті α аз болса, онда уақыт бірлігіне кеткен көлем бірлігінде жұтылған жарық кванттарының саны:

*N = a I/hv .* (9)

Фотогенерацияның эфективтілігін фотогенерацияланған тасушылардың санының Δn жұтылған жарық кванттарының санына қатысты тең болатын ішкі кванттық шығысымен сипаттайды:

 (10)

Ішкі кванттық шығыс фотоактивті жұтылулар үшін бірлікке тең немесе фотоактивті емес жұтылулар үшін нөлге тең мәнді қабылдауы мүмкін. Бірақ тәжірибе жүзінде өлшенетін *β*шамасы бірлік шамадан қаншалықты аз болса, соншалықты үлкен болуы мүмкін. Кванттық шығыстың бірлік шамадан кіші мәні жарықтың фотоактивті емес жұтылуы арқылы түсіндіріледі (экситондармен, бос электрондармен және т.б.). Квантық шығыстың бірлік шамадан үлкен мәні кванттың үлкен энергиясымен сәулелендіру арқылы жартылай өткізгішті сәулелендіру кезінде электрон соққылы ионизацияның бір немесе бірнеше актілеріне жеткілікті кинетикалық энергияны алады.

Заряд тасушылардың зонааралық генерациясының жылдамдығы фотоионизацияның кванттық шығысына тәуелді:

*Δn = (1-r) βα N = βn αN;* (11)

*Δp= (1-r) βα N = βрα N*, (12)

 мұндағы βn = (1-r)β -электрондардың сыртқы кванттық шығысы,βр = (1-r)β-жарықтық ағынға құлауға есептелген кемтіктердің сыртқы кванттықшығысы. Егер фотоөтізгіштік локальданған күйлердің жұтылуымен шартталған болса, онда - βn және βp шамаларының бірі нөлге тең болады. Өзіндік фотоөткізгіштік (фундаментті жұтылу аймағы) үшін βn = βp жәнеΔn= Δp болады.

 Тек генерация процестері ғана болғанда, айнымалы тасушылардың концентрациясы уақыт *t* өте сызықты заң бойынша көбейетін еді:

*Δn = Δp = βnαNt.* (13)

Негізінде рекомбинацияға кері процесс бар. Рекомбинацияның жылдамдығы тасушылардың генерациясының жылдамдығына жеткен кезде фототасушылардың айнымалы концентрациясының стационарлық күйі орындалады. Сызықты және квадратты рекомбинацияның қарапайым екі жеке жағдайларында фотоөткізгіштік айнымалы электрондардың концентрациясының қатынасына бағынады:

Δnст = τтβαN, (14)

және фотоөткізгіштіктікі

 (15)

τn шамасын бұл жағдайда фотоөткізгіштіктің релаксациясының уақыт тұрақтысы деп атайды. Егер жартылай өткізгіштің жарықтануын тоқтатсақ, онда айнымалы тасушылардың концентрациясы рекомбинация әсерінен кішірейе бастайды:

 (16)

Бастапқы шарттарды (t = 0, Δn = Δnст кезінде) ескере отырып, (17) теңдеуді шешсек:

* айнымалы электрондардың концентрациясы үшін:

 (17)

* фотоөткізгіштік үшін:

 (18)

Айнымалы тасушылардың концентрацияының өсу және құлау қисықтарын релаксация қисықтары деп атайды (3-сурет).

Сызықты рекомбинация жағдайында жарықты жылдам өшірген кезде заряд тасушылардың айнымалы концентрациясының және фотоөткізгіштіктің релаксациясы экспоненциалды заң бойынша жүреді. Бұл релаксация қисықтарын зерттеу бойынша τ = τn = τp шамасын анықтауға мүмкіндік береді. Бастапқы өсу (құлау) қисықтарына жанамасы фотоөткізгіштіктің стационарлы мәнінің сызығымен (абсцисса өсі) t = 0 нүктесінде қиылысады. Фотоөткізгіштіктің Δσ және фототоктың Iф жарықтың интенсивтілігінен тәуелділігі рекомбинация типімен анықталады:

*~ N, ~ N* (19)

n(t)

nст

0   0  t

3-сурет. фотоөткізгішктің өсу және құлау қисықтары.

Егер рекомбинация квадратты болса, онда фотоөткізгіштік және фототок жарық интенсивтілігінен квадратты түбірге пропорционал:

~~  (20)

Сызықты және квадратты рекомбинацияның түрін фототоктың жарық интенсивтілігінен әртүрлі координаталарды тәуелділігін құра отырып графикалық түрде анықтауға болады (4-сурет).

Iф

мкА

10

5

 0 100 200 Е, лк. 0 10 20 (Е, лк.)1/2

4-сурет. сызықты және квадратты рекомбинация кезіндегі фоторезистордың люкс-амперлік сипаттамасы.

Iф

мкА

10

5

~ N****, (21)

Фотоөткізгіштіктің жарық интенсивтілігіне N қатынасы жартылай өткізгіштікті заттың фотосезімталдығы деп аталады:

 (22)

Жұмыс істеу принципі фоторезистивті эффекттің (фотоөткізгіштіктің) қолданылуына негізделген фотоэлектрлік жартылай өткізгіштікті құрылғы фотокедергі немесе фоторезистор деп аталады.

**3.6 Құрылғының суреттемесі**

Фоторезисторды электрлі тізбекке қорек көзімен тізбектей отырып қосады. Қараңғыда одан қараңғы ток I*Т* ағатын болады, оның бетін жарықтандырған кезде тізбекте жарықтық ток IC ағатын болады. Жарықтық және қараңғы ток арасындағы айырым фототокты көрсетеді.

**В7 - 27**

Б5 - 30

5-сурет. спектральды және люкс-амперлі сипаттамалырды өлшеуге арналған құрылғаның блок-схемасы.

Жарықтандыруды құру үшін фотоөткізгіштіктің зерттеу кезінде қызыл, жасыл, көк және ИК светодиодтар қолданылған. Светодиодқа қорек көзі Б5-30 қорек көзінен берілген. Светодиод арқылы ток күшінің өзгеруі жарықтандыру интенсивтілігін өзгертеді.

ИК светодиодтар (АЛ-123) үшін сәулелену спектрінің максимумы 0,94 мкм-ге (1,3 эВ) тең, спектральды сипаттаманың ені 0,5 деңгейінде 0,05 мкм-ге тең. Қызыл светодиодта (АЛ-316) сәулелену спектрінің максимумы 0,67 мкм-ге (1,85 эВ) тең, ал спектральды сипаттаманың ені 0,5 деңгейінде 0,05 мкм-ге тең. Жасышл светодиод (КИПД-02В) үшін сәулелену спектрінің максимумы 0,56 мкм-ге (2,12 Эв) тең, ал спектральды сипаттаманың ені 0,5 деңгейде 0,05 мкм-ге тең. Светодиодтардың сәулеленулерінің спектральды қисықтары 6-суретте көрсетілген.

0,4 0,6 0,8 1,0 , мkm

6-сурет. Светодиодтың сәулеленуінің спектральды қисықтары.

**Жұмыс тапсырмасы**

 1. Әртүрлі светодиодтарды құра отырып және светодиод арқылы ток күшін өзгерте отырып фоторезистор тогының светодиод арқылы өтетін токтан тәуелділігін алу.

 2. Сызықты және квадратты масштабта зерттелетін фоторезистор үшін *Iф=f(I)* тәуелділігін құру және рекомбинация түрін анықтау.

**Бақылау сұрақтары:**

1. Қандай заряд тасушыларды айнымалы деп атайды?
2. Жарық кванттарының жұтылуы және рекомбинация кезінде электрондардың қандай ауысулары мүмкін?
3. Өзіндік және қоспалы жартылай өткізгіштіктің фотоөткізгіштігінің қызыл шекарасы қалай анықталады?
4. «Кванттық шығыс» түсінігінің физикалық мағынасы қандай?

5. Сызықты және квадратты рекомбинация кезінде жарық интенсивтілігінен стационарлы фотоөткізгіштік қалай тәуелді?

**Әдебиеттер**

1. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: Учеб.пособ. для вузов: - 2-е изд. - М.: Лаборатория Базовых знаний, 2000.- 488с.
2. C.Зи. Физика полупроводниковых приборов. Изд. “Наука”, 1984г, 364 с.
3. Шалимова К. И.Физика полупроводников. М., Энергоатомиздат, 1985, 392 с.
4. Р.М. Айтмамбетов, Е.А.Cванбаев, Ш.Б.Байганатова, А.С.Калшабеков, Б.Капланбеков, Т.И.Таурбаев. Структура и свойства некоторых функциональных фотопреобразователей и солнечных элементов. Мат. научно-практической конференции «Роль фундаментальных общеобразовательных дисциплин и при-менение информационных технологий при подготовке специалистов в технических ВУЗах», ВИИРС, Алматы, 2004, с. 15-19.
5. Ю. А. Дудников, С.М. Манаков, Е.А.Cванбаев, А.А. Стамкулов, Т.И.Таурбаев, Л.Л. Хренов, Фотопреобразователи на основе аморфного гидрогенизированного кремния. Ж. «Оптико-механическая Промышленность», №12, 1989, стр. 49-51.

# № 5 Лабораториялық жұмыс

# ФОТОДИОДты зерттеу

*Жұмыстың мақсаты:* Жарықтандырудың түрлі деңгейлерінде фотодиодтардың (ФД) сипаттамасын зерттеу.

Приборлар мен керекті заттар:

1 Микроамперметр.

2 Вольтметр.

3 Жарық көзі.

5.1 Фотодиодтар теориясы

Фотодиодтар деп – шалөткізгішті контактты өткелдегі фотовольттық эффект құбылысына негізделген және ішкі кернеу приложениясымен, сонымен қатар приложениясыз жұмыс істеуге арналған приборды айтамыз.

Фотовольттық эффект деп – өзінің ішкі кернеуі жоқ болған кезде де, зарядтың тепе-теңсіз тасушыларының оптикалық генерациясы кеңістікте бірыңғай емес шалаөткізгіштің көлемі бойынша тарайтын, онымен қоса кеңістікте бөлінген көлемді зарядты және фото ЭҚК (VF) деп аталатын сәулеленген нұсқа учасклерінің арасындадың потенциалдар айырымын көрсететін, фототасығыш қозғалысы үшін бірыңгай емес қасиеттері бар шалаөткізгіштегі ішкі фотоэффект формасын атайды.

Егер осы учаскелерді өткізгішпен жалғаса, онда шалаөткізгішті іщкі тізбек арқылы сәулелендіргенде көлемді зарядтарды кішіритуге бағытталған электрлік тоқ – фототок пайда болады (Jf).

Мысалы, фотовольттық эффектке қатысты:

 - диффизионды фотоэффект,

- фотомагниттіэлектрлік эффект,

- шалаөткізгішті p – n өткелдегіфотовольттық эффект

Фотовольттық эффекттің фототасығыштарының бөлінуі ішкі электростатикалық өрісінің есебінен болатын соңғы түрі кең таралған. Ішкі электростатикалық өріс шалаөткізгішпен өткізгіштің әр түрлі типінің (p-n өткел) контактісі немесе шалаөткізгіштің металлмен контактісі облысындағы шалаөткізгіштің көлемінде үлгіленеді.

Қазіргі кезде фотодиодтарды жасаған кезде басқасынан қарағанда p-n өткелі жиі қолданылады , сондықтан осындай фотодиодтардың жұмысын қарастырамыз.

Фотодиодтар ішінде электронды (n-облыс) және кемтікті (р-облыс) өткізгішті облыстары бар шалаөткізгішті материал пластинканы көрсетеді. Бұл облыстар арасындағы шекараны p-n өткел контактісі деп аталады (1-сурет). Электронды және кемтікті облыстар өздерінің көмегімен ішкі тізбекпен байланыс орнатыла алатын және оларға жалғанған шығыстары бар түзетпейтін контакттармен жабдықталған. Фотодиодтың сезімтал қабатын ішкі отрадан алдын ала қорғау мақсатында ол лакпен немесе пластмассадан немесе метталдан жасалған герметикалық корпуспен қапталады.



 1-сурет - Фотодиодтыңпринципиалды схемасы

Орташа температура кезінде қоспа шалақткізгіш мыналардан тұрады:

- Қоспа атомдарының термикалық қоздыру және меншікті шалаөткізгіш атомдарының мейлінше аз санымен жасалғанған негізгі тасушыладың қозғалмалы зарядтары;

- Меншікті шалаөткізгіштің термикалық қоздырылуы арқылы жасалған негізгі емес тасушылардың қозғалмалы заряды;

- Қоспа индарының қозғалмайтын зарядтыры.

Егер шалаөткізгіштің ішіндегі әртүрлі өткізгішті екі облыс шекаралас болса, онда негізгі тасушы токтардың диффузиясы туындайды: электрондардың диффузионды тоқтары *n* – областан *p* – обласқа (*Inn* тогы) және кемтітердің диффузионды тоқтары *p* – областан *n* – обласқа (*Ipp* тогы) өтеді. Контактілер жанындағы облыстар негізгі тасушылармен бірігеді. Бұл шекара жанында иондалған қоспа атомдарының қозғалмайтын зарядтарымен жасалған көлемді зарядтардың пайда болуына алып келеді ( 2-сурет).



 2 –сурет p-n өткелінің формалануы

Көлемді зарядтардың арасындағы арақашықтықтарының өлшемдеріне байланысты негізгі тасушылардың диффузиясына кері әсер ететін электр өрісі өседі ( негізгі тасушыладың қозғалысына потенциалды барьер пайда болады және негізгі тасушылардың диффузион то азаяды). Бұр өрістің потенциалдар айырымын *Vk* паотенциалдардың контактілі айырымы деп атайды, оның белгісі контакті жанындағы облыстарының токтың негізгі тасушыларымен бірігуіне сәйкес келеді. Тек энергиясы потенциалдық энергиядан көп болатын негізгі тасушылар ғана потенциалды барьерлердің алдын алады (*Ek=eVk*, *e* – электрон энергиясы).

Негізгі тасушылардың дифузионды тогымен қатар контактілі электр өрісі жылдамдатылған болғандықтан оған қарама қарсы негізгі емес тасушылардың дрейфтік тогы пайда болады. Кемтіктер *n* – областан р-облықа (*Ipn* тогы) өтеді, ал электрондар р-облыстан n-облысқа өтеді (*Inp* тогы) өтеді. Потенциалдар контактілі айырымы p-n өткелінен өткен негізгі және негізгі емес тасушыладың ағыны динамикалық тепе-теңдікке жеткенше өсе береді:

 (1)

Ішкі тізбекте ток болмаған кезде:

 (2)

*VD* әшкә кернеуі кезінде потенциалды барьер *eVD* шамасына өзгереді. Сонымен қатар, *p-n* өткеліндеғі негізгі емес тасушылардың ағыны мағынасыз өзгереді, ал негізгі тасушылардың тогы *VD*  шамасына тәуелді: тікелей қосылу кезінде (р-облысы оң, n-облысы теріс) Потенциалдардың контактілі айырымы азаяды және негізгі тасушылардың тогы *VD* шамасының өсуіне байланысты өсе бастайды. Кері қосылуда потенциалдардың контактілі айырымы көбиеді және негізгі тасушылардың тогы тоқтатылады. Жарықтандырылмаған *p-n* өткелдің ВАС 3-суретте көрсетілген ( қисық *Ф*=0), онда оң ретінде: диодтағы кернеу және диодтың кері тогы қабылданған.

Облыстардың бірін тиым салынған зонаны кеңейтетін Еф кваннтық энергиясымен сәулелендіргенде (*ΔE*) – *EФ*>*ΔE* осы облыста шалаөткізгіш көлемінде токтың тепе теңсіз тасушылары- фотоэлектрондар мен фотокемтіктер генерацияланады (меншікті шалаөткізгіштегі ішкі фотоэффект). Шалаөткізгіш көлемінде дифференциалдаушы фототасығыштар *p-n* өткел облысына жеткен кезде, контактілі элктр өрісінде жұптардың кеңістікте таралуы болады: негізгі фототасушылар өздері пайда болған облыстың көлемінде қалады; негізгі емес фототасушылар контактілі өріс олар үшін жылдамдатқыш болғандықтан еркін түрде *p-n* өткелінен өтеді*.* Осылайша,негізгі емес фототасушылар *p-n* өткелінің ішінде *IF* фототок деп аталатын қосымша тоқ тудырады.



3-сурет -*p-n*өткелінің Вольт-амперлік сипаттамасы

Ішкі тізбек жабық болған кезде фототасушылар жиналып қалады: негізгілері өздері пайда болған облыста, негізгі емес басқа облыста.Бұл фототасушылар көлемді заряд пен фото ЭҚК тудырады. Фото ЭҚК өрістігі потенциалдардың контактілі айырмына кері, негізгі тасушы облыстарының көбеюіне және *p-n* өткелге тікелей бағытталған кернеу белгісіне сәйкес келеді. Нәтижесінде фото ЭҚК пайда болады да *p-n* өткелдің ішіндегі фототокқа қарама-қарсы бағытталған *p-n* өткел арқылы ағатын негізгі тасушылар ағынының жоғарлауын шақыратын потенциалдар айырымы (потенциалды барьер) азаяды.

Фото ЭҚК *p-n* өткел арқылы өтетін негізгі және негізгі емес тасушылар ағынының арасында жаңа динамикалық тепе-теңдік күйі орнағандаша өседі.

Қысқа түйықталу кезінде *p-n* өткелдің электр өрісімен бөлінген фототасушылардың ішкі тізбегі ішкі тізбектен *IF* фототогын тудырып кетеді.

*p-n* өткелдегі *Фх*  монохроматты ағынымен жарықтандырылған фототоктың шамасы мына формуламен анықталады:

 (3)

*NF* – бірлік уақыт ішіндегі өткелден өтетін негізгі емес фототасушылардың саны;

*ρλ* – шалаөткізгіштің кеңістігіндегі шағылу коэффициенті;

*nλ* – ішкі фотоэффекттің кванттық шығысы;

*βλ* – оптикалық генирацияланған тасушылар жұбының жинау коэффициенті (жұптардың бөліну эффективтілігі);

*SλI* – *p-n* өткелдің токтық монохроматты сезімталдығы.

Сәулеленген *p-n* өткелге жабық бағытта ікі кернеу берсе онда потенциалды барьер көбейеді. Сонымен қатар, *p-n* өткелі арқылы өтетін негізгі тасушылар тоқтайды және ішкі тізбекте негізгі емес тасушылардың (*IF*фототогы) суммарлы тогы ағады және *Iорт* ортақ ток деп аталатын негізгі емес тасушылардың термикалық генерациясы болады:

 (4)

Фотодиод фотогалваникалық эффектке негізделген және тек винтель режимінде жұмыс істейтін шалаөткізгіш фотоэлементтерге қарағанда ішкі кернеумен (фотодиодты қосу әдісі) немесе кернеусіз (винтельді қосу әдісі) жұмыс істеуге арналған.

Фотодиодтың вольт-амперлік сипаттамасы ( Оң бағыт үшін қолданылады: фототоктың бағыты, кернеу бағыты, бекітуші *p-n*  өткел):

 (5)

*VD* – фотодиодқа берілген ішкі кернеу; *Iобщ* – фотодиод арқылы ағатын ортақ ток; ол *IF* фототокпен *IT* қараңғылық тогының суммасына тең:

 (6)

*IT* – фотодиодтың қараңғылық тогы, яғни *VD* берілгендегі жарық жоқ кездегі фотодиодтан ағатын ток:

 (7)

*е* – электрон заряды;

*К* – Больцман тұрақтысы, *К* = 8,63⋅10-5 [эВ/K]

*Т* – фотодиодтың фото сезімтал элементінің температурасы [K];

*I0* – ішкі кернеу мен сәулелену жоқ болған кездегі зарядтың негізгі емес заряд тасушыларымен жасалған фотодиодтың *p-n*өткелінің кері тогы:

 (8)

*I0∞* – шалаөткізгіштердің барлық атомдары иондалған кездегі өте үлкен температурадғы кері токтың шартты мәні; *ΔE* – Меншікті шалаөткізгіштің тиым салынған зонасының кеңдігі; *IF* – фототок:

*IF =SI⋅Ф* (9)

*SI* – фотодиодтың интегралды токтық сезімталдығы;*Ф* – ауданның сезімталдығына түсетін ағын.

(4)пен (3) формуласынан аламыз:

 (10)

Бекіту бағытына қолданбалы ФД практика жүзінде қолданатын қорек кернеу кезінде: *eVD>>KT*, (Орташа температурада 293К*KT*≈0,025ЭВ) , яғни *VD*=1В болғанда

=40 және ≈0,4⋅10-17<<1.

 Сондықтан қараңғылық тогының температуралық сипаттамасы мынандай түрде:

 (11)

Яғни, қараңғылық тогының температуралық сипаттамасы мен шамасы *ΔE* меншікті шалаөткізгіштің тиым салынған зонасының кеңдігінің шамасымен анықталады.

Мынынаны ескере кетейік, *IF* фототогының фотодиодының фотосигналына температура кірмейді, яғни ол температураға тәуелді емес. Бұл фотодиодтың ең маңызды артықшылығы.

3-суретте фотодиодтың ВАС графигі көрсетілген, онда фотодиодтың бейсызық электрлік элемент екені көрсетілген. Фотодиодтың қосылу мен өлшеу әдістеріне тәуелді түрде қосу тізбегі түрінде не фототок не фотосигналдың кернеуі жұмыс істейді.

Электр тізбегіне *Rж* жүктеме кедергісін қосқанда фотодиодтың фототогы фотосигналдың кернеуіне айналады. Фотодиодты қосудың екі (негізгі) әдісі бар:

- фотодиодты режим (4а-сурет)

- вентильді режим (4б-сурет)



 а б

Рисунок 4 -Фотодиодтыңфотодиодты (а) және вентильді (б) жұмыс режимдері

Винтельді режим ішкі қорек көзінің жоқтығымен сипатталады, яғни фототок немесе фото ЭҚК фотосигналдарын генерациялайтын фотодиодтың *p-n*өткел әдісі қолданылады.

Фотодиодты режимде *VD* ішкі кернеу бекіту бағытында қолданылады.

**5.2**Фотосигналды өлшеу әдісі

Фотодиодтың бейсызық ВАС-ы жүктеме кедергісі бар қосу тізбегінде фотосигналдың (фототок немесе кернеу) есептеу шамасын қиындатады.

Фотосигналдың кернеу шамасын анықтау үшін қараңғыдағы және жарықтағы бейсызық электрлік элементпен (фотодиодпен) электр тізбегінің күйін анықтау керек. Жүктеме кедергіге қараңғыда және жарықта кенеудің түсуінің айырмашылығы фотосигналдыңталапты кернеуі.

4а суретке (фотодиодты режим) Кирхгоф заңф негізінде екіэлектр тізбегінің параметрлерін байланыстыратын екі теңдеу жазуға болады:

 (12)

 (13)

*ID*, *IH* – фотодиод пен жүктеме кедергісі арқылы ағатын ток; *VD*, *VH* – фотодиод пен жүктеме кедергісіндегі крнеу түсуі; *Vn* – қосу тізбегіндегі қорек кернеуі (берілген шама). Сонымен қатар, фотодиодтың ВАС жатқызамыз, яғни тәуелділікпен

 (14)

Егер тәуелділікті тапсақ

 (15)

және (12) теңдеу негізінде (14) және (15) теңдеулердің оң жақтарын теңестіреміз, онда *VD* табамыз , содан кейін (13) теңдеу негізінде *VH*, сонымен осы шамалар арқылы *IH* табамыз.

(15) тәуелділігін іздеу үшін (14) теңдеудің екі жағында *RH* жүктеме кедергіге бөлеміз.

Онда

 (16)

Тәуелділікті алу- тікелей сызықтың көбейтілуі (уравнение прямой линии). Графикалық құрылымы үшін ыңғайлы нүктелері:

нүкте *а* ; ;

нүкте *б* ; .

Бұл тікелейді жүктеме тікелей деп атайды. б нүктесі фотодиодтың қысқа тұйықталу режиміне сәйкес келеді. Сигналдың практикалық шамасын графикалық әдіспен анықтау ыңғайлы (5-сурет).



Рисунок 5 – Нагрузочная прямая фотодиода

Фотодиодтың екі ВАС бір графикте салынған (Ф ағынының сәулелендірілуінің және жарықтандырылмаған күйдің берілген деңгейінде) және жүктеме тікелей. Фотодиодтың ВАС есептеу арқылы немесе көбінесе эксперимент арқылы табады.

ВАС мен жүктеме тікелейдің қиылысу нүктесі (12) теңдеудің орындалуына сәйкес, сонымен қатар, олардың координаттары (*ID*, *VD*) электр тізбегінің екі күйін көрсетеді. Жүктеме кедергісіне түскен кернеудің сол графикпен оңай анықталады:

 (17)

Фотосигналдың кернеуі:

 (18)

Винтель режимі үшін шешім *Vn=0* шарты бойынша оналогты оброзбен ізделінеді. Жұктеме тікелей бұл жағдайда мынандай түрде болады:

 (19)

Жалпы жағдайда бұл режим үшін .

 (бос жүріс режимі) болған кезде фотосигналдың кернеуі ЭҚК тең.

 (қысқа тұйықталу режимі) болған кезде ішкі тізбектің тогы *p-n* өткелдің фототогына тең (егер *p-n* өткел мен электр контакттарының арасындағы шалаөткізгіш облыстарына ішкі кедергінің әсері етуінен қорғаса). Графоаналитикалық әдіс сигналдың шамасына қосу тізбегінің параметрлерінің өзгеру әсерін зерттеуге және қойылған шартта оптималды жүктеменің шамасын таңдауға мүмкіндік береді.

Фотодиодтың ВАС үшін жеңілдетілген теориялық ереже фототок үшінде фотодиодтың фототогының берілген кернеуден тәуелді емес және сызықты түрде түскен сәулелену ағынына тәуелді екенін көрсетеді. Бұл ереже практикадада қолданылады (*VD* кернеуі өскен сайын фототоктың біршама көтерілуі, потенциал барьерін көбейткен кезде фототасушылар жұптарыны жақсы бөлінуімен түсіндіріледі). Сондықтан фотодиодтың өзінің мүмкіндігі оптикалық сәулеленуді электр сигналына айналдыру, оны интегралды ток сезімталдығымен сипаттайды; және дәл осы шама фотодиодтың мәліметтер куәлігінде көрсетіледі:

*SI= IF/ Ф* (20)

Экспериментті өлшеу кезінде фототок жалпы (*Iобщ*) және қараңғы (*IТ*) токтың айырмасы ретінде анықталады, сондықтан

 (21)

ФД қосу тізбегі интегралды вольттық сезімталдықты сипаттайды:

 (22)

Энергетикалық сипаттамалардың түрлері фотосигнал кернеуі, фотодиодтың қосу тізбегі және сезімталдық шамасы қосу тізбегінің параметрлеріне тәуелді.

5-суретте фотодиодтың ВАС участогы *Гn* нүктесінен оң жақта, онда *Iобщ* фотодиодтың ортақ тогы берілген кернеуден тәуелді емес, ВА деп ВАС-ның қаныққан облысын айтамыз.

Егер *RH* жүктеме кедергісі және *Vn* қорек кернеуі (4-сурет) берілген сәулелену фотодиодының шамасы диапазонында таңдалған болса, онда жүктеме тікелей ВАС-ның қанығу облысын қиып өтеді, сол кезде фотосигнал кернеуі

 (23)

 (24)

Фотодиодтың қосу тізбегінің интегралды вольттық сезімталдығы:

 (25)

яғни

 (26)

(24) және (26) формулада бұл жағдайда жарықсигналының кернеуі және вольттық сезімталдығы *Vn* кернеу көзінен тәуелсі, ол қосу тізбегінің параметрлерінің бірі *RH* жүктеме кедергі шамасымен анықталады, ал фотосигналдың энергетикалық сипаттамасы сызықты болып келеді.

(26) формула *RH* өскен сайын *SV* көбиетінін көрсетеді. Бірақ, *RH* кедергі шеттен тыс көбейсе, онда жүктеме тікелей ВАС қанығу облысында қимайды, бұл кезде фотосигналдың кернеуінің энергетикалық сипаттамасының сызықтылығы бұзылады және (24) мен (26) формуласы нақтылығын жоғалтады.

Фотосигнал мен фотодиодтың вольттық сезімталдықты екі жұмыс режимінде салыстыра отырып мыналарды атап өте аламыз.

Винтильді режимде (*Vn=0*) *VС* фотосигналдың кернеу шамасы әдетте жүздеген немесе ондаған вольттан тұратын фото ЭҚК шамасыннан аспайды; фотодиодты режимде (*Vn* – бірнеше ондаған вольт) қосі тізбегі сол сәлеленуде *VС* шамасы бойынша UП жақындайтында етіп таңдалынады, яғни қосу схемасының фотодиодты вольттық сезімталдығы вентельден қарағанда жүздеген есе артық болады.

Фотодиодтың режимдерін салыстыру келісіні көрсетеді.

Фотодиодты режимнің артықшылығы:

- үлкен вольттық сезімталдық ,

- Инерттіліктің аздығы (берілген кернеудің *p-n* өткелгефототасушылардың тез дрейфіне әрекет ететіндіктен).

Винтель режимінің артықшылығы:

-сыртқы қорек көзінің жоқтығы отсутствии внешнего источника питания,

-шуыл деңгейінің аздығы (бұл режимде қараңғы токтың жоқтығы).

Қосудың винтельді режимінің ерекше артықшылығына шығыс сигналы фототок болған кездегі фотодиодтың қысқа тұйықталу режимі ие. Жоғарыда көрсетілгендей, ол түскен сәуле ағынына пропорционалды және практика жүзінде *p-n* өткелдің температурасына тәуелсіз.

# 5.3 Өлшеу әдістемесі

Бұл лабораториялық жұмыста сәулеленудің әртүрлі деңгейінде фотодиодтың (ФД) вольтамперлік сипаттамасы өлшенеді. ВАС өлшеу қажеттілігі ФД-ның оптикалық сәулеленумен басқарылатын электр тізбегінің бейсызық элементі болумен шартталған.

Лабораториялық орнату үш негізгі блоктан тұрады: сәулелену көзі, фотодиод және өлшеушші микроамперметр (6-сурет).

**Микроамперметр**

**Сәулелену көзі**

ФД

 6-сурет - фотодиодтың негізгі сипаттамаларын өлшеуге арналған лабораториялық орнату.

Жүргізілген өлшеулер негізінде фотоэлектрлік сипаттамасы мен ФД параметрлер және оның қосылу тізбегі есептеліп шығады:

- фототоктың энергетикалық сипаттамасы;

- фотосигналдың кернеуінің энергетикалық сипаттамасы;

- ФД қосу тізбегінің токтық сезімталдығы;

-ФД қосу тізбегінің вольттық сезімталдығы.

Спектрдің көрінетін облыстарында сезімтал ФД ВАС өлшеу қажеттілігіне байланысты әдістің артықшылықтарын көрсетейк:

- Өлшеу тұрақты токта жүзеге асады (модуляция жиілігі=0).

Сәулелену көзі- лазер және оның параметрлері энергетикалық бірлікте бағаланады (адам көзінің реакциясы бойынша)

Тұрақты токта жұмыс істеу лабораториялық орнатуды оңайлатты: онда оптикалық сәулелену модуляторы және айнымалы токтың күшейткіші болмайды. Фотосигнал өлшеуіші ретінде микроамперметр жұмыс істейді.

5.4 Жұмыс істеу тәртібі

1. 1-кестені нұсқаға сәйкес дайындаңыз.

Өлшеуші стендпен танықаннан кейін, өлшеп және өлшенген мәндерді кесте толтырыңыз.

2.Берілген ағынға  бөлме температурасында ВАС графигін тұрғызыңыз.

3.0,5; 10; 15 В кернеуде ағынға қатысты ФД фототогының энергетикалық сипаттамасының графигін тұрғыз.

4. 10В кернеудегі ағынға және жарықтылыққа ФД интегралды токтық сезімталдығын анықтаңыз. Фотодиодтың ауданының сезімталдық өлшемі ∅=2 мм.

5. Брілген шартта графоаналитикалық әдіспен фотосигналдың кернеу шамасын анықтаңыз.(*Ф, RH* , *Vn)*

Осы шаманы фотосигнал кернеуіне арналған формула бойынша анықтаңыз.



6.Фотосигналдың кернеу шамасынна жүктеме кедергі шамасының өзгеруінің әсерін зерттеңіз.

Ол үшін графоаналитикалық әдіс бойынша 5 пунктегідей ағынмен және жүктеме кедергінің 5 мәні бойынша (*RH* 4 пунк бойынша: 0,1*RH*; 0.5 *RH*; *RH*; 2 *RH*; 10 *RH*) фотосигналдың кернеуін анықтаңыз.

Фотосигнал кернеуінің жұктеме кедергісінен тәуелділік графигін тұрғызыңыз.

Фототокты өлшеудің нәтижелері. 1 кесте

|  |  |
| --- | --- |
| АғынФ, мВт | *Фотодиод тогы, мА* |
| *15* | *10* | *5* | *1* | *0.5* | *0* |
| 0 |  |  |  |  |  |  |
| 1 |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |  |  |

Фотосинганлдың кернеу шамасына жүктеме кедергінің әсер ету шығысын (вывод) формалаңыз.

**Әдебиеттер**

1. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: Учеб.пособ. для вузов: - 2-е изд. - М.: Лаборатория Базовых знаний, 2000.- 488с.
2. C.Зи. Физика полупроводниковых приборов. Изд. “Наука”, 1984г, 364 с.
3. Шалимова К. И.Физика полупроводников. М., Энергоатомиздат, 1985, 392 с.
4. Ю. А. Дудников, С.М. Манаков, Е.А.Cванбаев, А.А. Стамкулов, Т.И.Таурбаев, Л.Л. Хренов, Фотопреобразоватесли на основе аморфного гидрогенизированного кремния. Ж. «Оптико-механическая Промышленность», №12, 1989, стр. 49-51.

**№ 6 Лабораториялық жұмыс**

**АЗ БӨЛШЕКТЕРДІҢ ШАШЫРАУ ЖАРЫҒЫНА АРНАЛҒАН ИНДИКАТРИСАЛАР**

**Жұмыстың мақсаты:** Жарықтың суда және ауада таралу заңдылығын зерттеу.

Керекті құрал-жабдықтар:

1. Қорек көзіндегі лазер .

1.1.Затты зерттеуге арналған фотоқабылдағыш және кюветті айналмалы орындық.

* 1. .Милливольтметр.

**6.1 Жарық таралуының негізгі теориясы.**

Дистанционды әдістерді қолдану кезінде ауаны және мұхитты алдын-ала тексеру сәулеленудің әр түрлі түрдегі сипаттамасын,бақылаушыға келетін сәулелену бағытын,оның қарқындылығын,спектральды құрамын,және поляризация жағдайын өзгертеді.Сәулеленуді өлшейтін сипаттаманың есептелуі үшін, ауаның қызықты параметрлері мен жарықтың мұхитта суда және ауада жұтылуын, және шашырауын заңдылықтар бойынша білу қажет.

 Молекулярлық шашыраудың негізгі теориясы жарықтық толқындағы аз бөлшектер үшін зерттелінетін әрекет болып табылады.Релей теориясында шашыраушы бөлшектегі r көлемі жарық толқынынан аз болады (r <<λ).

 Егер жарық толқынының жолында қоршаған ортадағы сыну бұрышының көрсеткішінен сыну бұрышы бойынша ерекшеленетін,бөлшек ортасының жоғарғы бөлігінде мәжбүр электромагниттік тербелісті шығаратын ,жарық толқынының екі жүйесімен бөлшектің айналасында пайда болатын, поляризацияланған екі өзара перпендикуляр жазықтық болса,онда көрінген лайлы ортаны бөлшектің құрамы,және кеңістікте таралатын жарық толқынының жүрісі ретінде қарастыруға болады.

Егер энергия бірлігі үшін қарқындылықты қабылдайтын болсақ,онда дене бұрышының бірлігіне түсетін I ағынының жарығын, ал Iи арқылы өзара поляризацияланған перпендикуляр жазықтықта жарық қарқындылығы үшін кейбір бағыттарда бөлшектерден шығатын толқын жүйесінің қарқындылығын, мына анықтамадан аламыз:

 (1)

Бұл жерде θ — түсетін сәуле мен берілген бөлшек бағытындағы Р нүктесіндегі бұрыш, n=sqrt(εμ) – бөлшектің құрамын көрсетуші сыну бұрышы, r — бөлшектің радиусы (сурет 1), W0- ортаның толқындық кедергісі.



 1 –сурет.Индикатриссалар шашырауын бөлу

(2.1) формуласы шашырайтын бөлшектегі,жарық қарқындылығы толқын ұзындығының пропорциональды төртінші деңгейімен кері қайтушы көрсеткішті анықтайды.

 (2)

 (2) – формуладан байқағандай ,шашырайтын жарықтың поляризациясы екі бағытта түсетін жарықтың бағытында(Ө =0°) және тураға кері бағытта (Ө = 180°) нөлге тең болады.Оң жолақтағы Ө = 90° және Ө = 270° болғанда жарық толығымен поляризацияланады,бұл сыну бұрыштары үшін мынаған тең I1 + I2 = I1 - I2, т.е. I2 = 0.

Бір бөлшек айналасындағы жарық энергиясы шашырауының таралуын табуда,Релей біртекті ортада таралған көптеген бөлшектердің эффектілерін зерттеді.Жарық энергиясы ағынының I жағдайы үшін орта арасындағы қабаттың қалыңдығы dz барлық аймақта энергия сапасымен таралады.

  (3)

Бұл жердегі σ— қатынаспен анықталатын,таралу коэффициенті

 (3а)

 N— бөлшек саны 1 см3. Бұл жағдайда :

а) бұлыңғыр ортада таралған ,толқын ұзындығының төртінші деңгейіне кері пропорционал болатын энергия ағыны.Бұл эффект аспанның көгілдір түсін түсіндіреді:ауа жолындағы күннің тура түсу бұрышы бөлшек таралуын өзгертеді де,спектрдің көк түсті соңында таралу үлкенірек болады.Сол себепті диффузиялық таралу жарық ағынында көк түсті сыну бұрышына өзгереді.Сол сияқты күннің батуы немесе шығуы уақытының қызғылт түсте болуы күннің жоғарғы биіктігіне қарағанда ауада неғұрлым ұзақ жолды көрсетеді.Сол себепті (көк бөліктегі қысқа толқын)белгілі бір деңгейде күн спектрінде таралады.Қызғылт түсу бұрышы жердің төбесіне дейін жетеді;

б)жарық қарқындылығы бөлшекте таралатын симметриялы бастапқы бағытпен анықталады.Ағындағы таралудың бұрыштық шашырауы бөлшек жарығын индикаторлық таралумен сипаттайды ƒ(θ).Индикаторлық таралу (2.1), (2.2) формулаларында энергия ағынының қатынасы сияқты бұрыштық бірлік таралуында ƒ(θ)=1±cos2θ) бағытындағы орташа энергияда бірлік таралуының dΩ барлық бағыттарында болады

 (4)

 Аз бөлшекті қарапайым, заряд белгісі бойынша майысқақ байланысты көрсететін дипол-осцилляторы ретінде есептеуге болады.Мұндай төменгі дипольдағы электромагниттік толқын E = E0 cos (ωt - kz),зарядтар ω жиілікте тербеледі,және диполь энергияны сәулелендіреді,яғни екінші толқынның қорек көзі болады.Кеңістіктегі сәулеленген энергияның таралуын индикатриса бойынша былай жазуға болады: ƒ(θ)=1 ± cos2θ.Бұл индикатриса өзімен бірге тесігі жоқ «бубликті»,яғни өз осьінің бағытында шағылмайтын дипольды қарастырады (2-сурет).

 Е векторы таралған толқында диполь осьіне параллель бағдарланған.Суретте көрсетілгендей,Е векторы таралған толқында тек Х осьінің бойымен ориентацияланады



 2 – сурет.Сәулеленген энергияның кеңістікте таралуы

Диполь таралған ортада Е векторына қатысты түсетін толқын ориентирленуі мүмкін.Жалпы жағдайда диполь ориентациясы X, Y, Z осьтерінің бағытында болуы мүмкін.Түсетін толқын тегіс,поляризацияланбаған,яғни Еу түсетін толқын құраушы Х және Y: E = Ex + Ey болсын делік.Бұл жағдайда түсуші жолақтағы Ex дипольды қоздырады,ориентирленген бағыттағы Х осьі(а жағдайында)бойынша,алEy жолағы-диполь,ориентирленген Y осьіне( б жағдайына )сәйкес келеді.Дипольда, ориентирленген бағыттағы Z осьі қозбаған күйінде қалады.Бұл жағдайда,Х осьі бағытындағы таралған толқын поляризацияланған,ол тек қана Еyрасс компанентін көрсетеді.

Y осьінің бағыты бойынша таралған толқында поляризацияланған,олда тек қана Ехрасс компанентін көрсетеді. Ал,Z осьінің бағытында таралған толқын поляризацияланбаған. Кезектескен,таралған жарық,сәуле түскен бағытта(Х және Y бағыттары бойынша) сызықты-поляризацияланған болады;

в)поляризацияланған жарықтың қарқындылығы өзімен бірге жеке молекулалар таралуының қарқынды суммасын ұсынады(пропорциональдылық dI және dz (3)-формула бойынша).



 3 –сурет.Шашырайтын ортадағы дипольдар

Релей теориясы тек төмендегі шарттар қатары бойынша орындалады:— егер орта,электромагниттік толқындар таралатын,және бос зарядтарды ұстамайтын бөлшек болса,онда олар өткізгіштер болмайды; Егер ортаның магниттік өткізгіштігі жалғыз бөлшек болса;Егер таралатын бөлшектің толқын ұзындығы 0,1 ден көп болмаса (r≤ 0,1λ);

* Егер жарық таралуының қарқындылығы өшірілген таралатын бөлшектің нүктесі үшін шығатын болса(kr>> 1 зонасында).

 Релей теориясы сиретілген газдағы ,бірақ сұйықтар үшін қолданылмайтын,молекулалар арсындағы таралуда салыстырылатын молекулалар көлемімен,толық таралатын жарық ағынының құбылыстарын түсіндіреді.

 Жарықтың сұйықтардағы таралу процессі,флуктуациялық жазықтықтағы жарықтың таралуындағы Смолуховский теориясының көмегімен жақсы түсіндіріледі.Смолуховский,уақыттың әр түрлі мезетінде кейбір аймақтарда заңдылық бойынша таралатын бөлшектерді,және газбейнесіндегі немесе сұйық денедегі статистикалық жылы молекулалар қозғалысын зерттеді.Хаостық жылулық қозғалыстағы молекулалар,олар қандайда –бір аз ғана көлемде жиналады,бірақ үлкен таралуда бөлінеді. Молекулалар саны заттар кеңістігінің тербелісін шақыру арқылы ,көлем бірлігінде тербеледі. Мұндай кеңістік тербелісі оптикалық әртүрлі ортаны,физикалық тұрақтының әртүрлі нүктесінде шақырады. Диэлектрлік заттардың өзара өткізгіштігі ,және оның кеңістіктегі орны бағыныштылықты анықтайды

 (5)

Бұл жерде A — тұрақты шама,р — тығыздық,бұл жағдайда ,тығыздық қызметті және диэлектрлік ортаның өткізгіштігін шақырады.Соңғы қарастырылатын процесстер,өткізгіштік коэффициентінің тербелісі неғұрлым коэффициент тербелісімен байланысты болса маңыздырық болады.Заттарда —n = sqrt(ε)).

Смолуховский теориясы бойынша таралатын жарықтағы энергия ағынын есептеу үшін төмендегі формула қолданылады:

 (6)

мұндағы I — таралатын жарықтың қарқындылығы; R — газдың тұрақтысы; T — абсолютті температура;β0 — бөлшек көлемінің толтыру коэффициенті; NA — Авогадро саны

Газдықбейнелі ортаның жағдайы үшін қолданылатын формула Релей формуласымен ұқсас болып келеді.Газдарда

β0 =1.Толтыру коэффициенті шамасында бірліктер ретін былай қабылдауға болады: n2 + 2 = 3, а n2 - 1 = (n + 1)-(n - 1) = 2(n - 1). Басқа газдар үшін қолданылатын теңдеу жүйесі ,мына түрде болады:

 (7)

Бұл жерде m0— молекула массасы, N2— көлемдегі молекула саныV; m = m0NA, онда

 (8)

 (4.4)-формуладан мынаны аламыз :

 (9)

Бұл бағыныштылық түсетін сәулеге перпендикуляр таралатын жарық қарқындылығын көрсетеді.Бұл жағдайда таралу коэффициенті үшін (2.3а) теңдеуімен анықталатын шама алынады. Жарықтың энергия ағыны үшін ,газдарда таралатын молекулаларда,екі теория Релей және Смолуховский теориялары—бірдей сандық нәтиже көрсетеді.Релейдің бір теориясы екінші толқынның қорек көзі болып табылатын, индивидуальды молекулалардағы таралуларды қарастырады Смолуховский теориясының көру нүктесі күтпеген өзгерісті кеңістікте молекулалардың жылы қозғалысы болатын әркелкі ортадағы жарықта таралады. (2.4)-формула негізінде Смолуховский барлық жағдайдағы бұлыңғыр ортада бірдей көлемде таралатын және таралу коэффициенті үшін алынатын энергия сапасын анықтады σ:

 (10)

 Релей және Смолуховский теориялары ,жарықтың толқын ұзындығымен салыстырғанда көлемі аз болатын жорамалға негізделген.Мұндай болжамды ,егер сұйық бірдей оптикалық қатынаста болса қолдануға болады.Сол сияқты сұйықтар,мысалы,су, ешкандай газдарда таралмайды, немесе электролитпен араласқан судың концентрациясы толықтырудан алыста болады.Егер су газбен араласқан болса,онда температура тербелісі кезінде оның молекулалары,көбік түрінде шығады да, бөлек қорда жиналатын болады. Газдың бұл қорлары жарықтағы толқын ұзындығы көлемінің ретімен жеткізіледі және онымен бірге көбік шықпайды.Мұндай үлкен бөлшектер Релейлік заңға бағынбайтын жарық таралуын шақырады.Бұл кезде G ге назар аударылады.Алтындар жұбы суда конденсирленеді және бөлшектер 0,1мкм диаметрде болады.

Егер бөлшектің көлемі толқын ұзындығымен салыстырғанда аз болса,онда таралуды қарастыру кезінде ондай бөлшектерді бірдей диполь ретінде қарастыруға болады.*Ми* таралуы кезінде бөлшек көлемі –жарық толқынымен реттес немесе одан үлкен болады. Бұл жағдайда бөлшек өзімен бірге бір ғана емес,екі,үш немесе одан да көп дипольдарды қабылдайды.Таралған толқын өзімен бірге екінші толқын интерференциясының үлкен санын қабылдайды.Нәтижесінде таралған жолақтың поляризацияға және толқын ұзындығына бағынатын күрделі картинасы пайда болады. Егер өткізгіштік көрсеткіші комплексті болса n = n' — in" , онда бөлшек таралып қана қоймайды,бірақ түскен жарық толқынын жұтады,одан кейін анализ күрделенеді.

*Ми* теориясы көрсетуі бойынша бөлшектің көлемі үлкейген кезде индикатриса симметриясының таралуы түскен толқын бұзылуын көрсетеді.4-суретте кесілген радиус-векторы өзара ішкі және сыртқы қисықтармен поляризацияланған жарықтың таралу қарқындылығын көрсетеді.



4 –сурет.Түскен толқын бағытына қатысты таралған индикатрисалар

 Нағыз жұмыста индикатрисалар нәтижесінде әртүрлі кескіндердің сумен араласуын(молоко, гуммигут) алатын модельді ортадағы жарық таралуын үйретеді.

Лабораториялық қондырғының сипаттамасы. Қондырғы (сурет 5) лазер-жарықтандырғыштан тұрады. 1-поляризацияланған монохронды жарықты береді,



5 – сурет.Модельді ортадағы жарық шашырауының индикатрисасын үйрену үшін орнатылған Блок – схема

 камералар 2, модельді ортадағы кювет 3, фотоприёмниктер 4 және регистірлеуші құрылғылар 5.

 Қабылдағыш жарығы модельдік ортаны айналдырады,және оның ыдыста орналасқан күйін фиксирлеуге болады.

**Нәтижені өңдеу және өлшеу**

1. Дистирленген суды кюветке толтыру және,қабылдағышты айналдыру,түсіру арқылы құрылғыдан индикатрисаның таралуын көру.
2. Мұғалімнің тапсырмасы бойынша суспензияларды (сүт) орнату және бұл жағдайда индикатрисаның таралуын түсіру.
3. Мұғалімнің тапсырмасы бойынша суспензиядағы концентрацияны өзгерту және тағы да 3-4 индикатрисаны түсіру.Қабылдағыштың поляроидын орнатпас бұрын,сәйкесінше поляризацияланған жарықтағы индикатрисаны түсіру.
4. Нормаланған индикатрисаларды ƒ(θ)/ƒmax полярлы немесе тікбұрышты координатада құру.Алынған нәтижелерді анализдеу.

**Бақылау сұрақтары:**

1.Индикатрисаның шашырауы деген не? Сфералық бөлшек үшін ,радиусы түсетін толқын ұзындығына қарағанда, әлдеқайда аз болатын индикатрисаны бейнелеңіз.

Егер толқын ұзындығы бастапқы күйінде қалып,ал бөлшектің радиусы үлкейетін болса индикатриса қалай өзгереді?

2.Қандай параметрлерден бұлыңғыр жарық ортасындағы шашырау қарқындылығы бағынышты болады?

 3.Релей теориясының шашырауы қандай шарттарда дұрыс болады?

4.Газбейнелі және сұйық ортада диэлектрлік өткізгіш *е*мен *р* тығыздықтың қандай байланысы бар?Орта тығыздығының өсуі кезінде диэлектрлік тығыздық ұлғаяма әлде кішірейеме?

5.Жарық қадағалауындағы қандай бұрыштарда,шашыраған Релейлік бөлшектер поляризацияланған бола алады?

**Әдебиеттер**

1. Ландсберг Г. С., Оптика, 5 изд., М., 1976; Шифрин К. С., Рассеяние света в мутной среде, М.- Л., 1951,
2. Волькенштейн М. В., Молекулярная оптика, М.- Л., 1951; Ландау Л. Д., Лифшиц E. М., Электродинамика сплошных сред, 2 изд., М., 1982
3. Xюлст Г., Рассеяние света малыми частицами, пер. с англ., М., 1961; F а-белинский И. Л., Молекулярное рассеяние света, М., 1965
4. Иванов А. П., Оптика рассеивающих сред, Минск, 1969
5. Борн М.. Вольф Э., Основы оптики, пер. с англ., 2 изд., М., 1973