

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Сартай Бекзат

«Оптикалық талшықты кешенді талдау жүйесі мен спектрлік ыдырау параметрлерін өлшеу»

### **ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС**

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Алматы 2022

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

**ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ**

Кафедра меңгерушісі

*Е. Таштай* Е. Таштай

«20» 05 2022 ж.

### ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы «Оптикалық талшықты кешенді талдау жүйесі мен спектрлік ыдырау параметрлерін өлшеу»

5В071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Орындаған

Сартай Бекзат

Пікір беруші

**Рецензия беруші**

Алматы энергетика және байланыс кауымдастырылған профессор университеті

т. ғ. д., профессор

*Якубова М.З.* Якубова М.З.

«23» 05 2022 ж.

Ғылыми жетекші

PhD докторы

байланыс кауымдастырылған профессор

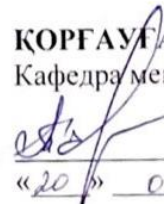
*Н.К.Смайлов* Н.К.Смайлов

«18» 05 2022 ж.

Алматы 2022

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ  
Қ.И Сәтпаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті  
Автоматика және ақпараттық технологиялар институты  
Электроника, телекоммуникация және ғарыш технологиялар кафедрасы  
5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар

**ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ**  
Кафедра меңгерушісі

  
Е. Таштай  
«20» 05 2022ж

**Дипломдық жоба орындауға  
ТАПСЫРМА**

Білім алушы: Сартай Бекзат

Тақырыбы: «Оптикалық талшықты кешенді талдау жүйесі мен спектрлік ыдырау параметрлерін өлшеу»

Университет ректорының «24» 12.21 № 4676 бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жобаны тапсыру мерізімі «30» сәуір 2022 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы деректер: 1. ГОСТ Р IEC 60793-1-30-2010 Оптикалық талшықтар. 1-30 бөлім. Өлшеу әдістері және сынау. Талшық беріктігі сынағы. 2. ГОСТ 26599-85 Талшықты-оптикалық тарату жүйелері. Терминдер мен анықтамалар. 3. ГОСТ Р ISO 11554-2008 Оптика және фотоника. Лазерлер және лазерлік қондырғылар (жүйелер). Лазерлер мен қуатты өлшеулерді сынау әдістері.

Жұмыстың бастапқы мәліметтері:

а) Оптикалық талшықтар негізделген параметрлерін зерделеу

б) Оптикалық талшықты кешеннің таралу матрицасын талдау

в) Оптикалық талшықтардағы артық шашырауды талдау

г) Спектр характеристика

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс)

Сызбалық материалдар 12 слайдпен көрсетілген


Дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау

**КЕСТЕСІ**

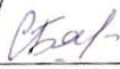
Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерізімі	Ескерту
	20.01.2022	
Арнайы оптикалық талшықты талшықты	05.02.2022	Орындалды
Оптикалық талшықты кешеннің таралуын талдау	27.02.2022	Орындалды
Оптикалық талшықты кешеннің таралу матрицасын талдау	20.04.2022	Орындалды
Спектрлік характеристикасы	30.04.2022	Орындалды

Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа (жоба) қойған

**Қолтаңбалары**

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Норма бақылау	PhD докторы қауымдастырылған профессор Смайлов Нуржигит Куралбаевич	18.05.2022	

Ғылыми жетекшісі PhD докторы  Н.К. Смайлов  
(қолы)

Тапсырманы орындауға алған білім алушы  Б.Д. Сартай  
(қолы)

Күні «23» 05 2022 ж.

## АҢДАТПА

Талшықты-оптикалық технология жылдар бойы қарқынды дамып, сенсорларға сенсорларды миниатюризациялау және нақты уақытта қашықтан бақылау мүмкіндігі сияқты құнды артықшылықтарды қамтамасыз етті. Атап айтқанда, көлбеу талшықты Брэгг торлары олардың бетінде болатын сыну көрсеткішінің өзгерістеріне өте сезімтал. КТБТ спектрлік әртүрлі талдау әдістерінің әсерін зерттеуді қамтиды. Ең сезімтал режимнен кейін спектрлік шыңдар, конверттер, сондай-ақ конверттердің қиылысу нүктесі мен ауданы.

Төменгі шекараны бақылау КТБТ үшін анықтаудың ең төменгі шектеріне (LOD) әкелді, атап айтқанда, сәйкесінше бұл жұмыс соңғы нәтижелер үшін талдау әдісінің маңыздылығын көрсетеді, ол төменгі LOD сенсорларымен ең сенімді және сезімтал әдіске қол жеткізу үшін өте маңызды. Бұған қоса, ол ғылыми қауымдастыққа талдаудың әртүрлі әдістерін пайдаланатын әртүрлі сенсорлардың өнімділігін салыстыру кезінде мұқият назар аудару қажет екенін білуге мүмкіндік береді.

## АННОТАЦИЯ

Волоконно-оптическая технология быстро развивалась на протяжении многих лет, предоставляя датчикам ценные преимущества, такие как возможность миниатюризации датчиков и удаленного мониторинга в режиме реального времени. В частности, наклонные волоконистые решетки Брэгга очень чувствительны к изменению показателя преломления на их поверхности. ПОО включает в себя изучение эффектов различных методов спектрального анализа. Спектральные пики, огибающие, а также точки и области пересечения огибающих после наиболее чувствительного режима.

Контроль нижней границы привел к минимальному пределу обнаружения (LOD) для СВТ, в частности, эта работа демонстрирует важность метода анализа для конечных результатов, что имеет решающее значение для достижения наиболее надежного и чувствительного метода с датчиками с более низким LOD. Кроме того, это позволяет научному сообществу узнать, что следует уделять особое внимание сравнению характеристик различных датчиков с использованием различных методов анализа.

## ANNOTATION

Fiber optic technology has evolved rapidly over the years, providing sensors with valuable advantages such as the ability to miniaturize sensors and real-time remote monitoring. In particular, tilted fibrous Bragg gratings are very sensitive to changes in the refractive index on their surface. PBL includes the study of the effects of various methods of spectral analysis. Spectral peaks, envelopes, as well as points and areas of intersection of envelopes after the most sensitive mode.

Lower bound control has resulted in a minimum limit of detection (LOD) for CBT, in particular this work demonstrates the importance of the analysis method to the final results, which is critical to achieve the most reliable and sensitive method with lower LOD sensors. In addition, it lets the scientific community know that special attention should be paid to comparing the performance of different sensors using different analysis methods.

## МАЗМҰНЫ

Кіріспе	9
1 Оптикалық талшықты кешенді талдау жүйесі арқылы спектрлік параметрлеріне тоқталу	11
1.1 Талшықты Брэгг торларына негізделген құралдар мен әдістер	12
1.2 Брегг торларын телекоммуникация саласында қолдану	13
1.3 Брегг торы негізінде жасалатын технологиялар	15
1.4 Фазалық маска әдісі бойынша жазу технологиясы	15
2 Талшықты брэгг торының сенсорды жасау әдістері	17
2.1 Спектрлерді алу және көлбеу ТБТ мәліметтерін талдау	21
2.2 Зерттеу кезінде кездесетін әдістерді талдау	23
2.3 Ападизацияланған торлардың сипаттамаларын алу	26
2.4 Зерттеу барысындағы спектр сипаттамалары	27
3 Эксперименттік нәтижелер	30
3.1 Поляризацияға сезімталдықтың нәтижелерін алу	30
3.2 ТБТ режимді алдын-ала таңдау жасау арқылы нәтижеге қол жеткізу	39
3.3 Оптикалық талшықтың сыну көрсеткішін өлшеу	41
3.4 Математикалық модельін компьютерлік бағдарламада көрсету	45
Қорытынды	49
Пайдаланылған әдебиеттер	50



## КІРІСПЕ

Оптикалық әдістер көптеген физикалық және химиялық шамаларды анықтаған кезде маңызды бола бастайды [1,2]. Бұл, әрине, спектроскопиялық әдістер мен бейнелеу әдістері сияқты мамандықтарды қамтитын оптикалық әдістердің динамикалық дамуымен байланысты [3-5]. Көптеген перспективалы әдістерге жоғары ажыратымдылықтағы микроскопия әдістері [6,7], беттік плазмалық резонанс [8-10], Фурье түрлендіруі бар инфрақызыл спектроскопия [11], жақын инфрақызыл спектроскопия [12], электронды релаксация әдістерінен туындаған жарық сәулесі (флуоресценция) [13-16] және комбинациялық шашырау спектроскопиясы [17,18] жатады.

Суперлюминесцентті диодтар (СЛЭД) немесе қайта құрылатын лазерлер сияқты жарық көздерін миниатюралаудағы жетістіктер ықшам фотонды өлшеу жүйелерін құруға және өлшеудің жаңа әдістерін жасауға мүмкіндік береді. Фотоникаға негізделген құралдар фотоникада, әсіресе патогенді анықтау саласында танымал бола бастады [19]. Өте перспективалы анықтау әдістері оптикалық талшықтың өзегінде орналасқан фотонды периодты құрылымдарды қолдануды қамтиды. Мұндай фотонды құрылымдардың қарапайым мысалдары - біртекті Брэгг торлары [20]. Пациенттің сілекейі арқылы патоген анықталған кезде сыну көрсеткішінің өзгеруін тікелей анықтайтын талшықты Брэгг торы (ТБТ) бар алғашқы модификацияланған сенсорды Samavati et al ұсынды. [21]. Бұл жоғары сезімтал талшықты-оптикалық FBG сенсоры, қашықтан басқару құралы ретінде жұмыс істей алатынын дәл анықтауға арналған. Алайда, бұл шешім ТБТ элементі жазылған жерде қосымша қабатын қолдануды қажет етеді. Екінші жағынан, 2020 жылы Ф. Эспозито және басқалар. ол ұзақ мерзімді торларды (ҰМТ) қолдана отырып, вирустарды анықтаған кезде Нақты уақыттағы сыну көрсеткішін анықтау әдісін ұсынды [22]. Бұл шешім сұйытылған газды W типті қос қабатты оптикалық талшықта шығаруды талап етеді. Тиісті сезімталдықты қамтамасыз ету үшін қосымша өңдеуді қажет ететін талшықтың сыртқы қабығының диаметрін өзгерту қажет. Udos және басқалар A71 энтеровирусын анықтау мақсатында сыну көрсеткішін анықтау үшін беткейлік плазмалық резонанстың (SPR-TFBG) көлбеу талшықты Брагг торына негізделген сенсор көрсетті [23]. Бұл жағдайда SPR әсерін алу үшін ТБТ оптикалық талшығын алтын қабатымен жабу қажет. Бұл әсер алтыннан басқа металл қабаттарын қолданудан туындауы мүмкін. Кейбір жағдайларда, өшірілген басқарылатын модаға жақын резонанстар үшін (яғни, резонанстар енді қабық-қоршаған орта интерфейсіне бағытталмайтын толқын ұзындығына), S және P қалыпты ТБТ резонанстары бір-біріне сәйкес келеді [24,25].

Кіріс сәулесінің поляризация күйі TFBG құрылымдарының оптикалық сипаттамаларына әсер етеді. Сыну көрсеткішінің көлбеу модуляциясының бұралуы мұндай құрылымның кіріс сәулесінің поляризациясының айналу бұрышына сезімталдығының төмендеуіне әкеледі. Оптикалық талшықтар және оларға қолданылатын қарапайым біртекті периодты талшықты құрылымдар кіріс

сәулесінің поляризациясының өзгеруіне сезімтал емес, өйткені олар цилиндрлік симметриялы. Мұндай симметрия олардың маңызды артықшылығы болып табылады, өйткені мұндай құрылымдардан келетін сигналдарды өлшеу кезінде полярланған жарықты пайдалану қажет емес (мысалы, зерттеу жүйесінде). Сондай-ақ, оптикалық жол бойында поляризацияны бақылаудың қажеті жоқ (мысалы, поляризацияны қолдайтын талшықтар арқылы) [26-28]. Оптикалық талшық белгілі бір жағдайларда кіріс сәулесінің поляризация жазықтығының жағдайына сезімтал болуы мүмкін.

## 1. ОПТИКАЛЫҚ ТАЛШЫҚТЫ КЕШЕНДІ ТАЛДАУ ЖҮЙЕСІ АРҚЫЛЫ СПЕКТРЛІК ПАРАМЕТРЛЕРІНЕ ТОҚТАЛУ

Оптикалық талшықты кешенді талдау жүйесі көптеген зерттеулер жүргізу арқылы спектрлік ыдырау параметрлерін өлшеу арқылы қол жеткізуге болады.

Жоғарыда айтылғандай, поляризация сезімталдығының ең көп таралған себебі-оның цилиндрлік симметриясының бұзылуы. Оптикалық талшықты талдау кезінде пассивті элементтің бар болуы. Айта кету керек, КТБТ құрылымдары оптикалық талшықтың қалыпты осіне қатысты сыну көрсеткішінің өзгеру осінің көлбеуі арқылы қалыптасады. Бұл осындай цилиндрлік симметрияның бұзылуы. Мұндай құрылымды енгізгеннен кейін оптикалық талшық цилиндрлік симметрияны жоғалтады және кіріс сәулесінің поляризациясына сезімтал болады. Мұндай құрылымға кіретін Жарық кері таралу ядросының сәнімен де, кіріс сәулесінің таралу бағытына сәйкес келетін бағытта қабыққа таралған бірнеше режиммен де байланысты.

КТБТ құрылымдары физикалық шамалар сенсоры ретінде және сенсорлар мысалы, биомаркер ретінде эпителий өсу факторының рецепторын қолдана отырып, қатерлі ісік диагнозын қою үшін көптеген қолданыстарға ие екендігі белгілі. Көбінесе мұндай мерзімді құрылымдарды сенсор ретінде олар жазылған талшықтың бетін тиісті дайындағаннан кейін ғана қолдануға болады. Бұл оптикалық талшықты қабықтың бетіне белгілі бір заттарды шашыратуды қажет етеді, мысалы, азот диоксидін өлшеу үшін бисфталоцианиндер лютеция, бактериялардың тығыздығын бақылау үшін алтын қабаты, салыстырмалы ылғалдылықты өлшеу үшін графен оксиді, салыстырмалы ылғалдылықты өлшеу үшін поливинил спирті, графен оксиді және стафилококк ақуызы а адамның IgG анықтау, магнит өрісін өлшеуге арналған магниттік сұйықтық, сынап иондарын анықтауға арналған нанобөлшектері және векторлық бұралуды өлшеуге арналған индий-қалайы оксиді . КТБТ қолданатын рефрактометрлер де жеке топ болып табылады [29.30]. Алайда, КТБТ қолданатын барлық ұсынылған R1 өзгерту сенсорлары кіріс сәулесінің поляризация жазықтығының күйінің өзгеруіне сезімтал. Бұл кіріс сәулесінің поляризациясын және оны бақылауды білуді қажет етеді. Сонымен қатар, көп жағдайда жасалғандай, поляризацияның берілген бағыты үшін сынақтар оның жағдайын мұқият талдаусыз жасалады, бұл үлкен және өте дәл өлшеу кезінде өлшеу қателіктеріне әкеледі. [31-32].

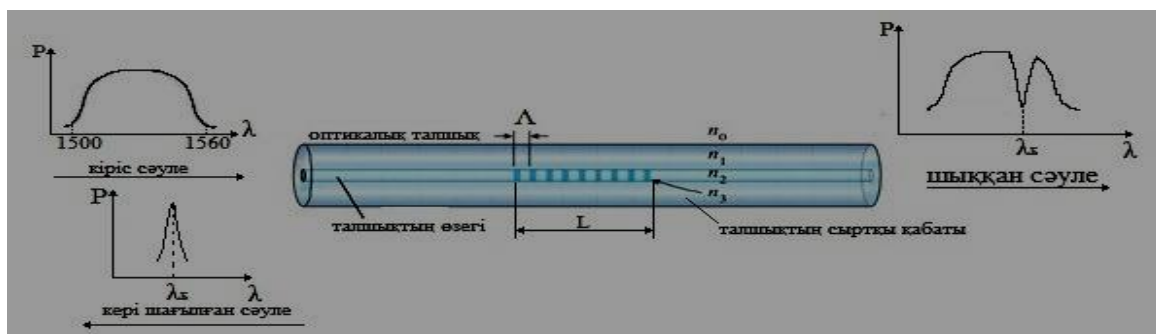
Егер полярланған Жарық оптикалық талшыққа енгізілген КБТБ құрылымымен енгізілсе, қамту режимдерінің диапазонындағы спектр жарықтың поляризациясының айналу бұрышына байланысты өзгереді. Поляризация бұрышының КБТБ құрылымдарының спектрлік сипаттамаларына әсері бұралу және бұралу бұрышын өлшеу үшін қолданылуы мүмкін . Көптеген физикалық шамаларды өлшеу үлкен сақтық пен кіріс сәулесінің поляризация күйін бақылауды қажет етеді, бұл рефрактометрия сияқты өлшемдердің сезімталдығын арттырады [33]. Алайда, егер поляризация күйі бақыланбаса, бұл рефрактометриялық өлшеулердің дәлдігіне қатты әсер етеді. Өлшеу кезінде кіріс

сәулесінің поляризация бұрышындағы өзгерістердің әсерін азайтудың бір әдісі-поляризацияланбаған жарықты пайдалану. Тағы бір тәсілі-кіріс сәулесінің поляризациясының айналу бұрышын дәл бақылау, оны іс жүзінде жасау қиын. Бұл жұмыста КТБТ құрылымына негізделген сенсорлардың спектрлік сипаттамаларына кіріс сәулесінің поляризация бұрышының өзгеруінің әсерін азайту әдісі ұсынылды. Поляризация өзгерістерінің әсерін азайту әдісі Жарық поляризациясының өзгеруіне сезімтал емес жаңа VFG құрылымын жасау болып табылады.

Біздің жұмысымызда біз біртекті VBR құрылымын модификациялаудың артықшылықтарын, оның дифракциялық жазықтықтарын сәл қисайтып, сонымен қатар құрылымның өзінде бұралуды ұсынамыз. Осылайша, бұралған көлбеу талшықты Брэгг торлары (КБТБ) алынады [27]. Бүкіл КБТБ құрылымын бұрау арқылы кіріс сәулесінің поляризация бұрышына сезімталдықтың айтарлықтай төмендеуіне қол жеткізіледі. Сонымен қатар, бұл әсерді бір-біріне қатысты белгілі бір бұрышқа бұрылған екі ТБТ құрылымын қолдану арқылы күшейтуге болады. Мұндай комбинация үшін біз П-ТБТ деп аталатын перпендикуляр көлбеу Брэгг талшықты торын ұсынамыз. Бұл практикалық қосымшаларда үлкен маңызға ие, онда құрылымға түсетін жарықтың поляризация жазықтығындағы өзгерістер әр түрлі болуы мүмкін. Бұл осындай құрылым арқылы таралатын жарықтың оптикалық спектріне әсер етеді. Бұл мақалада сыну көрсеткішін өлшеу үшін осы жаңа П-ТБТ және П-ТБТ құрылымдарын қолдану нәтижелері туралы хабарлаймыз.

## 1.1 Талшықты Брэгг торларына негізделген құралдар мен әдістер

*ТБТ жұмыс принципі және ТБТ анықтау механизмі* ТБТ-ді (мысалы, патогендер) туындаған сыну көрсеткішінің өзгеру сенсоры ретінде пайдалану механизмі 1а - суретте көрсетілген. ТБТ талданатын материалға батырылған кезде, сыну көрсеткішінің өзгеруінен туындаған толқын ұзындығының Брэгг ығысуы түрінде реакция пайда болады [25].



1.1 Сурет - Сыну көрсеткішінің өзгеруін анықтаған кезде ТБТ және КТБТ қолдану мүмкіндіктері

Брегг торынан өткен сәуле мен кері шағылған сәуле ТБТ R1 қоршаған ортасының өзгеруіне өте төмен сезімталдыққа ие, өйткені торлы құрылым талшықтың өзегіне жазылады, ал қабық FBG-нің бұзылған өзегі арқылы таралатын жарықтың талшықтың сыртқы шекарасын қоршаған ортамен әрекеттесуіне қосымша кедергі / кедергі жасайды. Сондықтан талданатын затқа талшықтың өзегіне жақсы қол жетімділікті қамтамасыз ету үшін талшықтың бір бөлігін ою жиі қолданылады. Сонымен қатар, гидроторлы қышқыл (HF) талшықтың қоршаған ортамен әрекеттесетін өшетін өрісті күшейтетін Брегг торының орналасқан жерінде талшық қабығын тазарту үшін қолданылады. ТБТ-дің кейбір қосымшаларында (мысалы, сенсорлар ретінде) ядроның белгілі бір бөлігі де өңделуі керек [18-20].

Біздің жұмысымызда мерзімді Брегг құрылымының дифракциялық жазықтықтары белгілі бір бұрышта сәл қисайған деп болжаймыз. Осылайша, біз жарықтың белгілі бір мөлшерін қабық арқылы және қоршаған орта қабығының шекарасында тарата бастаймыз. Осылайша, қабықтың өңделуі қажет емес, өйткені қабықтың өзі жарық тасымалдаушысы болып табылады және оның қоршаған ортамен байланысы оптикалық периодтық құрылымның спектрлік сигналының өзгеруіне әкеледі.

Сондықтан, біздің жұмысымызда біз ТБТ дифракциялық ұшақтарын бұрау түрінде қосымша процедураны ұсынамыз. Мұндай құрылым алғаш рет [49] ұсынылды. Екінші жағынан, біз П-КТБТ құруды ұсындық, ол бір-біріне қатысты бұралған екі КТБТ-ді белгілі бір бұрышқа орналастыруға негізделген. Бұл екі шешім кіріс сәулесінің поляризация бұрышына қарамастан R1 U-ны дәл өлшеуге мүмкіндік береді. Біздің білуімізше, бұл сыну көрсеткішіндегі өзгерістерді дәл өлшеу үшін құрылымның осы түрін қолданатын алғашқы жұмыс.

## **1.2 Брегг торларын телекоммуникация саласында қолдану**

Телекоммуникациялық құрылымның жетілдірілуіне байланысты ақпаратты таратудың өсу қарқынына, ақпараттық ағындардың өсуіне, ғаламдық ақпараттық жүйенің деңгейіне және пайдаланушылар санының мәліметтер базасына, талшықты-оптикалық байланыс желісіне қажеттілік спектрлік мультипликациялық оптикалық арналарда (WDM) әзірлене бастады. Қазіргі уақытта ол байланыс желісінің стандарттарына сәйкес жасалған, көрші арналар арасындағы интервал 50 ГГц құрайды (шамамен 0,4 нм спектрлік диапазонда шамамен 1,5 мкм). Бір арнаның эксперименттік байланыс желісінің жылдамдығы олардың жалпы саны 200-ге жеткенде 20 Гбит/с құрайды. Мұндай байланыс желісінің жалпы ақпарат беру жылдамдығы-8 Тбит/с қатты дискінің барлық құрылымы 100 Гб-100 миллисекунд шегінде. Мұндай маңызды прогресс талшықты-оптикалық жүйелердің күнделікті көтерілуіне және олардың элементтік негіздеріне негізделген. Атап айтқанда, кең ауқымды жүйелік бағдарлар мен ақпаратты қабылдау сәтті игерілуде, Жарық өткізгіштердің өткізу

қабілеті және оптикалық күшейткіштердің спектрлік диапазоны кеңеюде осыған байланысты, белгіленген сыну көрсеткішімен жүйелі жұмыста алшықты торлардың едәуір бөлігі байқалды.

Сондай-ақ Брегг талшықты торларын пайдалануды шектеу түрі бар. Бүйірлік ТБТ резонансын басу үшін сыну көрсеткішінің модуляциясының амплитудасын тордағы ұзындығы бойынша өзгерту ұсынылды. Ең жақсы спектрлік сипаттама тордың ұзындығы бойынша сыну көрсеткішінің модуляциясын есептей отырып, белгілі бір профильдік заңға сәйкес торлардан тұрады. ТБТ-да белгілі бір деңгейдегі жүйені бастыруға арналған тәсілдер ұсынылды.

Қазіргі байланыс жүйесіндегі ақпарат беруді шектеу жылдамдығының тағы бір факторы-талшықты түстердің хроматикалық дисперсиясы. Бұл қашықтықты арттыру үшін талшықты түстердің дисперсиясының орнын өзгерту керек.

Бұл жасалуы мүмкін пайдалана отырып, компакт-талшықты элемент. ТБТ өтпелі кезеңде болған кезде, мұндай тор белгілі бір уақытқа кідірудің спектрлік компоненттік импульсі арасында енгізуді және оны бастапқы қалпына келтіруді қамтамасыз етеді. Ережеге сәйкес дисперсияны өтеу үшін үлкен ұзындықтағы торлар қажет. Қазіргі уақытта ұзындығы 1 метр сапалы торлар сатып алынды. Айнымалы периодтық тордағы сақиналық дисперсияның мәні учаскеде жүйенің толқын ұзындығы бойынша 1,55 мкм дисперсияның талшықты-оптикалық стандартын өтеуге мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, компенсациялық дисперсиялық импульсті кеңейтудегі ақпарат беру қашықтығын арттырумен қатар, оптикалық сигналды уақтылы күшейту қажет. Қазіргі заманғы талшықты түстердің оптикалық шығындарының әлсіреуін ескермеу керек. Ережеге сәйкес, байланыс желісінің әр 50-100км сигналын күшейту кезінде эрбионды талшықты күшейткіштер қолданылады. Бірнеше оптикалық арналарды бірдей күшейту үшін күшейткіштің күшейту коэффициентінің күшеюі толқынды желі бойынша артық болмауы тиіс. Бұл қолданбалы спектрлік диапазонда күнделікті коэффициентті күшейткіштің жақын орналасуына байланысты. Өкінішке орай, эрбион күшейткіштері спектрлік Вариациялық кірісті құрайды. Бұл иондық эрбиондық концентрация, оның жергілікті ортасы, толқын ұзындығы және оптикалық интенсивті күшейткіш, өзіндік түс ұзындығы және сол сияқты көптеген факторларға байланысты. Спектрлік күшейткішті көрсету үшін ТБТ қолдануға болады.

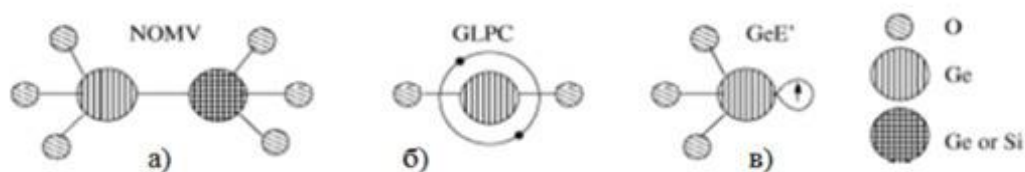
### 1.3 Брегг торы негізінде жасалатын материалмен технологиялар

Брагг торын жасауға қажетті материалдар мен технологиялар туралы қысқаша ақпаратты әйнекте шағылысқан кезде пайда болатын процестерді сипаттау үшін "фотосезімталдықтың" кең мағынасы қолданылады, онда оның сыну көрсеткіші ғана емес, басқа материалдық қасиеттері де өзгереді [14].

Зерттеу барысында германий-Силикат әйнектері ультракүлгін спектрінің үш максималды мәніне ие, олардың сіңуі шамамен 185, 242, 325 нм құрайды [15].

242 нм сіңіру жолағы ең тиімді болып табылады және ультракүлгін сәулелену арқылы  $\text{GeO}_2$  қоспаланған сыну көрсеткішінің талшықты торына жазу үшін жиі қолданылады. Берілген толқын ұзындығы 5 эВ энергиясына сәйкес келеді зерттеу кезінде 5 эВ өзіне сіңіріп жылдамдығын сығымдау температурасы, салқындату жылдамдығы, оттегінің ішінара қысымы сияқты талшықты сығудың бірнеше жағдайларына байланысты [16].

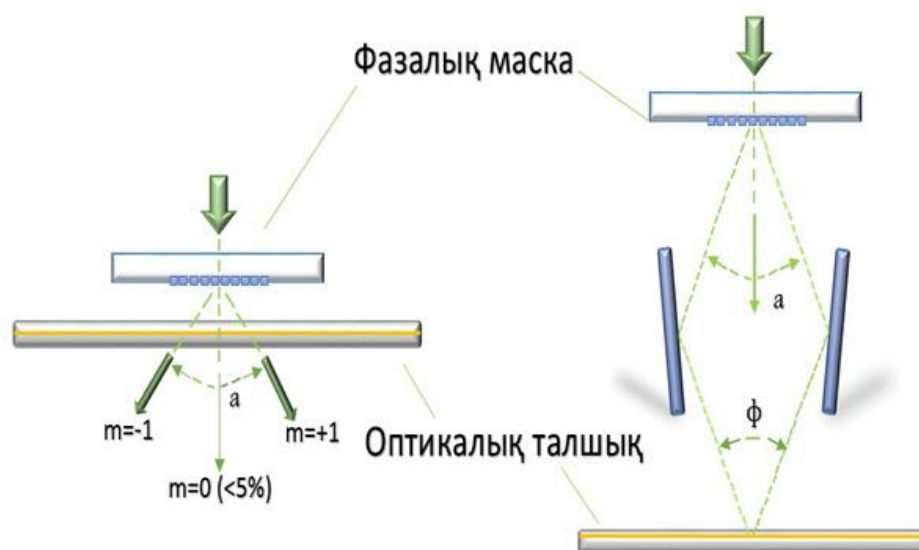
5 эВ шамасындағы сіңіру жолағын дәл зерттеу жұмыста келтірілген [17]. Авторлар сіңіру 5,06 және 5,16 эВ шындары бар екі факторға байланысты екенін көрсетті, олар сәйкесінше германий-Силикат шыны құрылымының гетерогенділігімен, атап айтқанда бейтарап оттегі бос орынымен (bov) (немесе сөзбе-сөз, бейтарап оттегі моноваканциясы-neutral oxygen monovacancies (NOMV)) және екі валентті үймен байланысты Неміс  $\text{Ge}^{2+}$ .



1.2 Сурет - Жалпы элементтердің құрылымы

### 1.4 Фазалық маска әдісі бойынша жазу технологиясы

Бір импульсті эксимер лазері бар фазалық Маска әдісін қолдана отырып, Брагг торын оптикалық талшыққа жазу арқылы көптеген жағдайда импульсті жазу үшін қажет болған дірілден қорғайтын орындармен тіректерден, тұрақты схемасыз жазуға мүмкіндік береді. Фазалық маска методымен талшықты Брегг торы жазбасы сұлбалық диаграммасында қарастырылған.



1.3 сурет-фазалық Маска әдісі арқылы Брэгг торын жазу үлгісі

Цилиндрлік линза екі полюстің бірінен шығатын сәуле көзін фокусқа жинау арқылы қажетті энергия тығыздығын қамтамасыз етеді. Сәулелену көздері фазалық Маска өткеннен кейін +1 және -1 мәндеріне дифракцияланады.

+1 және -1 ретпен келетін интерференциялық кескін оптикалық талшықтың өзегіне тор жазады, оның сыну көрсеткіштері кезекпен өзгереді.

Зерттеу барысында бұл әдіс фазалық Маска кезеңі тұрақты болғандықтан, талшықты Брагг торынан артқа шағылысқан сәуленің толқын ұзындығын өзгертуге мүмкіндік бермейді. Сонымен қатар, бұл әдіс талшықты созылу процесінде де қолдануға мүмкіндік бермейді. Бұл ретте жылжымалы жарық жолдарының жанында оптикалық элементтердің болмауы қамтамасыз етілуі тиіс [24].

Сонымен қатар, ультракүлгін сәуле көмегімен торды қолданар алдында талшықтың сыртқы қорғаныс полимерлі бетін алып тастау керек. Бұл процесс қажет, өйткені талшықтың стандартты қорғаныс полимерлі қабаты ультракүлгін сәулеленуге жол бермейді. Алайда, қорғаныс қабатын алып тастау процесі талшықтың өндіріс уақытын ұзартады және оптикалық талшықтың беріктігін төмендетеді.

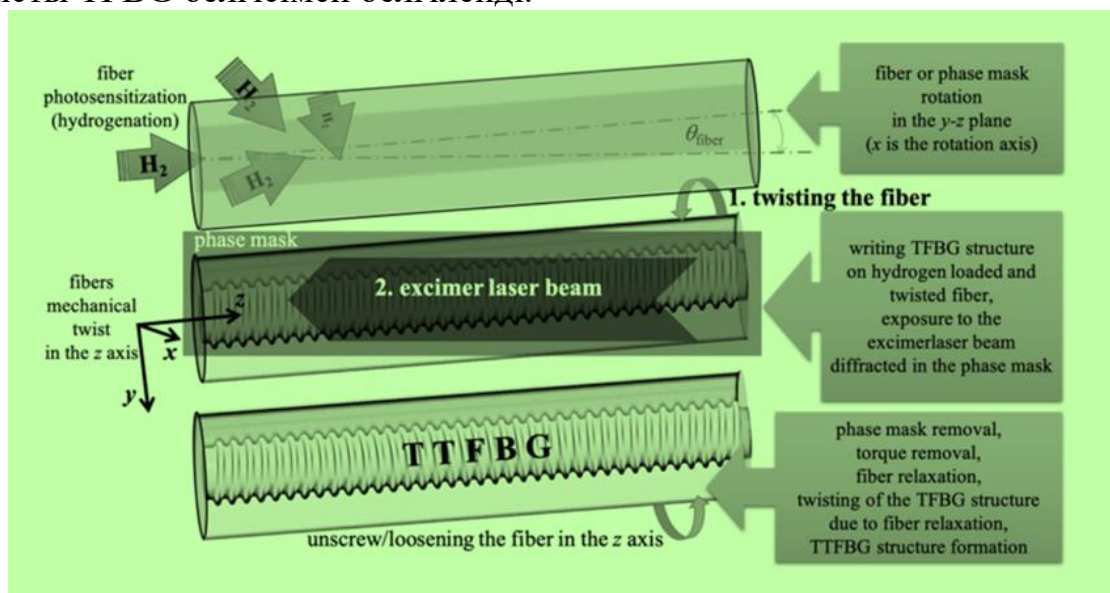
Сондай-ақ, ультрафиолет сәулелерімен сыну көрсеткіштерінің торын полимерлі қорғаныс қабатын алып тастамай жазу әдістері бар, бірақ олардың тиімділігі төмен. Олардың бірі ультракүлгін диапазондағы (244-248 нм) стандартты полимерлі қорғаныс қабаты дәстүрлі жазу диапазондарына (300-364 нм) қарағанда едәуір мөлдір екендігіне негізделген. Бірақ бұл талшықтың фотосезімталдығын жоғарылату үшін қосымша химиялық элементтерді легирлеуді (қосуды) қажет етеді.



## 2. ТБТ СЕНСОРДЫ ЖАСАУ ӘДІСТЕРІ

Бұл мақалада жарық поляризациясының өзгеруіне сезімтал немесе минималды сезімтал болатын ТБТ құрылымын жасауға әрекет жасалды. Алайда, жоғарыда айтылғандай, құрылымның қарапайым бұралуы оңтайлы шешім емес. Қабықпен байланысты режимдермен байланысты беріліс ақауларының амплитудасының өзгеруі аз, ал КТБТ құрылымының бұралу бұрышы үлкен [19]. Поляризация сезімталдығының төмендеуіне қол жеткізу үшін бар ТБТ элементінің бұралуына себеп болу керек. Бұл өз кезегінде оптикалық талшықтың бұралу бұрышын реттеу және дәл бақылау үшін жүйелерді қолдануды қажет етеді. Осы мақсатта өздігінен белгілі бір бұрышқа бұрылатын құрылымдарды алу әдісі қолданылды.

2-суретте мұндай құрылымдарды жасау әдісі көрсетілген. Содан кейін бұл әдіс нақты ТБТ құрылымдарын құру үшін қолданылды, олар бұралуына байланысты TFBG белгісімен белгіленді.

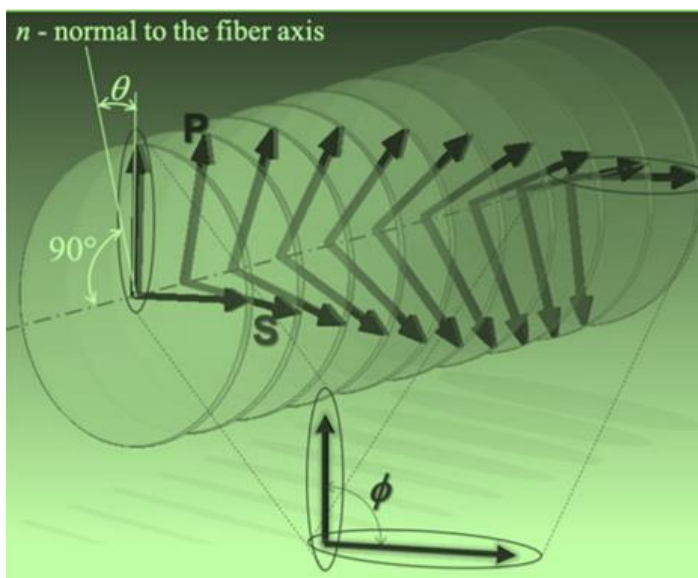


2.1 Сурет-ТБТ құрылымының қалай құрылғанын көрсететін сызба

Сыну көрсеткішінің көлбеуінен басқа, модуляциялар 2.2-суретке сәйкес оның ұзындығы бойынша  $\phi$  белгілі бір бұрышқа бұрылады.

Стандартты бір режимді талшықтар, оларда КТБТ құрылымдары қолданылады немесе ядрода  $GeO_2$  германий диоксидімен 3% деңгейінде легіріледі. Сыну көрсеткішінің өзгеруін тек 10-5 деңгейінде алу жеткілікті. Ядродағы сыну көрсеткішінің өзгеру деңгейін арттыру үшін допинг деңгейін бірнеше есе арттыру керек, бұл технологиялық тұрғыдан қиын. Осы мақалада сипатталған барлық құрылымдар сутегі атмосферасындағы оптикалық талшықтарды фотосенсибилизациялау арқылы жасалды. Бұл процесс сутегі атомдарының оптикалық талшықтың өзегіне таралуына мүмкіндік берді,

осылайша оның ультракүлгін диапазондағы жарыққа сезімталдығын арттырды. Нәтижесінде сыну көрсеткішінің 10-2-ге өзгеруіне қол жеткізілді.



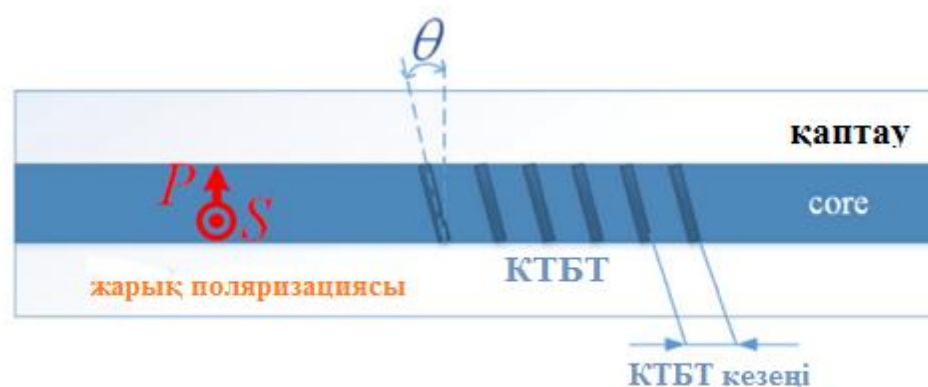
2.2 Сурет - Көлбеу талшықты Брэгг торы құрылымын  $\phi$  бұрышына бұрау. Қызыл көрсеткілер P типті поляризацияны көрсетеді, көк көрсеткілер s типті поляризацияға сәйкес келеді.

Барлық сипатталған құрылымдар көлбеу сыну көрсеткішінің модуляциясы анықтау жүйелеріне белгілі бір шектеулер қоятын бір жалпы қасиетке ие. Осылайша, егер полярланған Жарық талшыққа ТБТ көмегімен енгізілсе, таңдалған қабық режимдеріне сәйкес келетін өткізу қабілеті сол жарықтың поляризация күйіне байланысты өзгереді. Осылайша, кіріс сәулесінің поляризациясының ТБТ құрылымдарының спектріне әсері поляризация жазықтығының күйін (мысалы, бұрыш) басқару қажеттілігін анықтайды. Демек, кіріс сәулесінің поляризация бұрышының көлбеу периодты құрылымдардың оптикалық параметрлеріне (мысалы, өткізу сипаттамаларының пішініне) әсерін азайтуға немесе жоюға әкелетін зерттеулер негізделген.

Сондай-ақ, механикалық бұралған талшықта ТБТ құрылымы іс жүзінде қалыптасатынын атап өткен жөн. Осылайша, келесі қадам-талшықты релаксация деп аталатын босату. Бұралу талшықтың серпімділігі шегінде жүретіндіктен, моменттің әлсіреуі талшықтың оның ашылмаған күйіне оралуына әкеледі. Өз кезегінде, бұл бұралған талшыққа жазылған ТБТБ құрылымын талшықты релаксация нәтижесінде КТБТБ құрылымына айналдырады.

ТБТ құрылымында асимметриялық LP<sub>1m</sub> модульдері екі поляризация үшін спектрлік сипаттамадағы экстремалар деп түсінілетін екі бөлек өткізу қабілетіне ие. Модалардың бөлінуі-оптикалық талшықтың өзегіндегі сыну көрсеткішінің өзгеру жазықтығының көлбеу әсері. Оптикалық талшыққа енгізілген полярланған Жарық тордың көлбеу жазықтықтарына қатысты бағытына байланысты бөлінген режимнің спектрлік сипаттамаларының

амплитудасының өзгеруіне әкеледі. Бұл әсер екі жақты беріліс деп аталады. Бұл қасиет айналу, бұралу және иілу өлшеу үшін пайдаланылуы мүмкін [17,25,26]. Нәтижесінде пайда болған екі ортогональды поляризация күйі P және S деп аталады, ал p-поляризация күйі y-z осьтерімен түзілетін жазықтықта таралатын сызықты полярланған жарықты анықтайды (яғни шағылысатын беттер көлбеу жазықтықта, яғни көлбеу жазықтықта). Екінші жағынан, s-полярланған күй осы жазықтыққа перпендикуляр таралатын сызықты полярланған жарықты анықтайды [27,28]. Екі күйдің кеңістіктік бағдары 2.3-суретте көрсетілген.

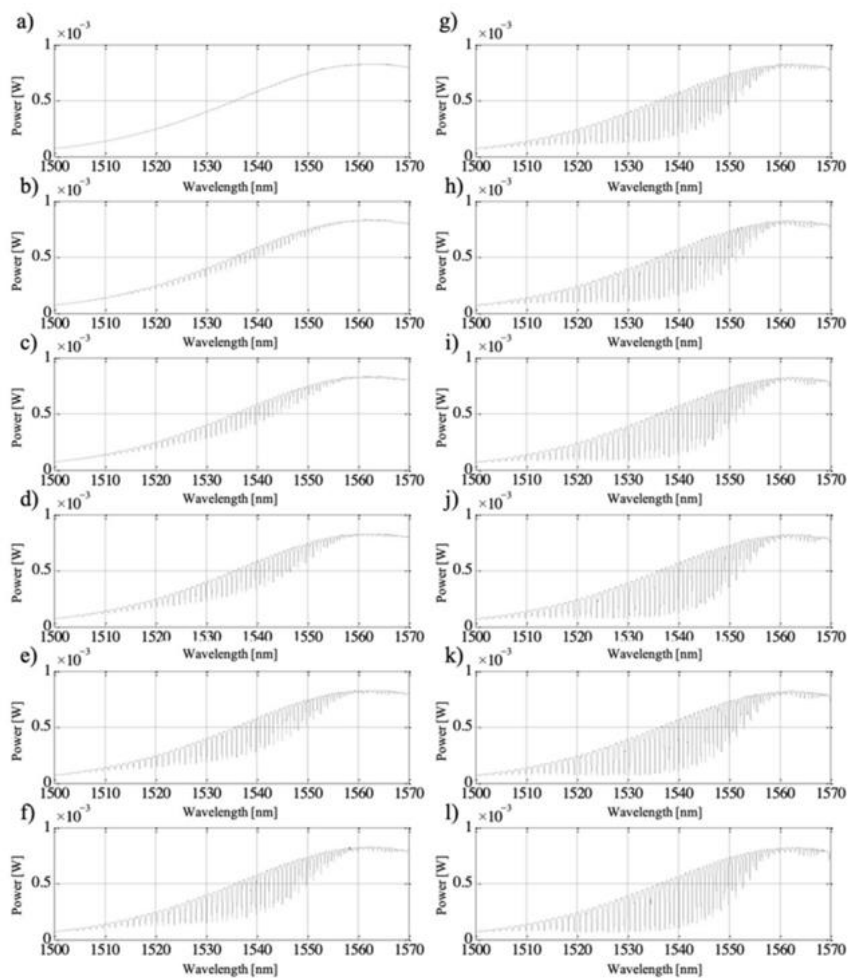


2.3 Сурет - Көлбеу талшықты Брэгг торы құрылымында екі ортогональды поляризация күйін белгілеу

S - және P-резонанстарының толқын ұзындығының айырмашылығы жоғары деңгейлі режимдер үшін үлкен. Сонымен қатар, бұл айырмашылық шағылысатын жазықтықтардың үлкен көлбеу бұрыштары бар торлар үшін үлкен [17]. Көршілес симметриялық LP<sub>0</sub> және асимметриялық LP<sub>1m</sub> модульдері арасындағы қашықтықтың ұлғаюы TFBG қолданылатын оптикалық талшық өзегінің диаметрін азайту арқылы мүмкін болады [20]. Көп режимді талшықтарға жазылған КТБТ, көп режимді талшықты көлбеу Брагг торлары деп аталады, ядро диаметрі үлкен, бұл поляризация күйі өзгерген кезде мүлдем басқа спектрлік өзгерістерге әкеледі [21]. Қаптау режимдеріне сәйкес келетін спектрлік параметрлердің өзгеруі аясында поляризация өзгерген кезде құрылымның қасиеттерін егжей-тегжейлі талдау [24].

Бұл жұмыстың мақсаттары үшін КТБТ = 525 нм және  $\theta = 5$  кезеңімен шығарылды. 2.4-суретте көрсетілгендей 30-ға дейін режимдердің байланысын көрсету үшін. Бұл суретте TFBG өндірісі кезінде 180° бұралған оптикалық талшықтың өткізгіштік сипаттамаларының минимумдарын қалыптастыру процесінің дәйекті кезеңдері көрсетілген. Сипаттамалары 2 және 3-суреттерде көрсетілген құрылым үйлесімді лазер Inc көмегімен қолданылды, қуаты 100 МДж және қайталау жиілігі 100 Гц. Талшықтың әсер ету уақытының ұлғаюы жарықтың қабық режимдерімен күшті байланысынан туындаған өтудің

спектрлік сипаттамаларының жеке минимумының жоғарылауына әкелді. Бұралған талшықтағы бүкіл құрылымды жасау уақыты 48 с құрады.

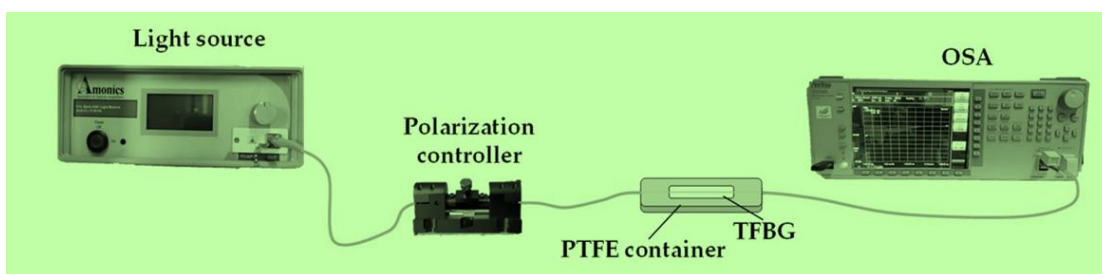


2.4 Сурет - Оптикалық талшықтағы КТБТ құрылымын қалыптастыру процесі 180°бұрышқа бұрылды.

Суретте лазерді өшіргеннен кейін әр түрлі уақытта өлшенген беріліс сипаттамалары көрсетілген (a) 4, (b) 8 дюйм, (c) 12 дюйм, (d) 16 дюйм, (in) 20 дюйм, (f) 24 дюйм, (g) 28 дюйм, (h) 32 дюйм, (i) 36 дюйм, (j) 40 дюйм, (k) 44 дюйм, (l) 48 дюйм.

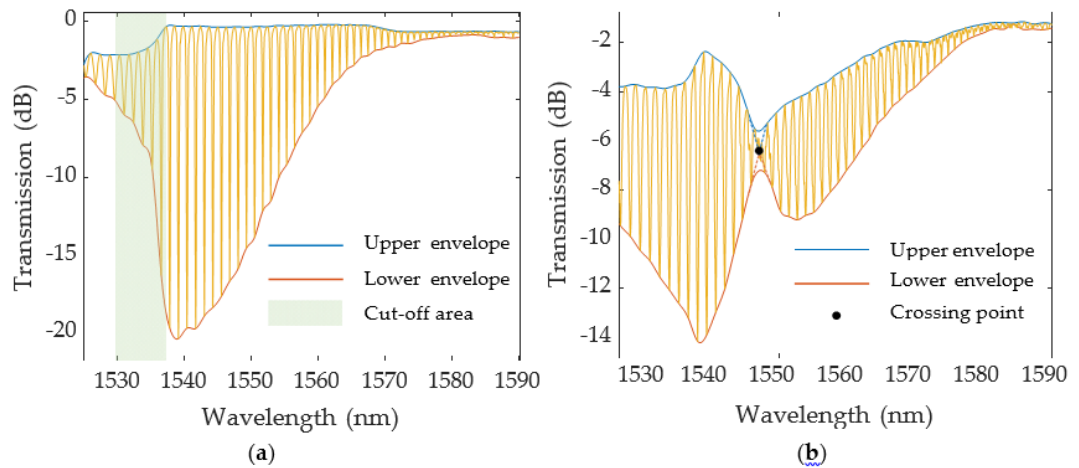
## 2.1. Спектрлерді алу және КТБТ мәліметтерін талдау

6-суретте көрсетілген КТБТ сұрау орнатуы 1528-1608 нм диапазонында жұмыс істейтін және қолмен поляризация контроллеріне (OZ-тен FPC-100) қосылған жарық көзін (Amonics, Kowloon, Гонконгтан ASE C+L жарық көзі) пайдаланды. Оптика, Оттава, Онтарио, Канада). КТБТ оптикалық спектрлері TFBG-ге қосылған 0,05 нм ажыратымдылығы және 1525-1590 нм диапазонындағы толқын ұзындығы терезесі бар оптикалық спектр анализаторын (OSA, Anritsu корпорациясының MS9740A үлгісі, Канагава, Жапония) пайдаланып жіберу режимінде алынды, ол өз кезегінде поляризация реттегішіне қосылды. Au-TFBG жағдайында поляризация реттегішінің орны түскен жарық БПР қосу үшін P-поляризацияланған және оптикалық спектрдегі ең жоғары шымшуға қол жеткізу үшін одан әрі оңтайландырылатын етіп реттелді (2.5-сурет) [5].



2.5 Сурет - ТБТ сенсорларын қолдана отырып тәжірибелік қондырғы (сурет масштабталмайды)

Содан кейін алынған спектрлер MATLAB R2021a көмегімен зерттелді, ал қолданылған спектрлік талдау әдістері 2.6-суретте көрсетілген. Бұл әдістерге (i) ең сезімтал режимнің толқын ұзындығы мен амплитудасының ығысуын қадағалау; төменгі конверттегі, сондай-ақ (iii) жоғарғы конверттегі өзгерістерді бақылау; TFBG жағдайында жоғарғы және төменгі конверттердің қиылысу нүктесін есептеу; және (v) 1530-дан 1580 нм-ге дейінгі спектрлік терезеде 0-1 дБ-ге дейін тасымалданатын спектрлерді қалыпқа келтіргеннен кейін MATLAB жүйесінде трапция функциясын пайдалана отырып, жоғарғы және төменгі конверттер арасындағы аумақты есептеу. Хатқалталар MATLAB жүйесіндегі конверт функциясы арқылы кем дегенде  $N$  нүктемен бөлінген жергілікті максимумдар үстінен сплайнды қолданатын "шыңы" параметрі арқылы жасалды. Бұл мән әр КТБТ үшін спектрге сәйкес келу мақсатында анықталды (жалаң КТБТ үшін  $N = 900$  және Au-TFBG үшін  $N = 1000$ ). Қиылысу нүктесін есептеу үшін қолданылатын әдістеме [15] сипатталған әдістемеге негізделген. 4 а, б сәйкесінше жалаңаш TFBG және Au-КТБТ үшін төменгі және жоғарғы қабықтарды көрсетеді. Назар аударыңыз, бұл күріш. 4 а, б жалаңаш TFBG үшін кесу аймағын және берілген ау-КТБТ спектрі үшін төменгі және жоғарғы жиектер арасындағы қиылысты бөледі.



2.6 Сурет - (а) жалаң КТБТ және (b) Au–КТБТ үшін тиісті талдау әдістері үшін қолданылатын жоғарғы және төменгі конверттерді көрсететін берілген спектрлер.

Сенсорлар мен демодуляция әдістерінің тиімділігі әр жағдайда алынған LOD негізінде бағаланды және салыстырылды. Бұл көрсеткіш келесі өрнек арқылы анықталды [2.1]:

$$LOD = \frac{3\sigma}{S} \quad (2.1)$$

мұндағы  $\sigma$  у кесіндісінің стандартты ауытқуы және  $S$  сезімталдыққа сәйкес келеді, яғни сызықтық жауап аймағында концентрациясы бар толқын ұзындығы немесе амплитудалық вариациялар үшін алынған сызықтық регрессияның еңісі.



## 2.2 Зерттеу кезінде кездесетін әдістерді талдау

Бұл жұмыста дайындалған екі сенсор арқылы жүргізу үшін тиісті түрде жұмыс істеді, спектрлік талдау үшін таңдалған әдіс олардың жұмысына айқын әсер етті. КТБТ көмегімен алынған нәтижелердің қысқаша мазмұны 1-кестеде келтірілген, оларды салыстыруды жеңілдету үшін талдау әдістері әртүрлі.

Осы зерттеуде қолданылған әрбір демодуляция стратегиясы КТБТ негізіндегі сенсорлар үшін спектрлік өзгерістерді декодтауға қабілетті болды және Ленгмюр–Фрейндлих адсорбция моделіне лайықты бейімделді. Бұл модель сенсор реакциясы алғашқы сыналған концентрациялар үшін ең үлкен болғанын және қанықтыру салдарынан концентрацияның жоғарылауымен күтілгендей төмендегенін көрсетеді. Алайда, төменгі конверт әдісі КТБТ үшін де толқын ұзындығына үлкен жауап тапты, бұл қанықтылық деңгейінің өзгеруін ( $\Delta R_{\max}$ ) ескере отырып, LOD-дың ең төменгі мәндеріне жетті. Айта кету керек, екі КТБТ LOD үшін төменгі конверт әдісін қолдана отырып, ең сезімтал режим әдісі арқылы анықталған әдіске қарағанда төмен (сәйкесінше 0,75 нг/мл-ге қарсы 7,85 және 0,19 нг/мл-ге қарсы 1,97). Конверт қисықтарының толқын ұзындығының ығысуы ең сезімтал режимдердің ығысуынан асып түсетіндігін ақтауға болады, өйткені олар бірнеше резонанстардан тұратын спектрдің белгілі бір аймағының өзгеруін ескереді, олардың әрқайсысы басқаша ауысады, ал мод әдісі тек бір резонанстың прогрессиясын бақылайды, сондықтан оның спектрлік жақындығына тәуелді емес. Алайда, бұл тәсіл анықтау нәтижелерін күшейту арқылы толқын ұзындығының өзгеруін растайтын тұрақты амплитудалық өзгерістерді қамтамасыз етті. Шын мәнінде, Au-КТБТ үшін амплитудалық ығысу негізінде есептелген LOD төменгі конверт әдісімен алынғанға өте жақын болды, бұл нәтижені растайды. Алайда, амплитудаға негізделген әдістер сыртқы кедергілерге сезімтал [23], мысалы, қуат деңгейінің ауытқуы.

Au-КТБТ үшін қиылысу нүктесінің жалпы реакциясы төменгі және жоғарғы конверттердің жауаптары үшін орташа болды, өйткені екеуі де осы әдісті қолдана отырып қарастырылды. Алайда, ең төменгі концентрация үшін қиылысу нүктесін қолдана отырып, кішігірім ауытқулар тіркелді, бұл басқа екі әдісті қолданғаннан гөрі LOD-ны жоғарылатты.

Егер конверттер арасындағы аймақтарды қарастыратын болсақ, онда Au-КТБТ үшін дәйекті өсу байқалды, ал жалаң КТБТ үшін шамалы өзгеріс байқалды. Бұл нәтиже плазмалық сенсордың үлкен реакция амплитудасына байланысты болуы мүмкін (0,67 дБ-ге қарсы 1,99). Сонымен қатар, бұл әдіс қоршаған RI-нің едәуір өсуімен жақсы нәтиже көрсетеді, өйткені спектрдің индукцияланған тегістелуі оның пішінін, демек, конверттер арасындағы ауданды айтарлықтай өзгертеді.

ТБТ спектріндегі қабық режимінің резонансы көп болғандықтан, спектрлік талдауды орындау кез-келген әдіс үшін қиын міндет екенін атап өткен жөн. Бұл, біріншіден, әртүрлі режимдер толқын ұзындығы мен амплитудасы бойынша әр түрлі әрекет етеді, екіншіден, конверт қисығы үшін әр резонанс арқылы көрінетін

өзгерістерді дәл көрсету мүмкін емес. Сонымен қатар, бұл конвертті спектрге сәйкестендіруді қиындатады, өйткені ол әр резонанстың сипаттамаларын қамтуы керек. Әр спектрге сәйкес келетін конверттің сезімталдығы жоғары концентрация үшін жалаңаш КТБТ көмегімен сыналған толқын ұзындығының ығысуындағы тербелістерге ішінара жауап беруі мүмкін.

Қысқаша айтқанда, спектрлік талдау үшін таңдалған әдіс сенсордың өнімділігін анықтауда шешуші рөл атқарады және айтарлықтай әртүрлі нәтижелерге әкелуі мүмкін деген қорытынды жасауға болады. Барлық стратегиялардың артықшылықтары мен кемшіліктеріне қарамастан, 2-кестеде көрсетілгендей, төменгі конверт әдісі осы жағдайды зерттеуде көзделген қолдану үшін ең қолайлы болып шықты, себебі ол спектрлік өзгерістерді клиникалық тұрғыдан маңыздырақ төмен концентрациялар үшін бақылауға мүмкіндік берді. Сонымен қатар, қанығудың үлкенірек анықталатын өзгерістері талданатын заттың бар немесе жоқтығын сенімді түрде анықтау үшін сенсорлық талдау үшін өте маңызды.

2.1 Кесте - Әртүрлі талдау әдістерінің артықшылықтары мен кемшіліктері

Талдау әдісі	Талдау параметрі	Артықшылығы	Кемшіліктері
Жалғыз режим	Толқын ұзындығы	Кіші спектрлік өңдеу	Төмен RI диапазоны үшін төмен сезімталдық; Талдауға арналған көптеген модельдер
	Амплитуда	сезімтал; жоғары сезімталдық	Сыртқы әсерлерге және қуаттың ауытқуларына көбірек сезімтал; Талдауға арналған көптеген модельдер
Конверт	Толқын ұзындығы	Жоғары сезімталдық; қарапайым бақылау	Спектрлерге баптау
	Ауданы	Жоғары сезімталдық	Қосымша спектрлік өңдеу; Төмен RI диапазоны үшін төмен сезімталдық; Спектрлерге баптау
	Қиылысу пункті	Толық автоматтандырылған; Екі конверттің өзгеруін қарастырады	Қосымша спектрлік өңдеу; Спектрлерге баптау

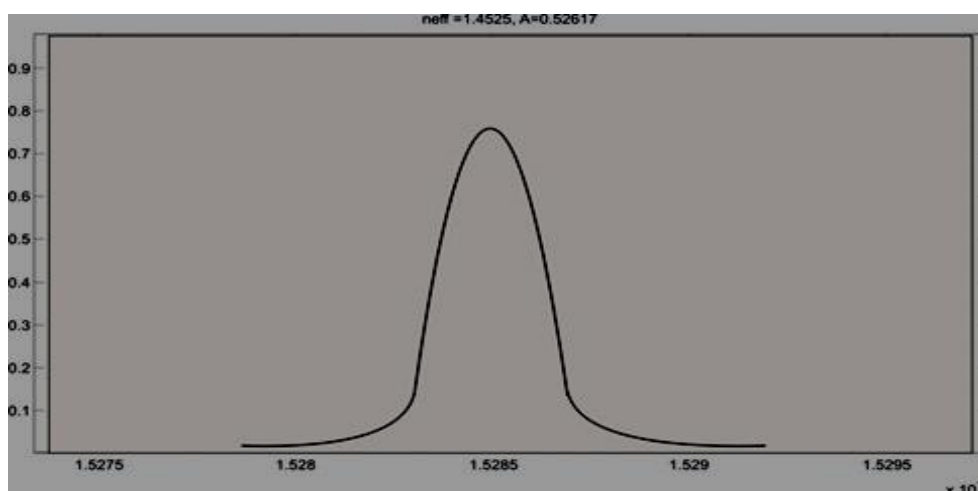


Екінші жағынан, көлбеу талшықты Брегг торлары сенсорларының екі түрін бағалау кезінде анықтау тиімділігінде үлкен айырмашылық бар екені расталды. LOD мәндерін зерттеу кезінде плазмоникалық сенсор демодуляция әдісіне карамастан тамаша нәтиже көрсетеді, яғни ол бұл маркерді таза КТБТ-ге қарағанда төмен концентрацияларда анықтай алады. Сонымен қатар,  $\Delta R_{\max}$  арқылы көрсетілген конверттің жалпы ығысуын салыстыру арқылы Au-КТБТ ауқымды спектрлік өзгерістерді қамтамасыз етеді, сандық анықтауды жеңілдетеді және осылайша анықтау үшін қажетті деректерді өңдеуді жеңілдетеді.

Осылайша, БПР әсері сенсорлық аймақты сенсордың бетінде болатын байланыстыру реакцияларына сезімтал етеді деп қорытынды жасауға болады. Дегенмен, Au-КТБТ таза КТБТ-ге қарағанда поляризацияға әлдеқайда сезімтал және SPR қолтаңбасы оңтайландырылған болуы керек. Осы нәтижелерге сүйене отырып, Au-КТБТ сенсоры анықтау үшін ең қолайлы болып табылады, созылмалы жағдай үшін оны жақсарту керек болса да, жедел жүрек жеткіліксіздігі үшін клиникалық маңызы бар LOD көрсетеді.

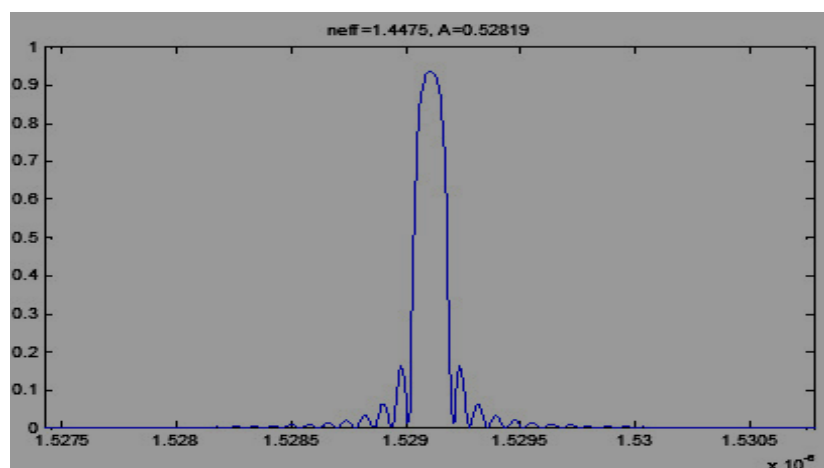
### 2.3 Ападизацияланған торлардың сипаттамаларын алу

Жалпы Брегг торы кезінде амплитудасы тұрақты түрде болады. Сыну көрсеткішінің модуляциясы келесі сұлбадағыдай болады.



2.7 Сурет - Аподизацияланған қарапайым түрі

Осындай біртекті жазылған сыну көрсеткішінің модуляциясынан шағылысқан сәуленің спектрлік сипаттамасындағы Фурье түрлендіруіндегі гармоникалық тербелістердің шексіз көптігіне байланысты, екінші және үшінші гармониканың негізгі гармониканың қасындағы теріс әсеріне байланысты (сурет.2.15), олар ыңғайлы терезелермен реттелуі керек.



2.8 Сурет - Аподизацияланбаған түрі

## 2.4 Зерттеу барысындағы спектр сипаттамалары

Сынақтан өткізу үшін қолданылған сенсорда алдымен қоршаған ортаның 35-тен 56-қа<sup>о</sup>С температурасымен 5<sup>о</sup>С қадам арқылы өзгерісі алынды. Сыну көрсеткішіне қатысты фаза айырмасы теңдеуге сәйкес және 2.2-кестеде келтірілген.

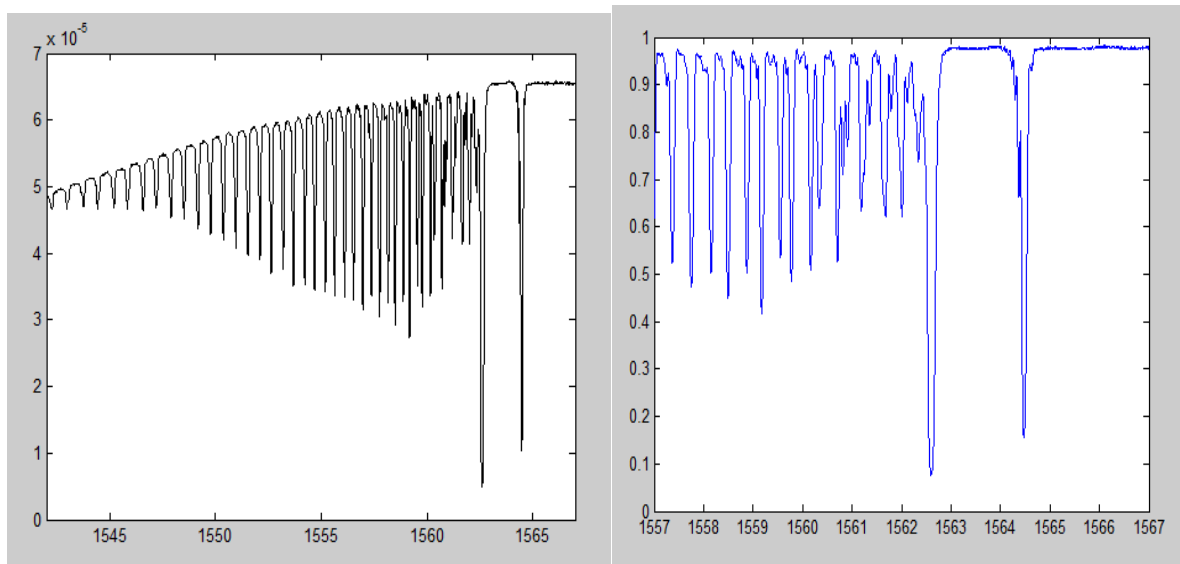
2.2 Кесте Температураның сыну көрсеткішінің өзгерісіне байланысты фаза айырмасына әсері

T °C	$\phi * 2\pi$	$\Delta$	d n	T °C	$\phi * 2\pi$	$\Delta$	d n
35	9.50		1.6211	47	43.75		7.6434
38	1/.5		3.0/1/1	50	48.75		8.5226
41	24.75		4.3026	53	53.50		9.4017
43	31.50		5.4895	55	57.50		10.061
44	38.25		6.6763	56	61.25		10.721

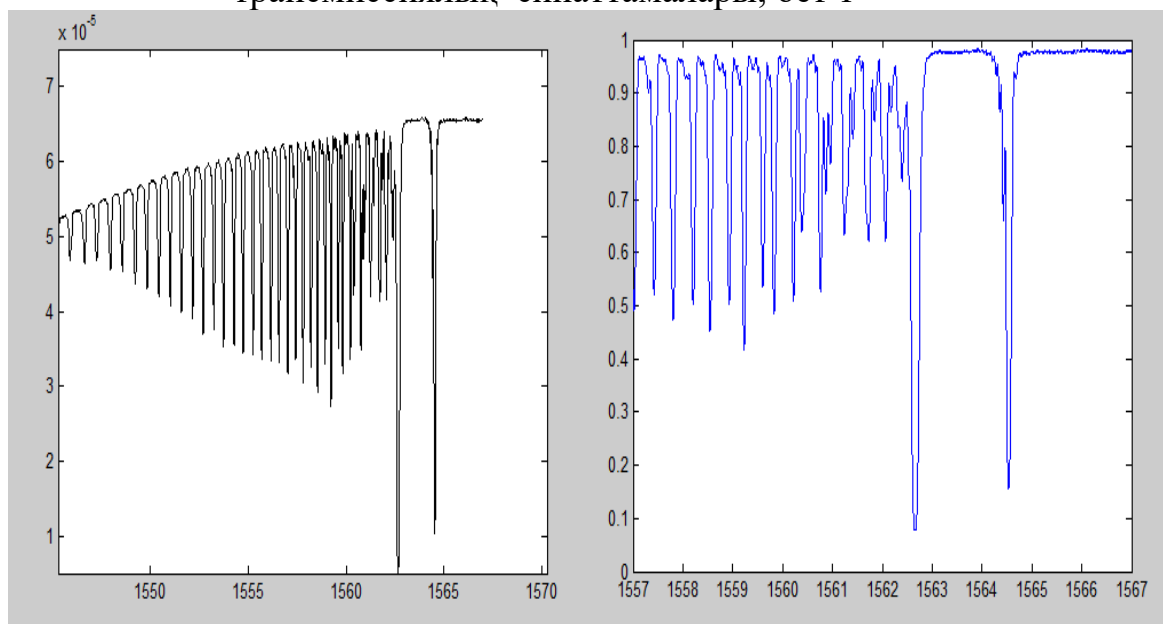
Температура мәнінің фаза айырмасына қатынасы сызықты байланыста болуы тиіс және сыну көрсеткішіне байланысты өзгереді. Суретте көрсетілгендей калибрлік қисық осындай сенсор үшін сезімталдық қисығы ретінде қолданылуы мүмкін.

Бұл графиктер Брэгг торларының қисықтарының спектрлік трансмиссиялық сипаттамаларынан тұрады. Торлардың бұл қисықтары талшық өсінің ұзындығына дейінгі 2 градуспен иілген. Қара графиктерде «х» өсінде

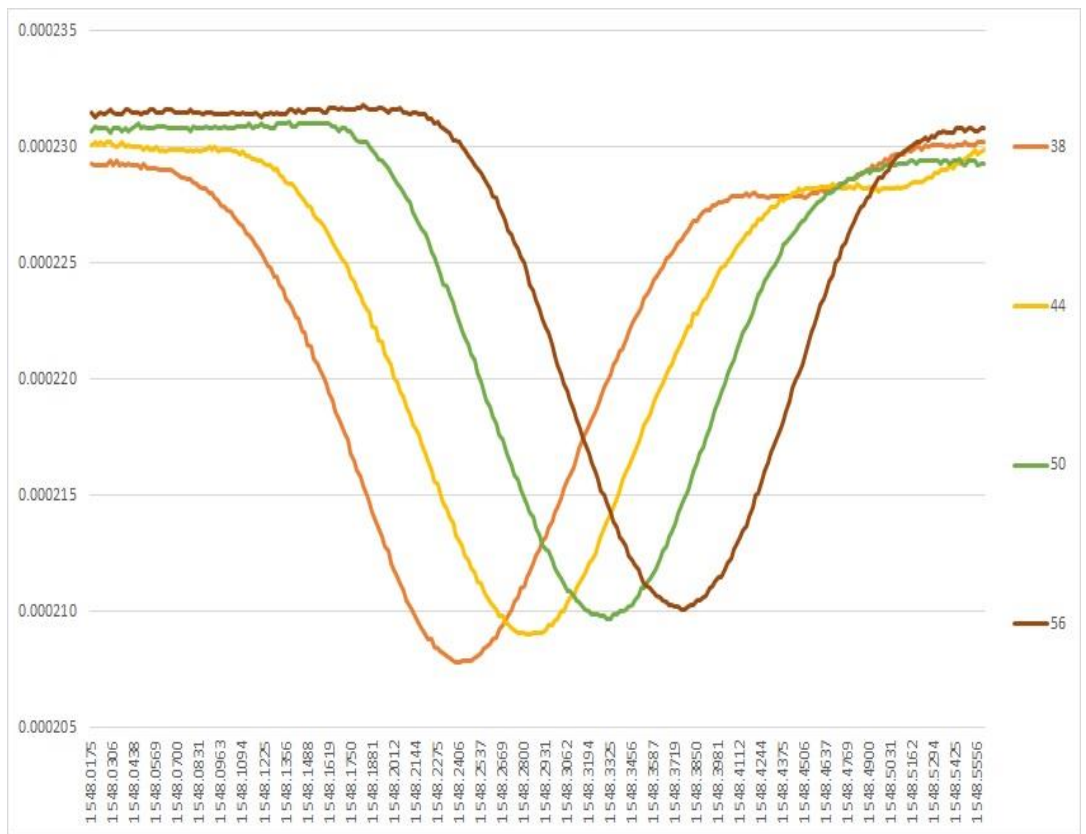
толқын ұзындықтары тор арқылы нанометрлік өлшемде өтеді, ал «у» өсінде шығыс сигнал ваттпен көрсетіледі. Көк графиктерде «у» өсінде қалыпқа келтірілген шығыс сигнал, ал «х» өсінде кіріс толқындардың ұзындығы көрсетілген. Бұл графиктерде температураны ұлғайтатын спектрлер келтірілген, ал оларда торлар орналасқан. Бұл зерттеліп отырған бөлімде қара графикте көрсетіліп отырған қарапайым оптикалық талшық болса, ал көк графикте Брэгг торы жазылған кездегі көрінісі.



2.9 Сурет - Оптикалық талшықты Брэгг торларының спектралды трансмиссиялық сипаттамалары, бет 1



2.10 Сурет - Оптикалық талшықты Брэгг торларының спектралды трансмиссиялық сипаттамалары, бет 2

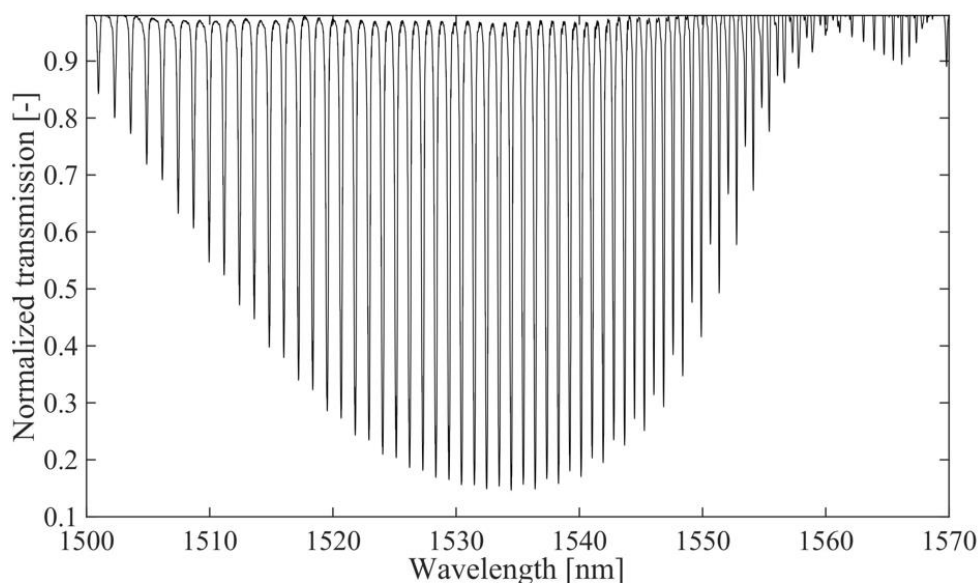


2.11 Сурет - 38<sup>0</sup>С, 44<sup>0</sup>с, 50<sup>0</sup>, 56<sup>0</sup> градус аралығындағы график

### 3. ЭКСПЕРИМЕНТТІК НӘТИЖЕЛЕР

#### 3.1. Поляризацияға сезімталдықтың нәтижелерін алу

Біріншіден, құрылымның бұралуының оның өткізгіштік спектрінің кіріс сәулесінің поляризациясына тәуелділігіне әсерін көрсету үшін біз tfbg белгілі  $\varphi$  бұрышымен бұралған зерттеу жүргіздік. Зерттеу үшін tfbg көлбеу бұрышы  $\theta = 5$  жасалды. Бүкіл құрылымды индукцияланбаған бұралусыз беру сипаттамалары 6-суретте көрсетілген.



3.1 Сурет - Талшықты Брэгг торы құрылымының спектрлік сипаттамалары

Айналдырылған құрылым үшін поляризация бұрышының өзгеруіне байланысты спектрлік эволюция ( $\varphi = 0^\circ$ ) және 1530-1544 нм спектрлік диапазонда  $\varphi = 45^\circ$  және  $\varphi = 90^\circ$  бұрыштарында бұралған 7 суретте көрсетілген. Үш спектрлік сипаттама кіріс сәулесінің поляризация бұрышының үш түрлі мәні үшін өлшенді. P типті Поляризация  $45^\circ$  бұрышқа бұрылды (S|P типіне сәйкес келеді, ал поляризация S типіне сәйкес  $90^\circ$  бұрылады).

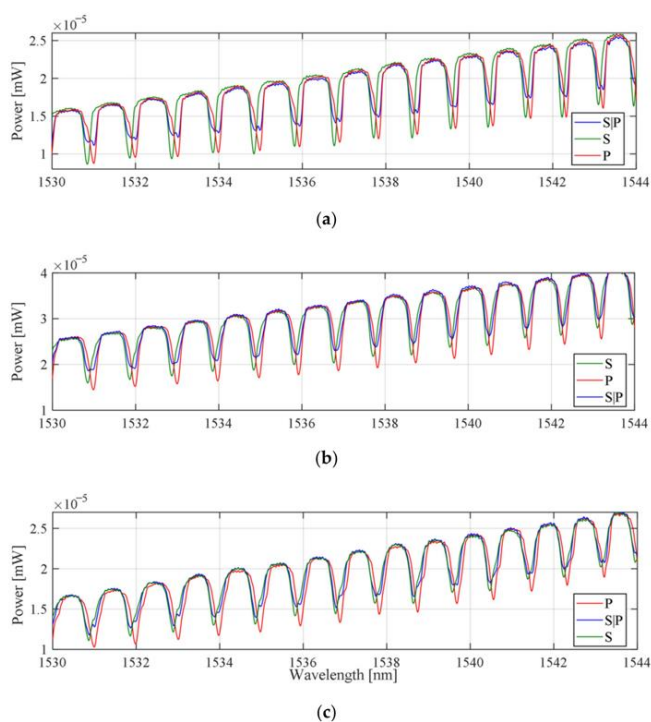
Біздің жұмысымызда сыну көрсеткішінің елеусіз өзгерістерін анықтау үшін модификацияланған КТБТ құрылымдарынан тұратын құрылымды қолдануды ұсынғандықтан, мұндай Брэгг құрылымдарының спектрлік сипаттамаларында қосымша өзгерістер тудыратын негізгі факторларды жою қажет.

КТБТ (КТБТБ емес және P-TFVG емес) сыну көрсеткішінің мәндерінің өзгеруіне сезімталдығын бағалау үшін біз  $\theta = 7$  бұрышы бар құрылым құрдық, содан кейін КТБТ спектрінің бөлігі болып табылатын таңдалған тамшылар RIU

ортасының өзгеруіне қалай әсер еткенін зерттедік. Ол үшін біз глюкозаның сулы ерітіндісін дайындадық және бүкіл ерітіндінің массасын және глюкозаның массасын бақылап, сыну көрсеткішінің нақты мәнін анықтадық. 8-суретте таңдалған tfbg шыңының толқын ұзындығына сәйкес келетін спектрлік диапазон көрсетілген, ол көлбеу бұрышы  $\theta = 7$  RIU өзгерістеріне қатты әсер етті.

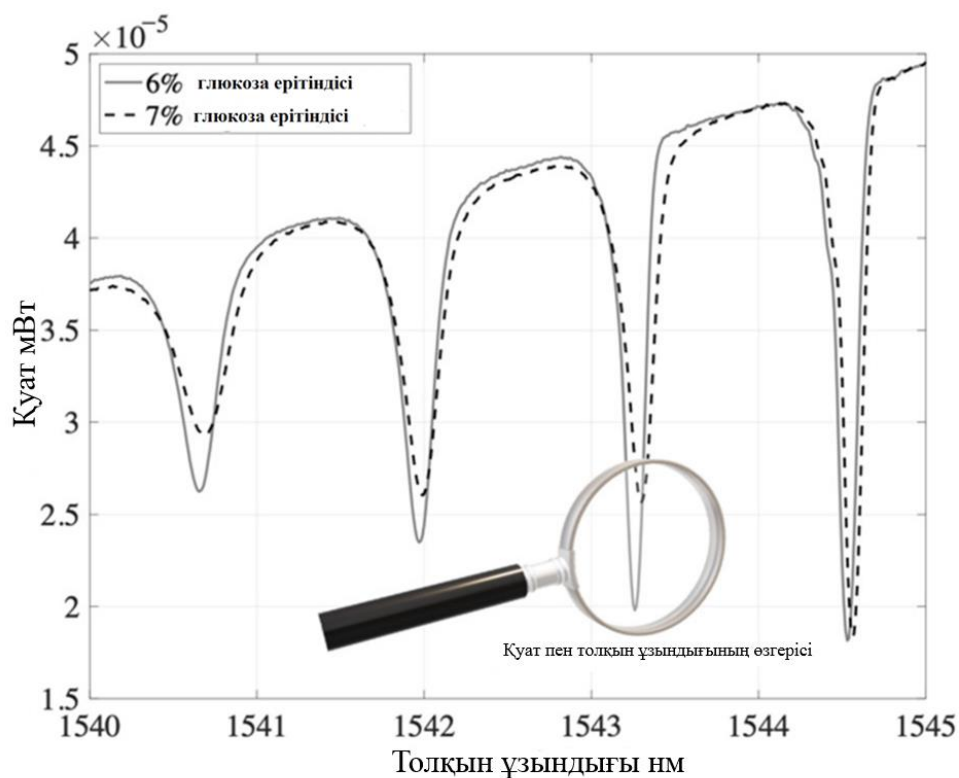
концентрациясының 1% өзгеруі сыну көрсеткішінің 0,0015 RIU өзгеруіне әкелді.

Осы алғашқы сынақта біз сезімталдықты оптикалық қуаттың өзгеруінің RIU өзгеруіне қатынасы ретінде анықтаған жоқпыз, өйткені сигнал қуатының мәні талшықты қаншалықты қоздыратынымызға байланысты (яғни кіріс қуаты қандай).



3.2 Сурет - Толқын ұзындығы үшін кіріс жарығының үш поляризация жағдайы.

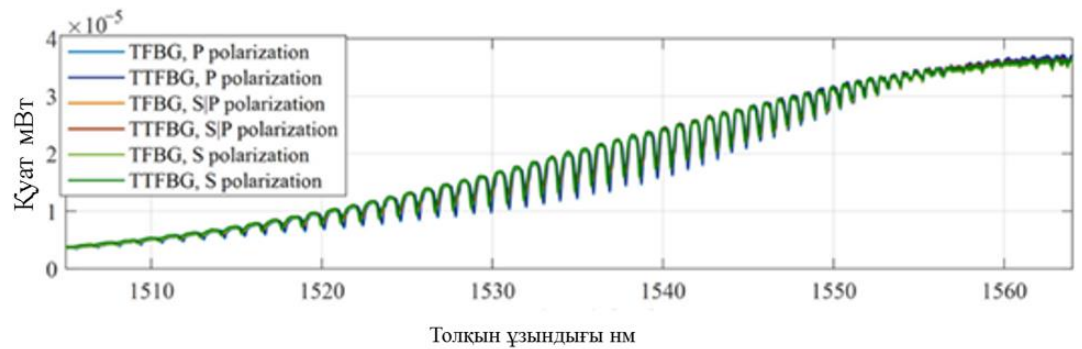
Көлбеу талшықты Брегг торлары  $\theta = 5^\circ$  спектрлік өлшеулерінің нәтижелері: (a)  $\varphi = 0^\circ$  айналдырылған, (b)  $\varphi = 45^\circ$ , (c)  $\varphi = 90^\circ$ .



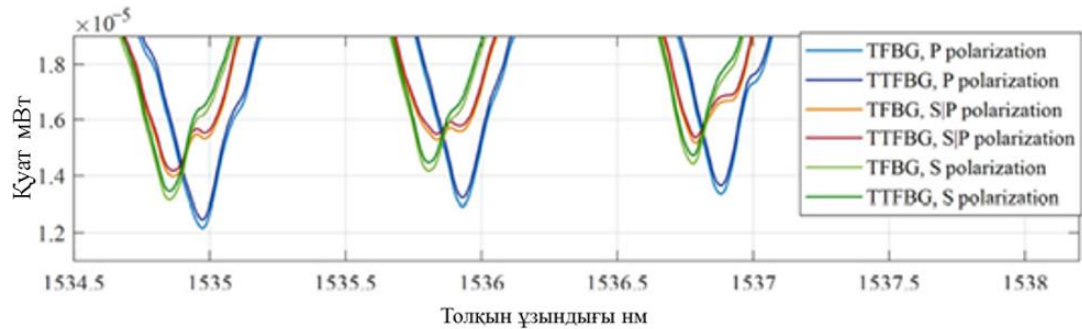
### 3.3 Сурет - Глюкоза концентрациясының 1% - ға өзгеруінен туындаған берілу режимінде өлшенген спектрлік сипаттамалардың өзгеруі

Бұл лазерлік диод үшін (1550 нм-де) және басқа қалпына келтірілген лазер үшін (шамамен 1550 нм-де) әр түрлі болады. Сондықтан мақаланың қалған бөлігінде біз қуатты өзгертудің орнына берілісті өзгертуге көштік. Біздің алдынала өлшеулерімізде  $R1 U$ -дің 10-6 ретті өзгеруі  $88,88/R1 U$  диапазонындағы орташа сезімталдыққа сәйкес келетін  $88,88 \cdot 10^{-6}$  беріліс коэффициентінің өзгеруіне әкелді. Мысалы, егер мұндай сенсорға осы толқын ұзындығы үшін 100 Вт қуат беретін жарық көзінен сигнал енгізілсе, онда берілген  $R1u$  өзгерісіндегі қуат айырмашылығы  $8,88 \text{ Нвт}/10^{-6} R1 U$  болар еді. Глюкоза концентрациясының 6% - дан 7% - ға дейін өзгеруі  $1,3418$ -ден  $1,3433$ -ке дейін,  $R1 U$   $0,0015$  айырмашылығын алды. Мысалы, таңдалған шыңның қуатының максималды мәні 45 нм болған кезде  $19,8 \text{ Нвт}$ -тан  $26 \text{ Нвт}$ -қа дейін өзгеруі (бұл жағдайда  $t$  өзгерісі 0-ден 1-ге дейін)  $t$   $0,44$  мәнінен  $0,58$  мәніне дейін өзгереді,  $\Delta t = 0,133$  айырмашылығын көрсетеді.

Кіріс сәулесінің поляризация бұрышының әсер етуін алғашқы зерттеу  $90^\circ$  бұрылу бұрышы бар КТБТ құрылымдары үшін спектрлік сипаттамалар жасалды. Өлшемдер кіріс сәулесінің поляризациясының үш күйі үшін жасалды: P, S|P және S. салыстыру үшін КТБТ құрылымы бірдей  $90^\circ$  бұрышқа бұрылды. Өлшеу нәтижелері 9-суретте көрсетілген.



(a)



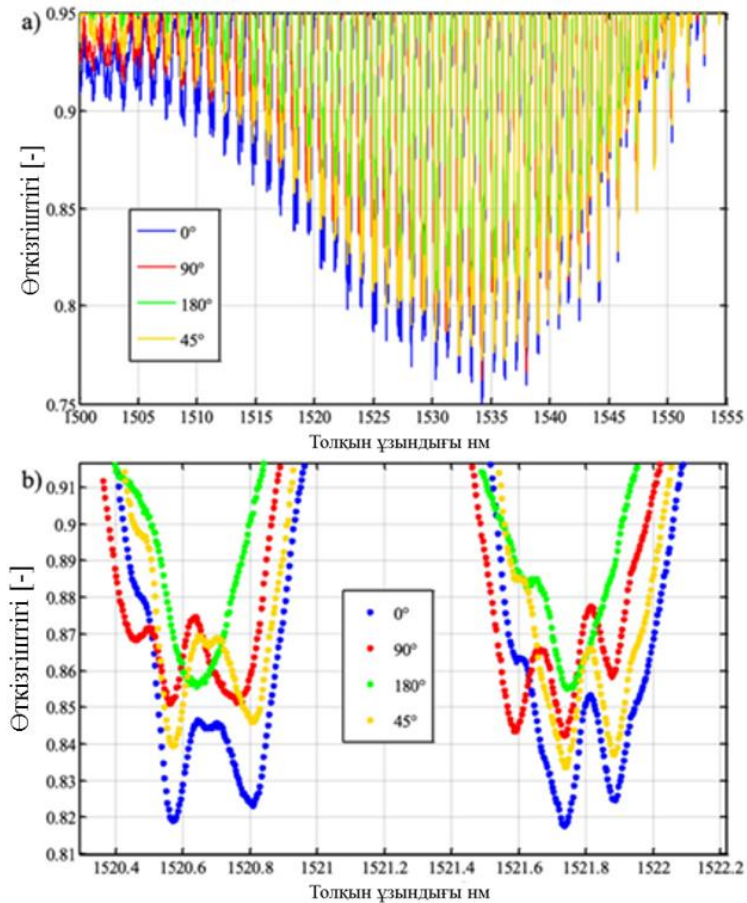
(b)

3.4 Сурет - Екі КТБТ құрылымының спектрлік сипаттамаларын  $90^\circ$  бұралу бұрышымен және  $90^\circ$  бұрышқа өлшеу кезінде бұралған TFBG-мен салыстыру: (а) бүкіл спектрлік диапазон, (б) таңдалған үш шағылысу режиміне сәйкес келетін спектрлік диапазон

ТБТ және ТТБТ спектрлеріндегі өзгерістер бірдей сипаттамаларға ие. Кіріс жарығының поляризациясының айналу бұрышының өзгеруіне сезімталдықты азайту әсерін өлшеу кезінде КТБТ құрылымын бұрау арқылы алуға болады. Дәл осындай әсерді КТБТ құрылымын ТБТ-пен бірдей бұрылу бұрышымен қолдану арқылы да алуға болады. Сондай-ақ, КТБТ-ті қолдану туралы жарияланымдардан айырмашылығы, КТБТ негізіндегі бұралу сенсорлары поляризацияны қолдайтын оптикалық талшықтың бұралуы мен тор сияқты емес, ең көлбеу құрылымның бұралуын ғана талдайды. Бұралған құрылымдар ұзын периодты торлар үшін белгілі болғанымен [62], осы бөлімде сипатталған КТБТ бұралған көлбеу талшықтың алғашқы көрсетілімдерінің бірі болып табылады

Содан кейін өндірілген КТБТ әртүрлі поляризация жағдайларында спектрлік зерттеулерге ұшырады. Құрылымның бұралу дәрежесін анықтау үшін тиісті бұрыштық белгілер енгізілді, олардың арасында бұралу бұрышы  $\varphi$  өлшенді. Келесі құрылымдар зерттелді: КТБТ (КТБТ  $\varphi = 0^\circ$ ), КТБТ  $\varphi = 45^\circ$ , КТБТ  $\varphi = 90^\circ$  және КТБТ  $\varphi = 180^\circ$ . Барлық жазылған торларда сыну көрсеткішінің модуляция бұрышы  $\theta = 5^\circ$  болды. Таңдалған жабу режимдері үшін толық (А) және тарылған (б) екі спектрлік диапазон үшін өлшеу нәтижелері 10-суретте жинақталған. Құрылымның бұралуының тікелей әсері кіріс жарығының поляризациясы өзгерген кезде жабынның жеке режимдері үшін өткізу қабілеттілігінің өзгеруін азайту болып табылады.



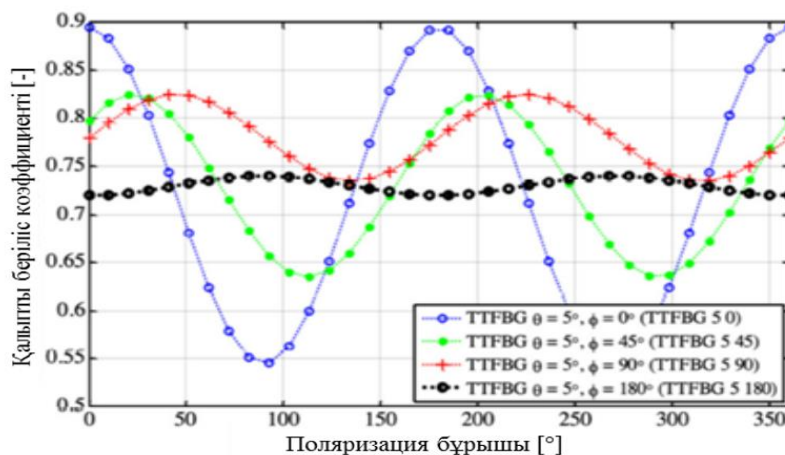


3.5 Сурет - Төрт КТБТ құрылымының спектрлік сипаттамаларын  $\phi$  бұрышымен салыстыру: (а) бүкіл спектрлік диапазон, (б) таңдалған екі қабаттау режиміне сәйкес келетін таңдалған спектрлік диапазон

3.5-суретте көрсетілген графиктер таңдалған қамту режимінің өткізу қабілеттілігінің өзгеруіне жатады. Графиктер құрылымды 50 элементке бөлу арқылы сандық есептеу арқылы алынды. Әрбір осындай элемент тиісті беріліс спектріне ие болды. 3.6-суретте КТБТ құрылымы үшін енгізілген жарықтың поляризация күйінің өзгеруіне байланысты Р-режимдегі және S-режимдегі өткізу қабілеттілігіндегі өзгерістер көрсетілген. Ұзындығы  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  және  $180^\circ$  бұралған КТБТ құрылымы. Салыстыру үшін барлық құрылымдардың ұзындығы бірдей  $L = 10$  мм болды.

Спектрдің поляризация бұрылысына тәуелділігін көрсету үшін 3.6 - суреттегі диаграммалар таңдалған режимнен келетін минимум үшін өткізу қабілеттілігін көрсетеді. Сандық есептеулердің маңызды кезеңі - сызықты полярланған жарықтың  $\alpha$  бұрышымен ұсынылған әр поляризация күйі үшін біртекті, көлбеу емес  $T\phi(\alpha)$  торының өткізгіштік коэффициентін анықтау. Қуат беру коэффициенті шығыс пен кіріс қуаты арасындағы қатынас ретінде анықталады. Мұндай беріліс ұзындығы 1 см және  $5^\circ$  - қа тең  $\theta$  бұрышы бар КТБТ қалыпты дамыған құрылымы үшін жасалған өлшеулерді қолдану арқылы

анықталды. Бұралған тордың өтуі ұзындығы 1/50 см болатын 50 біртекті КТБТ құрылымдарының өткізгіштік өнімі ретінде анықталды.



3.6 Сурет - Әр түрлі айналу бұрыштары үшін КТБТ құрылымының берілу коэффициентінің өзгеруін өлшеу нәтижелері φ.

Бұл жағдайда ТБТ біртекті құрылымының элементарлық өткізу қабілеттілігі (3.1) теңдеуімен анықталады:

$$T_{\phi} = \sqrt[50]{T(\alpha)} \quad (3.1)$$

Тиісінше, 90° бұрышқа бұралған тордың өткізу қабілеттілігі (3.2) теңдеуімен анықталады:

$$T_{0-90}(\alpha) = T_{\phi}(\alpha) * T_{\phi}\left(\alpha + \frac{1}{50}90^{\circ}\right) * T_{\phi}\left(\alpha + \frac{2}{50}90^{\circ}\right) * \dots * T_{\phi}\left(\alpha + \frac{49}{50}90^{\circ}\right), \quad (3.2)$$

180° бұрышқа бұралған құрылым жағдайында оның өткізу қабілеттілігі (3.3) теңдеуді қолдана отырып анықталды:

$$T_{0-180}(\alpha) = T_{\phi}(\alpha) * T_{\phi}\left(\alpha + \frac{1}{50}180^{\circ}\right) * T_{\phi}\left(\alpha + \frac{2}{50}180^{\circ}\right) * \dots * T_{\phi}\left(\alpha + \frac{49}{50}180^{\circ}\right), \quad (3.3)$$

Тор φ = 180° бұрышқа бұралған кезде, жеке элементар торлар бұрыштарға бұралған 0°, 180°/50, 2 180°/50, 3 180°/50, 4 180°/50 . . . , 49 180°/50. 12-суретте таңдалған төсеу режимінде алынған минимум үшін орындалған өткізу қабілеттілігінің сандық есептеулерінің нәтижелері көрсетілген.

Айналдырылған құрылым үшін модальды берілістің өзгеру формасы асимметриялы болды. Сондықтан поляризацияның айналу бағыты да, осындай

тордың бұралу бағыты да оның спектрлік сипаттамалары бойынша анықталмайды.  $\Phi = 45^\circ$  болатын құрылым жағдайында поляризация жазықтығының айналу бұрышы  $22,5^\circ$  - тан  $+22,5^\circ$  - қа дейін өзгерген кезде, мұндай айырмашылық мүмкін. Мұндай дизайнның бұрылу бұрышын да анықтауға болады. Ұзындығы 180 градусқа бұралған тор поляризацияға сезімтал емес.

Кіріс сәулесінің поляризациясының айналу бұрышының  $0^\circ$  - дан  $90^\circ$  - қа дейінгі диапазондағы өткізу спектріне әсері КТБТ құрылымының бұралу бұрышы жоғарылаған сайын айтарлықтай төмендеді. Поляризацияның сенсор реакциясына әсерін анықтау үшін  $0^\circ$  - дан  $90^\circ$  - қа дейінгі диапазондағы поляризация жазықтығының айналу бұрышының өзгеруіне берілістің сезімталдық коэффициенті түріндегі параметр анықталды, ол (3.4) теңдеумен келесі түрде анықталды:

$$K_{\alpha}^t = \frac{\Delta t}{\Delta \alpha_{|0-90|}} \quad (3.4)$$

мұндағы  $\Delta \alpha_{|0-90|}$   $0^\circ$  - дан  $90^\circ$  - қа дейінгі диапазондағы поляризация жазықтығының бұрышының өзгеруін анықтайды. Кіріс жарығының поляризация жазықтығының айналу бұрышына сезімталдықтың төмендеуі туралы қосымша ақпарат өткізу коэффициентінің анықтамалық мәнін, бұл жағдайда бастапқы мәнді ескеретін параметрмен қамтамасыз етіледі. Сондықтан поляризация бұрышынан өткізу коэффициентінің салыстырмалы пайыздық өзгеруін анықтайтын параметр  $0^\circ$  - дан  $90^\circ$  - қа дейінгі диапазондағы поляризация жазықтығы бұрышының өзгеруін анықтайтын келесі (3.5) теңдеумен анықталды:

$$\delta T_{\Phi} = \left( \frac{T_{\Phi \max} - T_{\Phi \min}}{T_{|0}} \right) \quad (3.5)$$

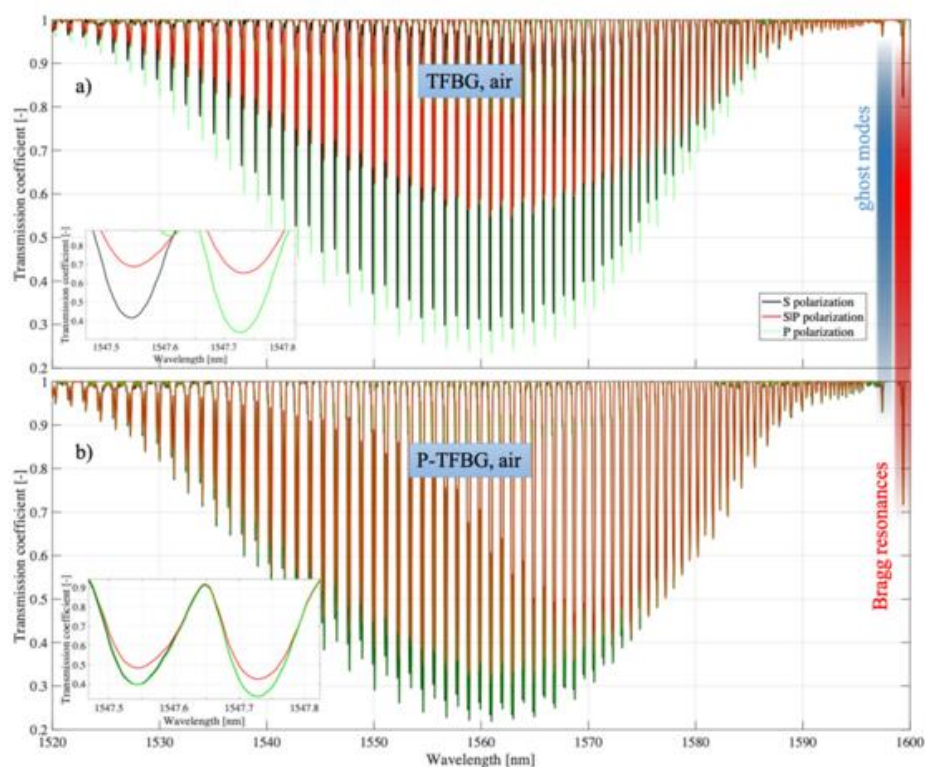
мұндағы  $T_{\max}$  және  $T_{\min}$  сәйкесінше кіріс сәулесінің поляризациясының өзгеруінің зерттелетін диапазонындағы КТБТ құрылымының өткізу қабілеттілігінің минималды және максималды мәндерін білдіреді, ал  $T / 0$  - анықтамалық күй үшін құрылымның өткізу қабілеттілігінің мәні, ол үшін  $\alpha = 0$ . 12 - суретте көрсетілген жағдайларға сәйкес келетін өлшеу нәтижелері. 11, суретте көрсетілген.

Жаңа КТБТ құрылымдарының поляризацияға сезімталдығын анықтайтын параметрлер мәндері 1-кестеде келтірілген. Қолданыстағы КТБТ торлары жағдайында поляризация жазықтығының бұрышының  $0^\circ$  - дан  $90^\circ$  - қа дейін өзгеруі құрылым арқылы таралатын жарыққа айтарлықтай әсер етеді, бұл жеке жабу режимдерінен пайда болатын шыңдардың амплитудасының өзгеруіне әкеледі.

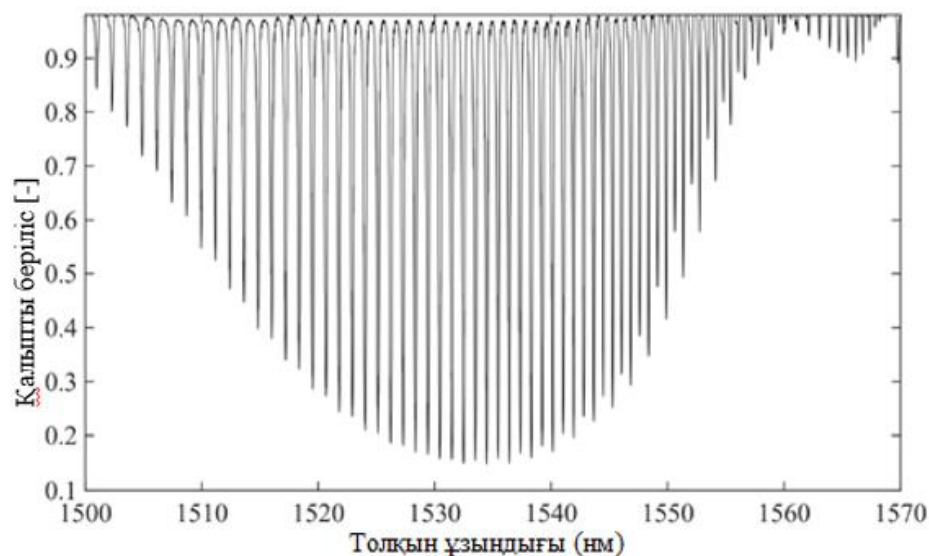
Екі КТБТ құрылымы бір-біріне қатысты бұралған бұрыш  $90^\circ$  болды, бірақ бұл бұрыштың қалай анықталғанын дәл көрсету үшін ол 15-суретте  $\gamma$  ретінде белгіленген. Оны анықтау үшін біз КТБТ дифракциялық суреттеріне

перпендикуляр жазықтықтарды анықтадық. Бұл әр КТБТ-ге қатысты бірдей кеңістіктік бағыттағы жазықтықтар болғандықтан, бұл жазықтықтардың арасындағы бұрыш  $\gamma$ -ге тең болады. Біз 14-суретте осы бұрышты анықтау идеясын ұсынамыз.

3.7 суретте КТБТ және П-КТБТ құрылымдарының спектрлік сипаттамалары көрсетілген, олардың барлығы су ерітіндісімен байланыссыз ауада өлшенген  $\theta = 5^\circ$  бұрыштары бар. Біз 3-бөлімде көрсетілгендей S, P және S|P поляризациясының үш күйі үшін өлшеулер жүргіздік. Поляризацияның өзгеруіне спектрдің күшті өзгерісі айқын болды. Бұл әсерді көрсету үшін біз 16-суреттегі кірістірудегі спектрдің арнайы бөлігін ұсынамыз.



3.7 Сурет - Кіріс жарығының үш поляризация күйі үшін ауада өлшенген спектрлік сипаттамалар: (a) TFBG, (b) P-TFBGA жүйесі.

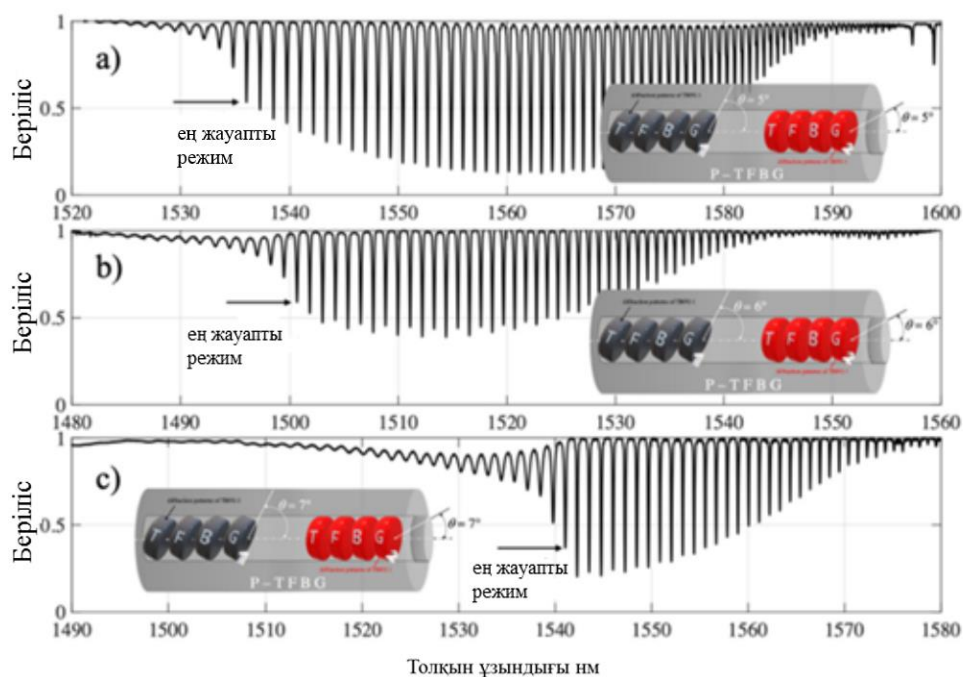


3.8 Сурет - П-КТБТ А жүйесінің (А) КТБТ, (В) кіріс жарығының үш поляризация күйі үшін ерітіндіде өлшенген спектрлік сипаттамалар

Салыстыру үшін 16-суретте ұқсас сипаттамалар жинақталған, бірақ өлшеу нәтижесінде алынған, онда КТБТ және П-КТБТ құрылымдары глюкозаның Сулы ерітіндісіне батырылған, оның сыну көрсеткіші 1,3471 болды.

17 - суреттегі барлық құрылымдар.  $Q = 5^\circ$  бұрыштары болды. Қорытындылай келе, бұл туралы қорытынды жасауға болады, ұсынылған эксперименттік нәтижелер қазіргі уақытта қолданылатын TFBG құрылымдарымен салыстырғанда КТБТ поляризация сезімталдығын төмендету мүмкіндігін көрсетеді, әсіресе сыну көрсеткішінің өзгеруін өлшеу кезінде. Бұл бөлімде ультракүлгін сәулемен жазу кезінде оптикалық талшықты бұрау арқылы пайда болатын көлбеу Брэгг торларының құрылымдары көрсетілген. ТБТ құрылымындағы бұрмалану оның кіріс сәулесінің поляризациясына сезімталдығының төмендеуіне әкеледі. Теориялық тұрғыдан, әдеттегі симметриялы КТБТ құрылымы  $180^\circ$  бұрышқа бұралған жағдайда, ол поляризация әсеріне Толығымен сезімтал болады. Алайда, іс жүзінде, КТБТ құрылымдарында жарықтың поляризациясына шамалы сезімталдық бар, оны осы тарауда келтірілген эксперименттік нәтижелерді талдау көрсетеді. Бұл құбылыстың себебі-бүкіл КТБТ құрылымы жазылған оптикалық талшықтың ұзындығы бойымен эксимер лазерінің қуатын бөлудің біркелкі емес формасы. Сондай-ақ, екі параллель құрылымнан тұратын КТБТ массивінің поляризация сезімталдығы төмендегені көрсетілді. КТБТ және П-КТБТ құрылымдарын салыстыру үшін біз оларды бірдей КТБТ құрылымдары негізінде жасадық (яғни, ұзындығы бірдей  $L = 12$  мм және дифракциялық жазықтықтардың көлбеу бұрышы  $q = 5^\circ$ ). П-КТБТ-ның КТБТ-ге қарағанда артықшылығы ерітіндіге батырылған кезде одан да айқын болды, бұл әсіресе 15 және 16 сызбаларды салыстырған кезде айқын көрінеді. Ерітіндіде П-КТБТ кіріс сәулесінің

поляризациясына сезімталдығы одан да төмендейді. Осы мақаланың қалған бөлігінде біз П-КТБТ жүйесін әлі де оңтайландыруға болатындығын көрсеттік, өйткені сапа бұрышы жеке шындардың өткізу қабілеттілігінің поляризацияға сезімталдығына әсер етеді. Біз бұл нәтижелерді үшінші телекоммуникациялық терезедегі коэффициенттердің өзгеруін талдағаннан кейін мақалаға әдейі енгіздік, өйткені жасалған құрылымдар осы тарауда келтірілген нәтижелерге бейімделеді.



3.9 Сурет - ТБТ құрылымдарының көлбеу бұрыштарының айнымалы бұрыштарына арналған П-КТБТ жүйесінің спектрлік сипаттамалары: (a) 5°, (b) 6°, (c) 7°.

### 3.2. ТБТ режимді алдын-ала таңдау жасау арқылы нәтижеге қол жеткізу

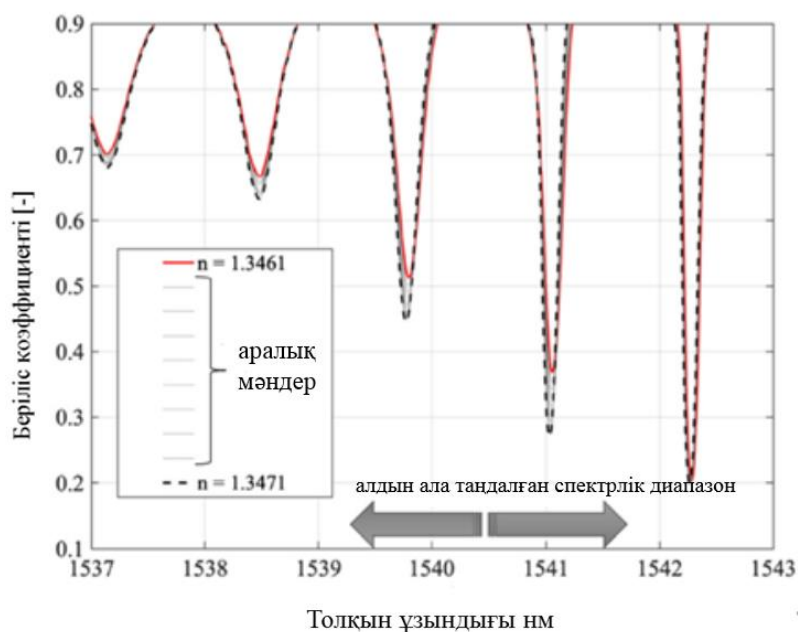
Бұл бөлімде біз режимді және онымен байланысты минималды спектрлік берілу сипаттамаларын дұрыс таңдау П-КТБТ құрылымдары үшін өте маңызды екенін дәлелдейміз. Әр түрлі спектрлік диапазондарды талдау кезінде П-КТБТ торын құрайтын екі КТБТ торының дифракциялық жазықтықтарының бұрышын өзгерту арқылы П-КТБТ құрылымының жеке режимдеріне байланысты қуаттың өзгеруіне сезімталдықты жақсартуға болатындығын байқадық. **3.10-суретте** біз 1,3461-ден 1,3471-ге дейінгі диапазондағы сыну көрсеткішінің өзгеруіне қатты әсер ететін режимдерді көрсете отырып, КТБТ жазықтықтарының әртүрлі көлбеу бұрыштарына арналған П-КТБТ жүйесінің тарақты резонанстарын ұсынамыз.



Құрылымдардың спектрлерін алдын-ала талдау олардың сыну көрсеткішінің өзгеруіне реакциясы бойынша айтарлықтай ерекшеленетінін анықтауға мүмкіндік береді.

Жоғарыда айтылғандай, өткізу қабілеттілігінің ең үлкен өзгерісі  $\theta = 7^\circ$  торы үшін алынды. Сонымен қатар, КТБТ  $5^\circ$  және ТБТ  $6^\circ$  жағдайларына қарағанда КТБТ  $7^\circ$  құрылымы жағдайында үлкен амплитудасы бар өткізу қабілеттілігінің ең күшті өзгеруіне жауап берген қабық режимдерінің болғанын байқауға болады.

19-суретте 0,0001-ге өзгертін сыну көрсеткішінің өзгеруімен спектрдің эволюциясы көрсетілген. Біз шартты белгілердегі сыну көрсеткішінің нақты мәндерін әдейі көрсетпедік, өйткені бұл суретке қатысы жоқ.



3.10 Сурет - П-КТБТ  $7^\circ$  модельды алдын-ала таңдау үшін спектрлік өлшеу нәтижелері. Өлшеулер  $RI = 1,3461-1,3471$  өзгерістер диапазонында жүргізілді.

Шынында да, өзгерістердің монотондылығының нақты мәндері мен дәлелі 20-суретте көрсетілген, ол таңдалған қамту режимдері сыну көрсеткішінің өзгеруіне ең жоғары сезімталдықты көрсетті. Айта кету керек, режимдерді алдын-ала таңдау КТБТ жағдайында өте маңызды.

Бұл жеке режимдердің қоршаған ортаның өзгеруіне сезімталдығымен айтарлықтай ерекшеленетіндігіне байланысты. Сондай-ақ,  $RI$  өзгеруіне байланысты тек режим амплитудасының мәні өзгертетінін ескеріңіз, өйткені сезімталдық коэффициентінің белгісі өзгермейді. Бұл 1538,5 нм кезінде сән амплитудасының өзгеруі 1539,8 және 1541,05 нм режимдеріндегідей белгіге ие болғандығына байланысты айтылған.

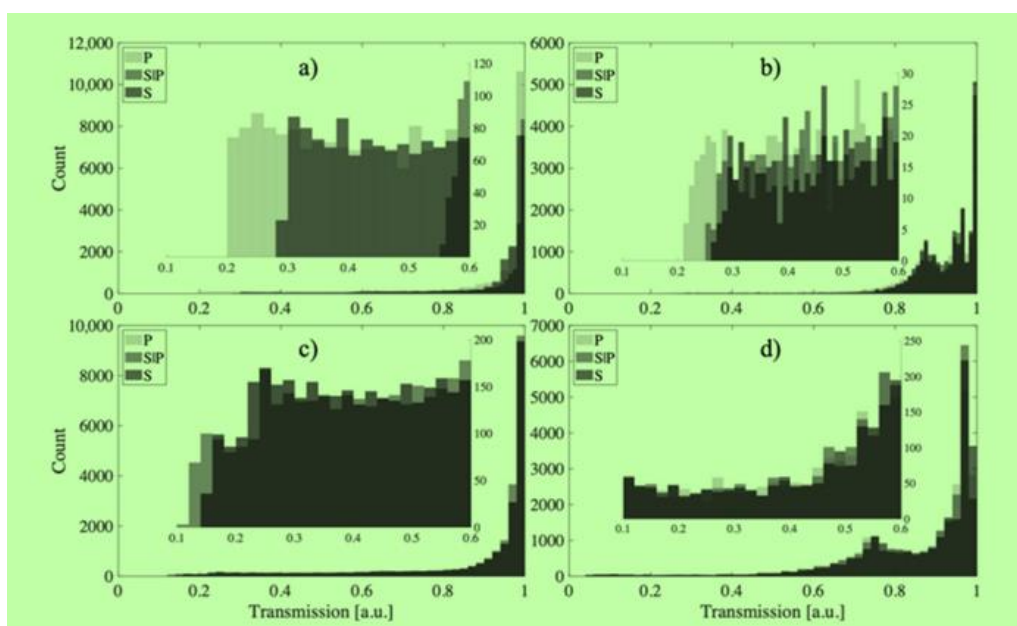
### 3.3. Оптикалық талшықтың сыну көрсеткішін өлшеу

Жасалған құрылымдардың қабықша режимдері орналасқан толқын ұзындығының аралықтары үшін медициналық қосымшалар үшін сыну көрсеткішінің есептік мәні 1,346–1,347 диапазонында екендігі анықталды. 2-суретте көрсетілген белгілеу әдісін қолдана отырып, біз 3.11-суретте көрсетілген П-КТБТ құрылымдарын дайындадық, олар төсеу режимдерінің белгілі позициясымен сипатталады. Тарақтың П-КТБТ спектрлік диапазонын біле отырып, біз глюкозаны қолдана отырып, Стандартты шешімдер жасадық. Бұл ерітінділерде температура мен судағы глюкозаның пайыздық мөлшері анықталған сыну көрсеткіші болды. Содан кейін біз ТБТ құрылымын осы ерітінділерге орналастырдық және өлшеулер нәтижесінде алынған спектрлер бойынша қай төсеу режимдері ең жоғары сезімталдықты анықтадық. Осы мақсатта біз осы режимнің берілу сезімталдығын сыну көрсеткішінің өзгеруіне анықтадық. Бұл мақалада біз спектрлік зерттеудің бұл бөлігін модальды алдынала таңдау деп атадық.

Осы бөлімге кіріспеде біз кіріс сәулесінің поляризация жазықтығындағы өзгерістердің КТБТ 7 өткізу қабілеттілігінің өзгеруіне және П-КТБТ 7° ұқсас жүйесіне әсерін ұсынамыз. 3-бөлімде ұсынғанмыздай, сыну көрсеткішіндегі өте аз өзгерістерді өлшеу кезінде сигналға әсер ететін басқа факторларды мүмкіндігінше жою өте маңызды. Мұндай фактор, сөзсіз, поляризация болып табылады, оны нақты өлшеу жүйелерінде білу және бақылау көптеген техникалық проблемаларды тудырады. Сондықтан поляризацияның өзгеруіне аз сезімтал болатын сенсорды жасау өте маңызды. КТБТ және П-КТБТ құрылымдарының спектрлік сипаттамалары (барлығы  $\theta = 7^\circ$  бұрыштары бар) ауада және глюкозаның сулы ерітіндісінде, 4-бөлімде сипатталған таңдалған спектрлік диапазон үшін төменде келтірілген. Біз 3-бөлімде көрсетілгендей S, P және S|P поляризациясының үш күйі үшін өлшеулер жүргіздік. КТБТ және П-КТБТ құрылымдары 1,3471 сыну индексі бар глюкозаның Сулы ерітіндісіне батырылды.

Екі құрылым үшін поляризацияның өзгеруіне спектрлік жауаптың қатты өзгеруін байқауға болады. Жеке құрылымдардың поляризацияға сезімталдығын көрсетудің бір әдісі-ауаға және глюкоза ерітіндісіне орналастырылған КТБТ және П-КТБТ жағдайлары үшін гистограммаларды салу. Суреттегі поляризацияның үш күйіне арналған гистограммалар. 21 көрсеткендей, КТБТ құрылымдары өткізу қабілеттілігінің мәндерінде ең үлкен айырмашылықтарға ие болды. Құрылымдық параметрлердің өзгеру құбылысын дәлірек көрсету үшін, суретте. 21А-d сонымен қатар 0,1-ден 0,6-ға дейінгі диапазонда тарылған аймақ бар, өйткені поляризацияның өзгеруі негізінен осы диапазондағы құрылымдардың өткізу қабілеттілігінің өзгеруіне әсер етеді.

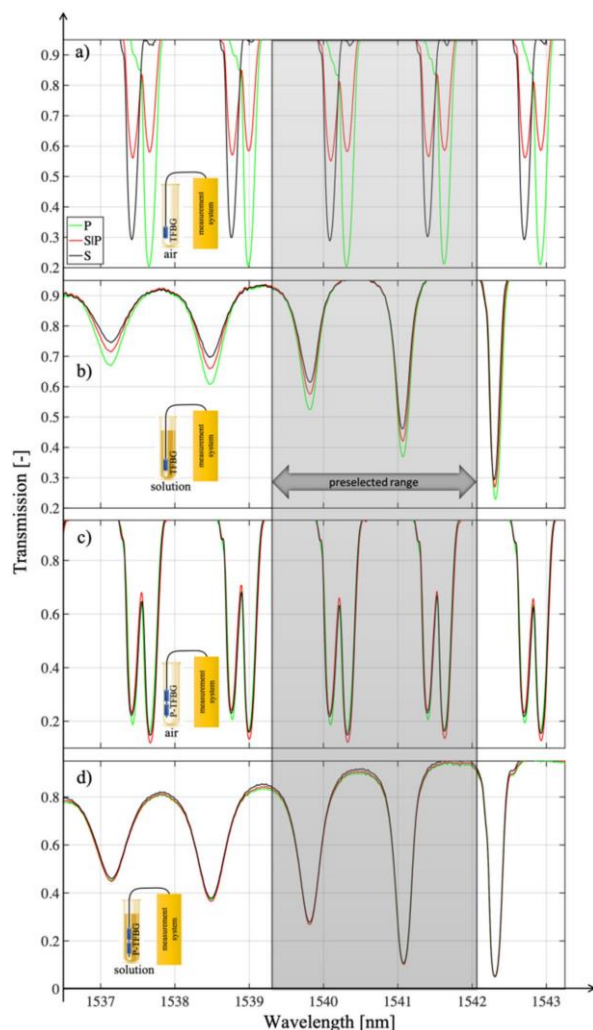




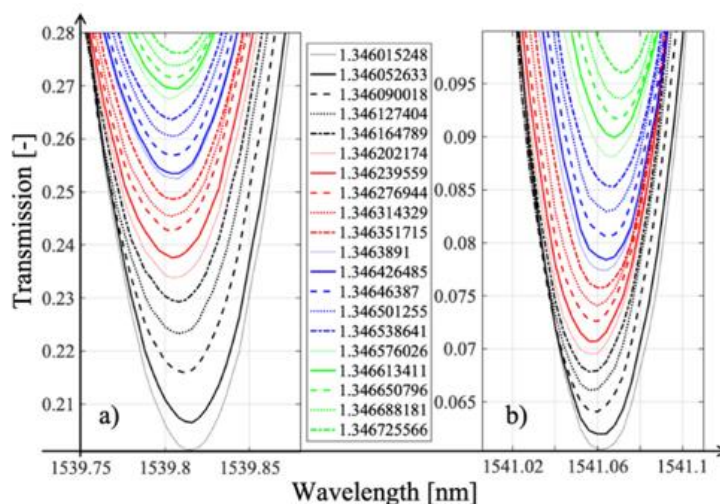
3.11 Сурет - P, S|P және S поляризациясының өзгеруіне сенсорлардың реакциясын көрсететін гистограммалар: (a) КТБТ air, (b) КТБТ ерітіндісі, (c) П-КТБТ air, (d) П-КТБТ.

КТБТ ерітіндісі, (c) П-КТБТ ауасы, (d) П-КТБТ ерітіндісі 3.12-суретте қолдану тұрғысынан ең маңызды нәтижелер жинақталған. 3.12a суретте ауада орналастырылған ТБТ құрылымы үшін үш поляризация P, S және S|P үшін спектрлік жауаптар көрсетілген. Судағы глюкоза ерітіндісіне орналастырылған ТБТ құрылымын қоспағанда, ұқсас сипаттамалар 3.12b-суретте өлшенген. 3.12c суретте ауадағы П-КТБТ құрылымы үшін спектрлік өлшеулердің нәтижелері көрсетілген, ал 3.12d суретте глюкозаның сулы ерітіндісіне орналастырылған П-КТБТ жүйесі үшін ұқсас спектрлік өлшемдердің нәтижелері көрсетілген. Поляризацияның өзгеруіне спектрлік сипаттамалардың айтарлықтай өзгерістері мен сезімталдығы байқалады. 3.12a суретін 3.12c және 3.12b суреттерімен 3.12d суретімен салыстыра отырып, П-КТБТ құрылымдарының кіріс сәулесінің поляризациясының өзгеруіне сезімталдығының айқын төмендеуі байқалады. Осы поляризациядағы өзгерістердің әсерін азайтқаннан кейін біз сыну көрсеткішін өлшедік. RI өзгерісі вирустар түрінде қоздырғыштар тудыратын өзгерістерге сәйкес келді. Алайда, бұл сенсор сигналының сыну көрсеткішінен басқа факторларға сезімталдығын жоятын әдісті әзірлеуді қажет етті.

сәйкес келетін берілістің спектрлік сипаттамасында шынның биіктігінің өзгеруіне әкелді. Сондай-ақ, берілген режим үшін өткізу қабілеттілігінің минималды мәніне сәйкес келетін толқын ұзындығы да аздап өзгергенін ескеріңіз (25 сурет). Алайда, сыну көрсеткішіндегі өте аз өзгерістерді өлшеу үшін минималды спектрлік сипаттаманы өлшеу ұсынылуы керек. Бұл минимумның ауысуы температураның өзгеруіне де байланысты болуы мүмкін.



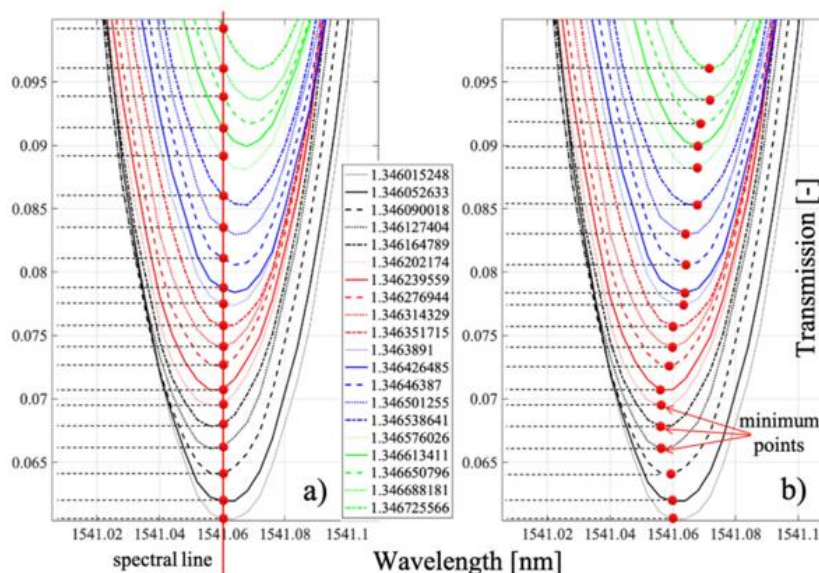
3.12 Сурет - P, S|P және S поляризациясының өзгеруіне сенсорлардың реакциясын көрсететін алдын-ала таңдалған диапазондағы өлшенген спектрлік сипаттамалар: (a) КТБТ ауасы, (b) КТБТ ерітіндісі, (c) П-КТБТ ауа, (в) П-КТБТ ерітіндісі. Барлық конструкцияларда  $\theta = 7^\circ$  бұрыштары болды. Белгілі бір режимнің берілу коэффициенті өзгертілді, бұл осы режимге



3.13 Сурет - ТБТ жабынының таңдалған режимдері үшін сыну көрсеткішін өлшеу нәтижелері: (a) 1539,8 нм, (b) 1541,05 нм.

Негізінде, температураның өзгеруі жеке режимдер үшін беріліс коэффициентінің өзгеруіне әкелмейді. Оның өзгеруінің нәтижесінде ТБТ-нің барлық спектрі, демек П-КТБТ ауысады.

3.14-суретте сыну көрсеткішінің жанама өлшеулерін жүргізудің екі әдісі көрсетілген. Талдау үшін 1541,05 нм режимі таңдалды. Біз мұны спектрлік сызық әдісі және спектрлік сипаттамадағы минимумды бақылау және осы сипаттамадағы минимумға сәйкес келетін өткізу қабілеттілігін анықтау әдісі деп атадық.



3.14 Сурет - П-КТБТ құрылымын қолдана отырып, сыну көрсеткішінің өзгеруін қалай анықтауға болатындығын графикалық бейнелеу: (А) спектрлік сызық әдісі, (Б) минималды бақылау әдісі.

Сыну көрсеткішінің әртүрлі мәндеріне сәйкес келетін өткізу қабілеттілігінің мәні екі әдіс үшін әр түрлі болды. Алайда, бұл өте маңызды емес, өйткені екі әдіс үшін де өлшеу бір мәнді емес, ал сенсор мен бүкіл өлшеу жүйесін спектрлік сызық әдісін де, минималды бақылау әдісін де дұрыс өлшеуге болатындай етіп калибрлеуге болады.

Ұсынылған сенсордың сыну көрсеткішінің өзгеруіне сезімталдығын зерттеу үшін біз 3.14-суреттегі таңдалған екі режим үшін өңдеу сипаттамаларын ұсынамыз, оларда сезімталдық коэффициентінің мәндерін атап өтеміз. Бұл мақалада біз сыну көрсеткішін анықтаудың екі әдісін ұсындық, олар бір-бірінен айтарлықтай ерекшеленбеді, бірақ кейіннен жүзеге асыруда маңызды болды. R1 берілген бір (бекітілген) толқын ұзындығы үшін өткізу коэффициентінің өзгеруімен анықталуы мүмкін. Зерттеу 1539,8 нм және 1541,05 нм кезінде П-КТБТ құрылымының екі таңдалған төсеу режимі үшін жүргізілді. Көріп отырғаныңыздай, жанама өлшеу әдісін таңдау өлшенетін спектр параметріне әсер етті (яғни құрылымның өткізу қабілеттілігінің мәні), бірақ екінші жағынан, спектрлік сызық әдісі мен минималды бақылау әдісі жағдайында да көруге

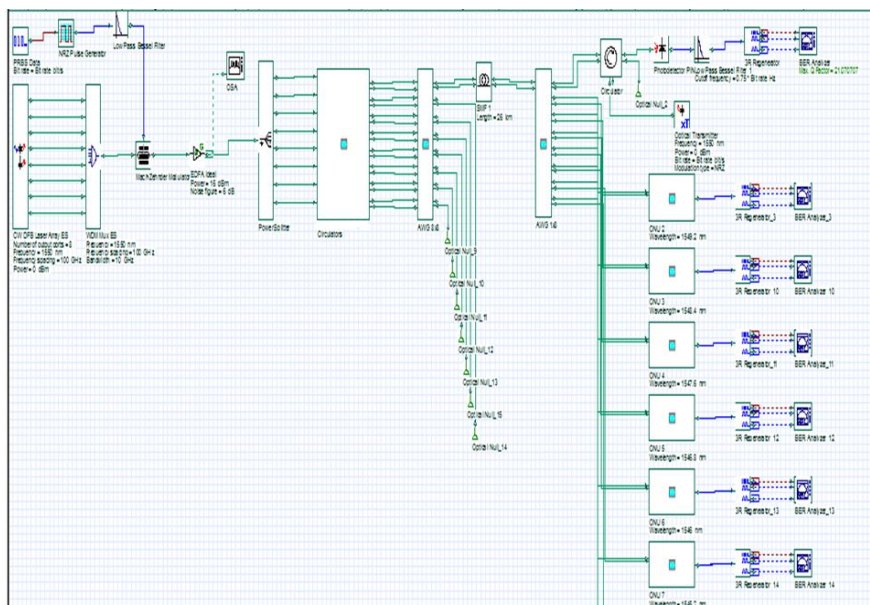
болады. өңдеу сипаттамалары дыбыстар монотонды болды. Олар өлшенген сыну көрсеткішін біржақты анықтауға мүмкіндік береді. Ең төменгі бақылау әдісін пайдаланған кезде, өңдеу сипаттамалары дерлік сызықты болып табылады, бұл көптеген өлшеу жүйелері үшін қажет мүмкіндік болып табылады.

### 3.4 Математикалық модельін компьютерлік бағдарламада көрсету

Қатынау желілеріндегі бірадрестік және мультиадрестік мүмкіндіктер қауіпсіздікті дамытудың басты міндеті болып табылады. Үш жақты ойнату қызметін (дауыстық деректер бейнесі) жеткізу қазіргі заманғы қол жеткізу желілерінің қажеттілігіне айналды. Алайда HDTV (айқындығы жоғары теледидар) және VOD (сұраныс бойынша бейне) сияқты жаңа қызметтер қазіргі кездегі инфрақұрылымда жүзеге асырылуы қиын болатын жоғары тасымалдау қабілеттерін қажет етеді.

Оптикалық рұқсат желілері - олардың өткізу қабілеті шексіздігімен тарату диапазонының жоғарылығына байланысты тамаша шешім. Үнемділік - мұндай желілерді жобалаудағы маңызды параметрлердің бірі, сондықтан капиталды және пайдалану шығындарын азайту үшін қымбат жабдықты бірлесіп пайдалану өте маңызды. Сонымен қатар, инфрақұрылым мен жабдықты асыра бағаламау үшін өткізу қабілетін басқаруды қарастырған жөн.

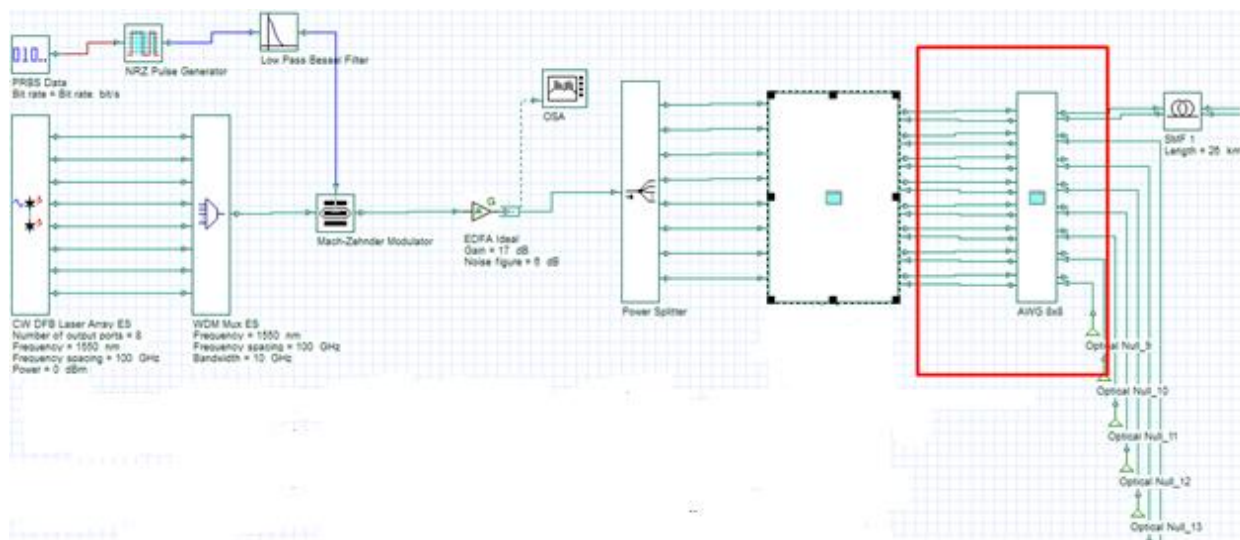
Екі деңгейін қолдана отырып, ұсынылған бағыттау әдісін қолдану жетілдірілген. Optisystem модельдеген желінің архитектурасы 3.15 суретте көрсетілген.



3.15 Сурет - Желінің архитектурасы

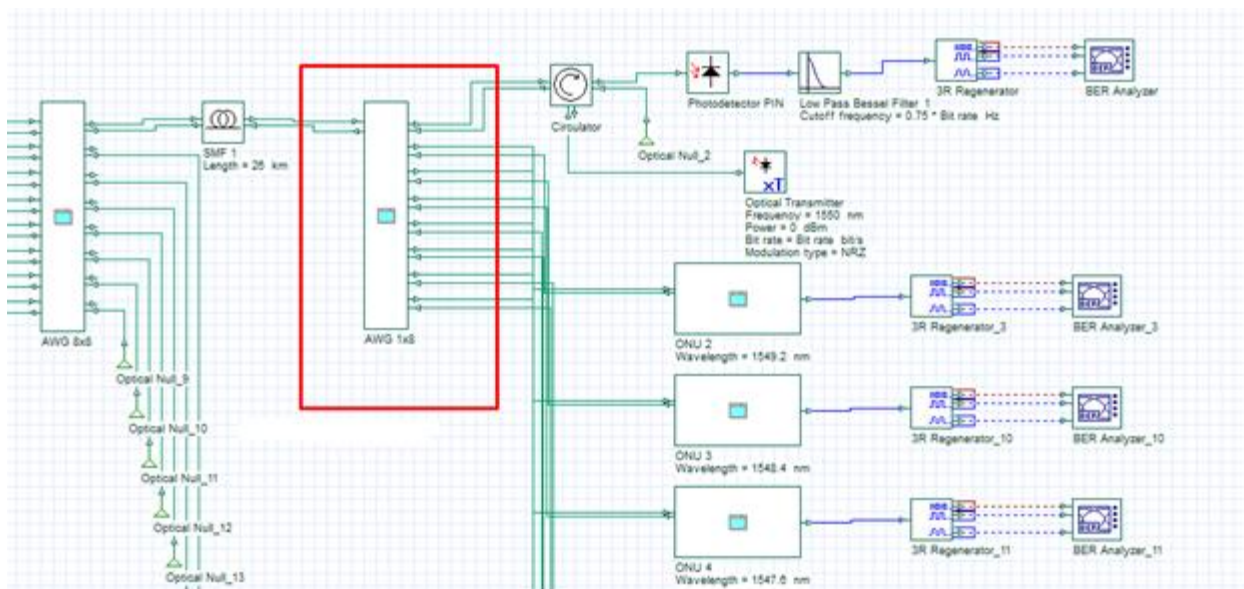


Ол екі деңгейлі Аналогты сандық түрлендіргіш мультиплексорларын қолдануға негізделген. Бірінші деңгей - NxN Аналогты сандық түрлендіргіш мультиплексоры оптикалық таратушы жабдықты N қашықтықтағы түйіндерге қосады.



3.16 Сурет - Бірінші деңгейлі Аналогты сандық түрлендіргіш мультиплексоры

Бұл қашықтағы тораптар бастапқы өткізу жолағын және іргелес Аналогты сандық түрлендіргіш FSR көмегімен шығыс порттардың әрқайсысына  $2 \dots N$  толқын ұзындығын беретін  $1 \times N$  болады. ONU-да екі қабылдағыш бар. Multicast қабылдағышы қарапайым фотоқабылдағыш болып табылады. Бірыңғай қабылдағыш сонымен бірге ағынды деректерді модульдей алады. OLT-дан жіберілген тасымалдаушыны қашықтан модуляциялай алатын кез-келген құрылғы шағылысатын жартылай өткізгіш күшейткіш (RSOA) ретінде қолдануға жарамды. ONU-да жарық генерациясы болмағандықтан, олар толқын ұзындығына тәуелсіз. Алайда, өзгертілмеген оптикалық тасымалдаушыны OLT-ден жіберу керек. Аналогты сандық түрлендіргіш мультиплексоры бар екінші деңгей 4.3 суретте көрсетілген.

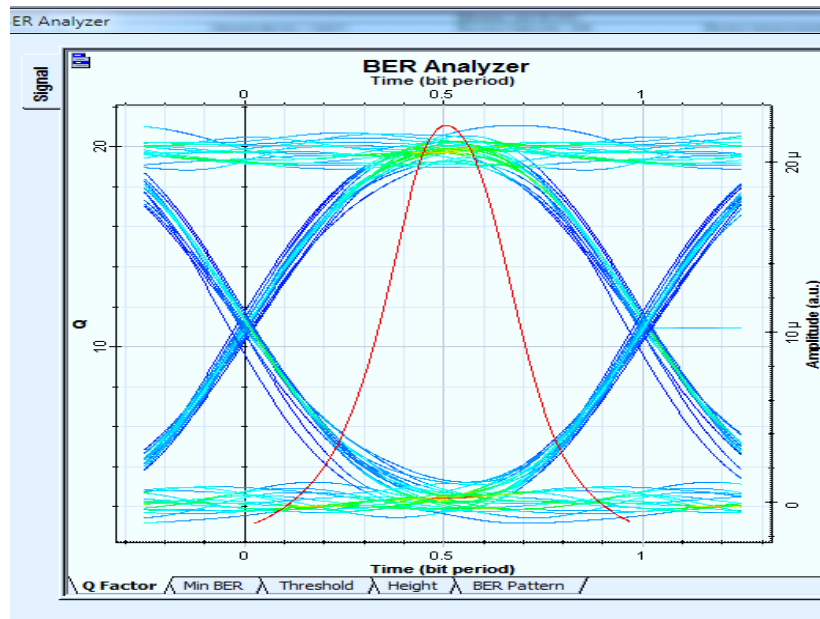


3.17 Сурет - Аналогты сандық түрлендіргіш екінші деңгейлі мультиплексор

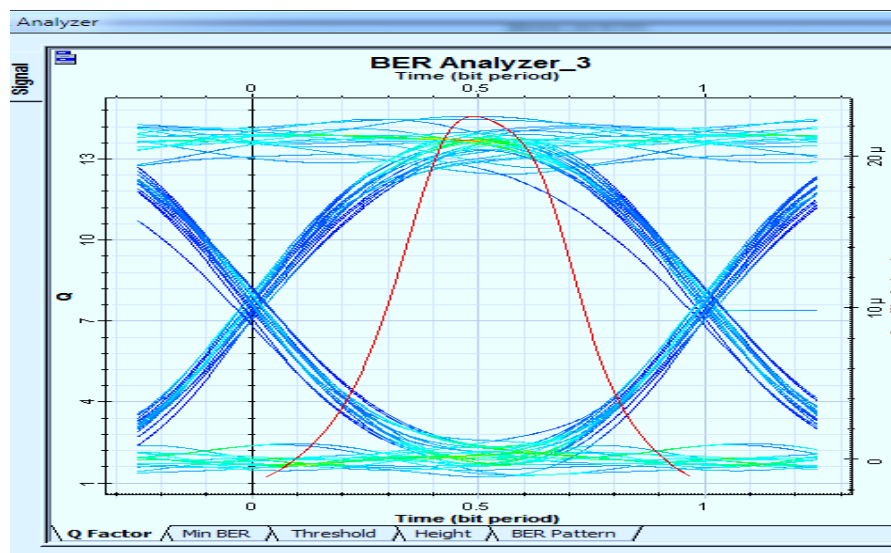
OLT оптикалық көздері - бұл арнайы лазер жиынтығы және стационарлық лазер жиынтығы. Реттелетін лазер жиынтығы бірыңғай таратуды жүзеге асырады және N қашықтан басқарылатын түйіндердің біріне қосылған N ONU (Оптикалық блоктары) арасында TDM негізінде бөлінеді. Бұл сәулет өткізу қабілетін динамикалық түрде бөлуге мүмкіндік береді, өйткені уақыт интервалдарын берілу қажеттілігіне байланысты динамикалық түрде бөлуге болады. Бекітілген лазер пакеті NW толқын ұзындығы бар бағыттаушы кестеге сәйкес келетін, бірақ негізгі өткізу жолағын пайдаланбайтын N лазерлерінен тұрады.

Іргелес FSR. Оптикалық көздер бір модулятор арқылы қосылады және модуляцияланады, содан кейін орталық Аналогты сандық түрлендіргіш NxN N кіріс портына бөлінеді. Модулятордан кейін оптикалық пайда қажет. Бұл архитектура әр лазерді N коэффициентімен бөліседі. Әрбір жеке лазер N TDM пайдаланушыларына қызмет етеді, ал N лазерлері көпқастты лазерлер қатарынан NxN пайдаланушылары қосыла алатын бүкіл желіге қызмет етеді.

Берілген сигналдың сапасы мен желілік топологияны модельдеудің дұрыстығын тексеру үшін, соңғы пайдаланушының жағында сигналдың көз диаграммасы келтірілген (3.18-сурет).



3.18 Сурет - Сигналдың соңғы тұтынушы жағындағы көздің диаграммасы бет-1



3.19 Сурет - Сигналдың соңғы тұтынушы жағындағы көздің диаграммасы бет-2

## ҚОРЫТЫНДЫ

Оптикалық талшықты кешенді талдау жүйесі мен спектрлік ыдырау параметрлерін өлшеу барысында спектральды сипаттамаларға оны жасауда қолданылатын негізгі параметрлердің сипаттамалары зерттеп . Оптикалық талшыққа негізделген ыдырау параметрлерін физикалық және химиялық қасиеттеріне қатысты деректер қаралды.

Негізгі жұмыстың мақсаты мен кіріспеде көрсетілген міндеттерге байланысты барлық процестер аяқталды. Атап айтқанда, тақырыпта көтерілген мәселелерге тікелей қатысты ғылыми еңбектерге әдеби шолулар жасалды.

Атап айтқанда, сұйықтықтың сынуының (сұйықтықтың мөлдірлігінің) өзгеруін анықтайтын, бөлменің жарықтығын анықтайтын және Брегг торының көмегімен қуат электр кабельдеріндегі температуралық өзгерістерді тіркейтін оптикалық талшықты кешенді талдау құру туралы ғылыми еңбектерге шолу жасалды. Оптикалық талшықты кешенді талдау тәуелділік заңдылықтарын анықтау үшін зертханалық өлшемдер ұйымдастырылды, алынған нәтижелер бойынша математикалық модель түрі таңдалды және компьютерлік есептеулер жүргізілді. Модельдің негізгі функциясы мен талшықты кешенді талдау жүйесі мен спектрлік ыдырау параметрлерін өлшеу пайдаланушылар арасындағы байланыс болғандықтан, нақты математикалық есептеулер мен параметрлер арасындағы сәйкестік бірінші орынға шығады.

Бұл жұмыста бірнеше термосезімталдығы бар көп қабатты сүзгілер көрсетілді қабат температураны және сыну көрсеткішін бір уақытта өлшеу үшін пайдалы болуы мүмкін. Сонымен қатар, болды сүзгінің бұл түрі шағылысқан қарқындылықтың таралуының өте күрделі көрінісі екендігі көрсетілген , бұл екі айнымалыға да байланысты. Сондықтан олардың мәндерін бір уақытта анықтау үшін эмпирикалық режимнің ыдырау алгоритміне негізделген жаңа әдістеме іске асырылды. Пайдалана отырып, бұл әдіс, бір R-спектр өзінің функцияларына бөлінеді, оның ішінде температура мен сыну көрсеткіші анықталады.



## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Chen, C.; Wang, J. Optical biosensors: An exhaustive and comprehensive review. *Analyst* **2020**, *145*, 1605–1628. [CrossRef] [PubMed]
2. Soares, M.S.; Vidal, M.; Santos, N.F.; Costa, F.M.; Marques, C.; Pereira, S.O.; Leitão, C. Immunosensing Based on Optical Fiber Technology: Recent Advances. *Biosensors* **2021**, *11*, 305. [CrossRef] [PubMed]
3. Soler, M.; Lechuga, L.M. Principles, technologies, and applications of plasmonic biosensors. *J. Appl. Phys.* **2021**, *129*, 111102. [CrossRef]
4. Loyez, M.; Lobry, M.; Wattiez, R.; Caucheteur, C. Optical Fiber Gratings Immunoassays. *Sensors* **2019**, *19*, 2595. [CrossRef]
5. Leitão, C.; Pereira, S.O.; Alberto, N.; Lobry, M.; Loyez, M.; Florinda, M.; Pinto, J.L.; Caucheteur, C.; Marques, C. Cortisol in-fiber ultrasensitive plasmonic immunosensing. *IEEE Sens. J.* **2021**, *21*, 3028–3034. [CrossRef]
6. Yin, M.; Gu, B.; An, Q.F.; Yang, C.; Guan, Y.L.; Yong, K.T. Recent development of fiber-optic chemical sensors and biosensors: Mechanisms, materials, micro/nano-fabrications and applications. *Coord. Chem. Rev.* **2018**, *376*, 348–392. [CrossRef]
7. Luo, B.; Wu, S.; Zhang, Z.; Zou, W.; Shi, S.; Zhao, M.; Zhong, N.; Liu, Y.; Zou, X.; Wang, L.; et al. Human heart failure biomarker immunosensor based on excessively tilted fiber gratings. *Biomed. Opt. Express* **2017**, *8*, 57–67. [CrossRef]
8. Leitão, C.; Leal-junior, A.; Almeida, A.R.; Pereira, S.O.; Costa, F.M.; Pinto, J.L.; Marques, C. Cortisol AuPd plasmonic unclad POF biosensor. *Biotechnol. Rep.* **2021**, *29*, e00587. [CrossRef]
9. Cennamo, N.; Pasquardini, L.; Arcadio, F.; Vanzetti, L.E.; Bossi, A.M.; Zeni, L. D-shaped plastic optical fibre aptasensor for fast thrombin detection in nanomolar range. *Sci. Rep.* **2019**, *9*, 18740. [CrossRef]
10. Liyanage, T.; Lai, M.; Slaughter, G. Label-free tapered optical fiber plasmonic biosensor. *Anal. Chim. Acta* **2021**, *1169*, 338629.  
[CrossRef]
11. Loyez, M.; Lobry, M.; Hassan, E.M.; DeRosa, M.C.; Caucheteur, C.; Wattiez, R. HER2 breast cancer biomarker detection using a sandwich optical fiber assay. *Talanta* **2021**, *221*, 121452. [CrossRef] [PubMed]
12. Bekmurzayeva, A.; Dukenbayev, K.; Shaimerdenova, M.; Bekniyazov, I.; Ayupova, T.; Sytabekova, M.; Molardi, C.; Tosi, D. Etched fiber bragg grating

biosensor functionalized with aptamers for detection of thrombin. *Sensors* **2018**, *18*, 4298. [CrossRef] [PubMed]

13. Lee, S.L.; Kim, J.; Choi, S.; Han, J.; Seo, G.; Lee, Y.W. Fiber-optic label-free biosensor for SARS-CoV-2 spike protein detection using biofunctionalized long-period fiber grating. *Talanta* **2021**, *235*, 122801. [CrossRef] [PubMed]

14. Lobry, M.; Lahem, D.; Loyez, M.; Debliquy, M.; Chah, K.; David, M.; Caucheteur, C. Non-enzymatic D-glucose plasmonic optical fiber grating biosensor. *Biosens. Bioelectron.* **2019**, *142*, 111506. [CrossRef] [PubMed]

15. Lobry, M.; Fasseaux, H.; Loyez, M.; Chah, K.; Goormaghtigh, E.; Wattiez, R.; Chiavaioli, F.; Caucheteur, C. Plasmonic fiber grating biosensors demodulated through spectral envelopes intersection. *J. Lightwave Technol.* **2021**, *39*, 7288–7295. [CrossRef]

16. Sharma, A.K.; Jha, R.; Gupta, B.D. Fiber-Optic Sensors Based on Surface Plasmon Resonance: A Comprehensive Review. *IEEE Sens. J.* **2007**, *7*, 1118–1129. [CrossRef]

17. Loyez, M.; Albert, J.; Caucheteur, C.; Wattiez, R. Cytokeratins Biosensing Using Tilted Fiber Gratings. *Biosensors* **2018**, *8*, 74. [CrossRef]

18. Guo, T.; González-Vila, Á.; Loyez, M.; Caucheteur, C. Plasmonic optical fiber-grating Immunosensing: A review. *Sensors* **2017**, *17*, 2732. [CrossRef]

19. Aruna Gandhi, M.S.; Chu, S.; Senthilnathan, K.; Babu, P.R.; Nakkeeran, K.; Li, Q. Recent advances in plasmonic sensor-based fiber optic probes for biological applications. *Appl. Sci.* **2019**, *9*, 949. [CrossRef]

20. Caucheteur, C.; Mégret, P. Demodulation technique for weakly tilted fiber Bragg grating refractometer. *IEEE Photonics Technol. Lett.* **2005**, *17*, 2703–2705. [CrossRef]

21. Caucheteur, C.; Guo, T.; Albert, J. Review of plasmonic fiber optic biochemical sensors: Improving the limit of detection. *Anal. Bioanal. Chem.* **2015**, *407*, 3883–3897. [CrossRef] [PubMed]

22. Chiavaioli, F.; Baldini, F.; Tombelli, S.; Trono, C.; Giannetti, A. Biosensing with optical fiber gratings. *Nanophotonics* **2017**, *6*, 663–679. [CrossRef]

23. Jiang, B.; Zhou, K.; Wang, C.; Zhao, Y.; Zhao, J.; Zhang, L. Temperature-calibrated high-precision refractometer using a tilted fiber Bragg grating. *Opt. Express* **2017**, *25*, 25910–25918. [CrossRef] [PubMed]

24. Caucheteur, C.; Loyez, M.; González-Vila, Á.; Wattiez, R. Evaluation of gold layer configuration for plasmonic fiber grating biosensors. *Opt. Express* **2018**, *26*, 24154–24163. [CrossRef] [PubMed]

25. Caucheteur, C.; Loyez, M.; Lobry, M.; Wattiez, R. Biofunctionalization strategies for optical fiber grating immunosensors. *Int. Soc. Opt. Photonics* **2020**, *11361*, 1136109. [CrossRef]
26. Laffont, G.; Ferdinand, P. Tilted short-period fibre-Bragg-grating-induced coupling to cladding modes for accurate refractometry. *Meas. Sci. Technol.* **2001**, *12*, 765–770. [CrossRef]
27. Caucheteur, C.; Voisin, V.; Albert, J. Polarized spectral combs probe optical fiber surface plasmons. *Opt. Express* **2013**, *21*, 3055–3066. [CrossRef]
28. Caucheteur, C.; Voisin, V.; Albert, J. Near-infrared grating-assisted SPR optical fiber sensors: Design rules for ultimate refractometric sensitivity. *Opt. Express* **2015**, *23*, 2918–2932. [CrossRef]
29. Ribaut, C.; Loyez, M.; Larrieu, J.; Chevineau, S.; Lambert, P.; Rimmelinck, M.; Wattiez, R.; Caucheteur, C. Cancer biomarker sensing using packaged plasmonic optical fiber gratings: Towards in vivo diagnosis. *Biosens. Bioelectron.* **2017**, *92*, 449–456. [CrossRef]
30. Lobry, M.; Loyez, M.; Chah, K.; Hassan, E.M.; Goormaghtigh, E.; DeRosa, M.C.; Wattiez, R.; Caucheteur, C. HER2 biosensing through SPR-envelope tracking in plasmonic optical fiber gratings. *Biomed. Opt. Express* **2020**, *11*, 4862–4871. [CrossRef]
31. McDonagh, T.A.; Metra, M.; Adamo, M.; Gardner, R.S.; Baumbach, A.; Böhm, M.; Burri, H.; Butler, J.; Celutkiene, J.; Chioncel, O.; et al. 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. *Eur. Heart J.* **2021**, *42*, 1–128. [CrossRef] [PubMed]
32. Sypabekova, M.; Korganbayev, S.; González-Vila, Á.; Caucheteur, C.; Shaimerdenova, M.; Ayupova, T.; Bekmurzayeva, A.; Vangelista, L.; Tosi, D. Functionalized etched tilted fiber Bragg grating aptasensor for label-free protein detection. *Biosens. Bioelectron.* **2019**, *146*, 111765. [CrossRef] [PubMed]
33. Soares, J.C.; Soares, A.C.; Pereira, P.A.R.; Rodrigues, V.D.C.; Shimizu, F.M.; Melendez, M.E.; Scapulatempo Neto, C.; Carvalho, A.L.; Leite, F.L.; Machado, S.A.S.; et al. Adsorption according to the Langmuir-Freundlich model is the detection mechanism of the antigen p53 for early diagnosis of cancer. *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2016**, *18*, 8412–8418. [CrossRef] [PubMed]

## ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

дипломдық жұмыс

**Сартай Бекзат**

5B071900- Радиотехника, электроника және телекоммуникация

Тақырыбына: **Оптикалық талшықты кешенді талдау жүйесі мен спектрлік ыдырау параметрлерін өлшеу**

Оптикалық талшықты кешенді талдау жүйесі мен спектрлік ыдырау параметрлерін өлшеу жұмыстарын жүргізді. Дипломдық жұмыс келесі бөлімдерден тұрады:

Бірінші бөлімде зерттелген ғылыми жұмыстардың негізгі тақырыптары мен бағыттары анықталды. Оптикалық талшықты Брегг торларға қатысты ғылыми еңбектерді қарай отырып оның негізгі сипаттамасы мен оптикалық талшықтар негізіндегі Брегг торлардың құрылымына талдау жасалынды.

Екінші бөлімде Талшықты Брегг торының сенсорда жасау әдістері қарастырылған.


Үшінші бөлімде жұмыс бойынша Эксперименттік нәтижелерді ұйымдастыру қарастырылған. OPTI system программасы бойынша жұмыстар жасалған.

Бұл дипломдық жұмыс жоғарғы оқу орындарының талаптарына сай жеткілікті жоғары дәрежеде жазылған, алынған нәтижелер ақпаратты өңдеп тарату технологиялардағы ғылыми бағытқа жауап береді.

### Жұмыс бағасы

Жалпы, дипломдық жұмыс "95/A/ өте жақсы" деген бағаға, ал студент **Сартай Бекзат** 5B071900 - Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы бойынша техника және технологиялар «бакалавр» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

**Ғылыми жетекші**  
PhD докторы  
Қауымдастырылған профессор  
Н.К.Смайлов  
(қолы)



**СЫН – ПІКІР**  
ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

**Сартай Бекзат**

5B071900- Радиотехника, электроника және телекоммуникация

Тақырыбына **Оптикалық талшықты кешенді талдау жүйесі мен спектрлік ыдырау параметрлерін өлшеу**

Орындалды:

- а) графикалық бөлімі \_\_\_\_\_ бет;  
б) түсіндірме жазбасы \_\_\_\_\_ бет.

**ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ ЖАСАУ**

Дипломдық жұмыста **Сартай Бекзат** Оптикалық талшықты кешенді талдау жүйесі мен спектрлік ыдырау параметрлерін өлшеу жұмыстарын жүргізді. Дипломдық жұмыс келесі бөлімдерден тұрады:

Бірінші бөлімде зерттелген ғылыми жұмыстардың негізгі тақырыптары мен бағыттары анықталды. Оптикалық талшықты Брегг торларға қатысты ғылыми еңбектерді қарай отырып оның негізгі сипаттамасы мен оптикалық талшықтар негізіндегі Брегг торлардың құрылымына талдау жасалынды.

Екінші бөлімде Талшықты Брегг торының сенсорда жасау әдістері қарастырылған.

Үшінші бөлімде жұмыс бойынша Эксперименттік нәтижелерді ұйымдастыру қарастырылған. OPTI system программасы бойынша жұмыстар жасалған.

Бұл дипломдық жұмыс жоғарғы оқу орындарының талаптарына сай жеткілікті жоғары дәрежеде жазылған, алынған нәтижелер ақпаратты өңдеп тарату технологиялардағы ғылыми бағытқа жауап береді.

**Жұмыс бағасы**

Жалпы, дипломдық жұмыс "95/A/ өте жақсы" деген бағаға, ал студент **Сартай Бекзат** 5B071900 - Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы бойынша техника және технологиялар «бакалавр» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

Сын-пікір беруші  
Алматы энергетика және байланыс университеті

т. ғ. д., профессор  
*М.З. Якубова* Якубова М.З.  
«23» \_\_\_\_\_ 2022 ж.



Қолтаңбаны растаймын Подпись заверяю		
<i>А. Аманжол</i>	<i>Аманжол</i>	3.10
ҚЫЗМЕТІ	АТЫ-ЖӨНІ	
«23»	05	2022ж.



**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті  
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

**Автор:** Сартай Бекзат

**Тақырыбы:** Оптикалық талшықты кешенді талдау жүйесі мен спектрлік ыдырау параметрлерін өлшеу

**Жетекшісі:** Нуржигит Смайлов

**1-ұқсастық коэффициенті (30):** 4.9

**2-ұқсастық коэффициенті (5):** 2.1

**Дәйексөз (35):** 0.4

**Әріптерді ауыстыру:** 3

**Аралықтар:** 2

**Шағын кеңістіктер:** 24

**Ақ белгілер:** 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

**Негіздеме:**

24.05.2022.  
Күні

Кафедра меңгерушісі



## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Сартай Бекзат

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Оптикалық талшықты кешенді талдау жүйесі мен спектрлік ыдырау параметрлерін өлшеу

**Научный руководитель:** Нуржигит Смайлов

**Коэффициент Подобия 1:** 4.9

**Коэффициент Подобия 2:** 2.1

**Микропробелы:** 24

**Знаки из других алфавитов:** 3

**Интервалы:** 2

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

24.05.2017  
Дата

Заведующий кафедрой



## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Сартай Бекзат

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Оптикалық талшықты кешенді талдау жүйесі мен спектрлік ыдырау параметрлерін өлшеу

**Научный руководитель:** Нуржигит Смайлов

**Коэффициент Подобия 1:** 4.9

**Коэффициент Подобия 2:** 2.1

**Микропробелы:** 24

**Знаки из других алфавитов:** 3

**Интервалы:** 2

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

24.05.2022  
Дата

Маркисса С.  
проверяющий эксперт