

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Сламғалиев Ислам Талғатұлы

«Төртөзекті оптикалық талшықты датчиктер құрылымын зерттеу»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B07104 - Electronic and Electrical Engineering

Алматы 2024

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы



ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы «Төртөзекті оптикалық талшықты датчиктер құрылымын зерттеу»

6B07104 - Electronic and Electrical Engineering

Орындаған:

И.Т.Сламғалиев

Рецензент

Г. Дәукеев ат. А.Ж.Сагындыкова

PhD докторы

Институт Энергетики и
зеленых технологий

« 05 » 2024 ж.

Ғылыми жетекші

техн.ғыл.докторы,

профессор

Н.Т.Исембергенов

« 30 » 05 2024 ж.

Алматы 2024

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И Сәтпаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыш технологиялар кафедрасы

6B07104 - Electronic and Electrical Engineering



**Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы: Сламғалиев Ислам Талғатұлы

Тақырыбы: «Төртөзекті оптикалық талшықты датчиктер құрылымын зерттеу».

Университет ректорының «4» желтоқсан 2023ж. №548 П/Ө бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жобаны тапсыру мерізімі «30» сәуір 2023ж.

Жұмыстың бастапқы мәліметтері:

- а) төрт өзекті талшық, тарату жылдамдығы 2,56 Тбит/сек;
- б) лазер сәулелену көзі жиілігі 10 ГГц;
- в) электрлік регенерациясыз тарату ара қашықтығы – 400 м;
- г) жүрекше тиімді ауданы – 25 мкм²; толқын ұзындығы – 1550 нм;
- д) импульс ұзақтығы 2,7-3,0 пс.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

- а) Төртөзекті талшықты-оптикалық жүйелерін талдау;
- б) Төртөзекті талшықты-оптикалық тарату жүйелерінің сызбасы;
- в) Төртөзекті талшықты-оптикалық тарату жүйелерінің басты параметрлерін есептеу.

Сызбалық материалдар 15 слайдпен ppt форматында көрсетілген.

Ұсынылатын негізгі әдебиет:

1. Антипин В.В., Зиновьев Н.В. Влияние нелинейности передатчика на сигналы с OFDM // Научно-практические исследования. - 2019. - №8-2 (23). - С.31-34.

2. Варламов О.В. Разработка требований к приемному оборудованию сетей цифрового радиовещания стандарта DRM // Т-Comm - Телекоммуникации и Транспорт. - 2013. - №9. - С.39-42.

3. Владыко А.Г., Ковалгин Ю.А., Мышьянов С.В. Первые шаги стандарта DRM+ в Российской Федерации // Электросвязь. - 2016. - № 5. - С. 60-66.

4. Горегляд В.Д., Ковалгин Ю.А., Мышьянов С.В., Соколов С.А. О выборе системы цифрового радиовещания для России // «Broadcasting». Телевидение и радиовещание. - 2015. - № 8. - С. 42-47.

5. Дворкович А.В., Дворкович В.П., Иртюга В.А., Митягин К.С. Стандарт цифрового мультимедийного вещания РАВИС 2.0 // Цифровая обработка сигналов и ее применение.: Докл. 19 Междун. конф. (DSPА-2017, Москва, 29-31 марта 2017 г.). - М.: 2017. - Выпуск XIX-1. - С. 222-225.




6. Дворкович В.П., Дворкович А.В. Цифровые видеоинформационные системы (теория и практика) // Москва: Техносфера. - 2012. - 1008 с.

Дипломдық жұмысты дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерізімі	Ескерту
Теориялық бөлім	1.02.2024 ж. - 21.02.2024	10 бет есеп, 3 слайд
Негізгі бөлім	21.02.2024 - 01.03.2024	10 бет есеп, 3 слайд
Есептеу бөлімі	01.03.2024 - 14.05.2024	10 бет есеп, 3 слайд

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

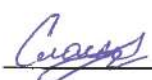
қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	Техн.ғыл.докторы, ЭТЖҒТ каф. профессоры Исембергенов Н.Т.	30.05.24	
Теориялық ақпарат	Техн.ғыл.докторы, ЭТЖҒТ каф. профессоры Исембергенов Н.Т.	30.05.24	
Норма бақылау	ЭТЖҒТ каф.аға оқытушысы Досбаев Ж.М.	30.05.24	

Ғылыми жетекшісі 

Н.Т.Исембергенов

(колы)

Тапсырманы орындауға алған білім алушы  И.Т.Сламғалиев

Күні «30» 05 2024 ж.

АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыс төртөзекті талшықты-оптикалық жүйелерді зерттеуге арналған. Төртөзекті оптикалық жүйелер байланыс және сенсорлық технологияларда кеңінен қолданылады. Бұл зерттеу олардың құрылымы мен жұмыс принциптерін талдауға және басты параметрлерін есептеу әдістерін қарастыруға бағытталған. Жұмыс оптикалық жүйелердің тиімділігін арттыруға және олардың қолдану аясын кеңейтуге мүмкіндік береді.

АННОТАЦИЯ

Этот дипломный проект посвящен исследованию четырехпозиционных волоконно-оптических систем. Четырехпозиционные оптические системы широко применяются в связи и сенсорных технологиях. Это исследование направлено на анализ их структуры и принципов работы, а также на рассмотрение методов расчета основных параметров. Работа способствует повышению эффективности оптических систем и расширению их области применения.

ANNOTATION

This thesis project focuses on the study of four-core fiber-optic systems. Four-core optical systems are widely used in communication and sensing technologies. This research aims to analyze their structure and working principles, as well as to consider methods for calculating their main parameters. The work contributes to improving the efficiency of optical systems and expanding their application scope.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	8
1 Төртөзекті оптикалық жүйелерді талдау	9
1.1 Оптикалық жүйелерге шолу	9
1.2 Жарық өткізгішінің құрылымы	12
1.3 Талшықты оптикалық датчиктердің ерекшеліктеріне шолу	15
2 Төртөзекті оптикалық тарату жүйелерін талдау және зерттеу	18
2.1 Талшықты оптикалық датчиктердің функциясы	18
2.2 Брэгг торының жұмыс істеу негіздері	19
2.3 Оптикалық тарату жүйелерінің құрылымы және сызбасы	23
3 Төртөзекті талшықты-оптикалық тарату жүйелерінің басты параметрлерін есептеу	31
3.1 Оптикалық тарату жүйелерінің параметрлері	31
3.2 Талшықты оптикалық датчиктермен деформацияны өлшеу және есептеу	34
Қорытынды	38
Пайдаланған әдебиеттер тізімі	39

КІРІСПЕ

Оптикалық талшық технологиясы 19-ғасырда жарық берудің алғашқы тәжірибелерінен бастау алады. 20-ғасырдың ортасында Чарльз К. Као мен Джордж Хокхэмнің зерттеулері нәтижесінде оптикалық талшықтардың жарықтың әлсіреуін азайту әдістері табылды, бұл деректерді ұзақ қашықтыққа жеткізу мүмкіндігін айтарлықтай жақсартты.

Жоғары жылдамдықты деректерді беру қажеттілігі көп өзекті талшықтардың дамуына әкелді. Бір қабықша ішінде бірнеше өзекті қамтитын бұл талшықтар деректердің өткізу қабілетін едәуір арттырды. 4 өзекті оптикалық талшықтар бір қабық ішінде төрт бөлек өзекті біріктіріп, деректерді берудің үлкен сыйымдылығы мен жақсартылған сезімталдықты қамтамасыз етеді.

Бүгінгі таңда оптикалық талшықтар деректер орталықтарында және жоғары сыйымдылықты желілерде кеңінен қолданылады. Сонымен қатар, олар құрылымдық денсаулықты бақылау, биомедициналық сенсорлық жүйелер және қоршаған ортаны бақылау салаларында маңызды рөл атқарады.

Бұл жұмыстың негізгі мақсаты - төрт өзекті оптикалық жүйелердің жұмыс істеу принциптерін, олардың ерекшеліктерін және қолдану салаларын зерттеу.

1 Төртөзекті оптикалық жүйелерді талдау

1.1 Оптикалық жүйелерге шолу

Оптикалық талшық технологиясының дамуы байланыс және сенсорлық жүйелерде төңкеріс жасап, пайда болғаннан бері айтарлықтай дамыды. Оптикалық талшық технологиясының сапары 19-ғасырда мөлдір материалдар арқылы жарық берудің алғашқы эксперименттеріне оралуы мүмкін. Бұл негізгі эксперименттер біз бүгін қолданатын күрделі талшықты-оптикалық жүйелерге негіз қалады.

Ерте бастаулары

Орта арқылы жарық бағыттау тұжырымдамасы 1840 жылдарға, Даниель Колладон мен Жак Бабине сияқты физиктер су ағындарында жарық бағыттауды көрсеткен кезде, ал Джон Тиндалл жарықтың қисық ағын арқылы бағытталуы мүмкін екенін көрсетіп, бұл жұмысты одан әрі жалғастырған кезде пайда болды [1]. Бұл эксперименттер қазіргі оптикалық талшықтар үшін маңызды болып табылатын толық ішкі шағылысу принципін дәлелдеді. Алайда, қолайлы материалдар мен технологиялардың болмауына байланысты практикалық қолдану шектеулі болды.

20 ғасырдағы жетістіктер

20 ғасыр материалтану мен технология саласындағы маңызды жетістіктердің куәсі болды, бұл практикалық оптикалық талшықтарға жол ашты. 1950 жылдары зерттеушілер жарық беру үшін әйнек талшықтарын пайдалануды зерттей бастады. "Талшықты оптика" терминін енгізген Нариндер Сингх Капани осы кезеңде маңызды зерттеулер жүргізді. Алайда, ерте әйнек талшықтарда жарықтың әлсіреуі ұзақ қашықтықтағы байланыс үшін өте жоғары болды.

Серпіліс 1960 жылдары, Чарльз К. Као мен Джордж Хокхэм Standard Telecommunication Laboratories зертханаларында оптикалық талшықтардағы жоғары шығындардың әйнектегі қоспаларға байланысты екенін ұсынған кезде болды. Олар ультра таза кремний диоксидінен жасалған талшықтар әлсіреуді айтарлықтай азайтуы мүмкін деп болжады. 1970 жылы Corning Glass Works компаниясы километріне 20 децибелден аз шығынға қол жеткізген алғашқы төмен шығынды оптикалық талшықты шығарды, бұл қазіргі заманғы оптикалық талшықты байланыстың бастауын белгіледі [1].

Көп өзекті талшықтарды әзірлеу

Деректерді берудің жоғары жылдамдығына сұраныс өскен сайын, зерттеушілер оптикалық талшықтардың сыйымдылығын арттыру жолдарын іздеді. Бұл бір қабықша ішінде бірнеше өзекті қамтитын көп өзекті талшықтардың (MCF) дамуына әкелді. Бұл талшықтар деректерді параллель беруге мүмкіндік береді, оптикалық байланыс жүйелерінің өткізу қабілетін және сыйымдылығын едәуір арттырады.

Көп өзекті талшықтар тұжырымдамасы 20 ғасырдың аяғында пайда болды, алғашқы жобалар өзектер арасындағы өзара әсерді азайтуға және жалпы өнімділікті жақсартуға бағытталды. Дәл сызу және әйнекті легирлеу сияқты

өндіріс технологияларындағы жетістіктер өзара әсері төмен және беру сапасы жоғары MCF өндірісіне мүмкіндік берді.

4 өзекті оптикалық талшықтардың пайда болуы

4 өзекті оптикалық талшықтардың арнайы әзірленуі осы саладағы салыстырмалы түрде жаңа жетістік болып табылады. Бұл талшықтар бір қабықтың ішінде төрт бөлек өзекті біріктіруге арналған, бұл деректерді берудің үлкен сыйымдылығы мен жақсартылған сезім мүмкіндіктерін қамтамасыз етеді. 4 өзекті оптикалық талшықтардың дизайны мен әзірленуі жоғары сыйымдылықты байланыс желілеріне және жетілдірілген сенсорлық қосымшаларға қажеттілікпен қозғалды.

21 ғасырдың басында 4 өзекті оптикалық талшықтарды зерттеу кросстолды азайту және өнімділікті арттыру үшін өзек аралығын және туралауды оңтайландыруға бағытталған. Микроқұрылымдық қабықтарды және жетілдірілген допинг әдістерін қолдану сияқты талшықтарды өндіру техникасындағы жаңалықтар бұл мақсаттарға жетуде шешуші рөл атқарды.

Қолдану және жетістіктер

4 өзекті оптикалық талшықтардың пайда болуы байланыс пен сезім салаларында жаңа мүмкіндіктер ашты. Байланыста бұл талшықтар деректер орталықтарында және жоғары сыйымдылықты желілерде қолданылады, бұл деректерді параллель беруге және кідірісті азайтуға мүмкіндік береді. Сенсорлық қосымшаларда 4 өзекті талшықтар жақсартылған сезімталдық пен кеңістіктік ажыратымдылықты ұсынады, бұл оларды құрылымдық денсаулықты бақылау, биомедициналық сенсорлық және қоршаған ортаны бақылау үшін тамаша етеді.

4 өзекті оптикалық талшықты технологиялардағы соңғы жетістіктерге талшықты Bragg Gratings (FBGs) сияқты мамандандырылған сенсорлық элементтерді интеграциялау және өнімділікті одан әрі жақсарту үшін жаңа мультиплекстеу техникаларын әзірлеу кіреді. Жалғасып жатқан зерттеулер өндіру процестерін жетілдіруге, шығындарды азайтуға және 4 өзекті оптикалық талшықтарды қолдану ауқымын кеңейтуге бағытталған.

4 өзекті оптикалық талшықтарды әзірлеу оптикалық талшық технологиясының эволюциясындағы маңызды кезенді білдіреді, бұл саладағы үздіксіз инновацияны және жетістікті көрсетеді. Зерттеу жүріп жатқан кезде, бұл талшықтар келесі буын байланыс және сенсорлық жүйелерде шешуші рөл атқарады деп күтілуде, бұл жоғары сыйымдылыққа, сенімділікке және дәлдікке деген өсіп келе жатқан сұраныстарды қанағаттандырады.

Оптикалық талшықтар жарықты орта арқылы, әдетте шыны немесе пластик арқылы, минималды шығынмен өткізу принципі бойынша жұмыс істейді. Оптикалық талшықтың негізгі компоненттеріне өзек, қабық және жабын кіреді, олардың әрқайсысы жарықты тиімді беруді қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады.

Өзек және қабық

Өзек - оптикалық талшықтың орталық аймағы, онда жарық беріледі. Ол өзекке қарағанда сыну көрсеткіші төмен қабықпен қоршалған. Сыну көрсеткішіндегі бұл айырмашылық жарықтың өзек арқылы минималды

шығынмен бағытталуына мүмкіндік беретін толық ішкі шағылысу принципі үшін маңызды. Өзек арқылы өтетін жарық өзек пен қабық арасындағы шекараға таяз бұрышпен түскенде, ол өзекке қайта шағылысады, осылайша жарықты өзек ішінде «ұстап» қалады. Бұл механизм оптикалық талшықтардың жұмысының негізі болып табылады.

Толық ішкі шағылысу

Толық ішкі шағылысу өзек ішіндегі жарықтың түсу бұрышы өзек-қабық шекарасына қатысты сыни бұрыштан асып кеткен кезде пайда болады. Бұл сыни бұрыш өзек пен қабықтың сыну көрсеткіштерімен анықталады. Тиімді беру үшін жарық сандық апертурасымен (NA) анықталатын талшықтың қабылдау конусының шегіндегі бұрыштармен талшыққа енуі керек. NA - талшықтың жарық жинау қабілетінің өлшемі және өзек пен қабықтың сыну көрсеткіштеріне байланысты.

$$NA = \sqrt{n_{core}^2 - n_{cladding}^2} \quad (1.1)$$

мұндағы n_{core} – өзектің сыну көрсеткіші, ал

$n_{cladding}$ – қабықтың сыну көрсеткіші.

Жарық таралу режимдері

Оптикалық талшықтар өзек диаметріне және жарық толқынының ұзындығына байланысты әртүрлі жарық таралу режимдерін қолдай алады. Бір режимді талшықтарда өзек диаметрі әдетте 8-10 микрометр шамасында кішкентай болып, жарықтың тек бір ғана режимін таратуға мүмкіндік береді. Бұл модальді дисперсияны азайтады, бір режимді талшықтарды ұзақ қашықтыққа байланыс үшін жарамды етеді.

Керісінше, көп режимді талшықтардың өзек диаметрі үлкенірек, әдетте 50-62,5 микрометр болады, бұл жарықтың бірнеше режимін таратуға мүмкіндік береді. Бұл талшықтың сыйымдылығын арттырғанымен, ол сонымен қатар жоғары модальді дисперсияға әкеледі, бұл сигналды айтарлықтай жоғалтпастан беруге болатын қашықтықты шектейді.

Әлсіреу және дисперсия

Оптикалық талшықтардың жұмысына әсер ететін екі негізгі фактор - әлсіреу және дисперсия. Әлсіреу жарық талшық арқылы өткенде жұтылу, шашырау және бүгілу шығындарынан туындаған сигнал күшінің жоғалуын білдіреді. Қазіргі заманғы оптикалық талшықтар әлсіреуді барынша азайту үшін жасалған, бір режимді талшықтар үшін әдеттегі шығындар 0,2 дБ/км диапазонында.

Дисперсия, екінші жағынан, уақыт өте келе жарық импульстарының таралуын білдіреді, бұл сигналдың бұрмалануына әкелуі мүмкін. Дисперсияның әртүрлі түрлері бар, соның ішінде модальді дисперсия, хроматикалық дисперсия және поляризация режимінің дисперсиясы. Дисперсияны басқару сигналдың тұтастығын сақтау үшін, әсіресе жоғары жылдамдықты және ұзақ қашықтықтағы байланыс жүйелерінде өте маңызды.

Оптикалық талшықтың қаптамасы және қорғанысы

Нәзік өзек пен қаптаманы қорғау үшін оптикалық талшықтар механикалық зақымданудан және қоршаған орта факторларынан қорғайтын полимер қабатымен қапталады. Бұл қаптама талшықтың тұтастығы мен жұмысын сақтау үшін, әсіресе қатаң жұмыс жағдайларында өте маңызды.

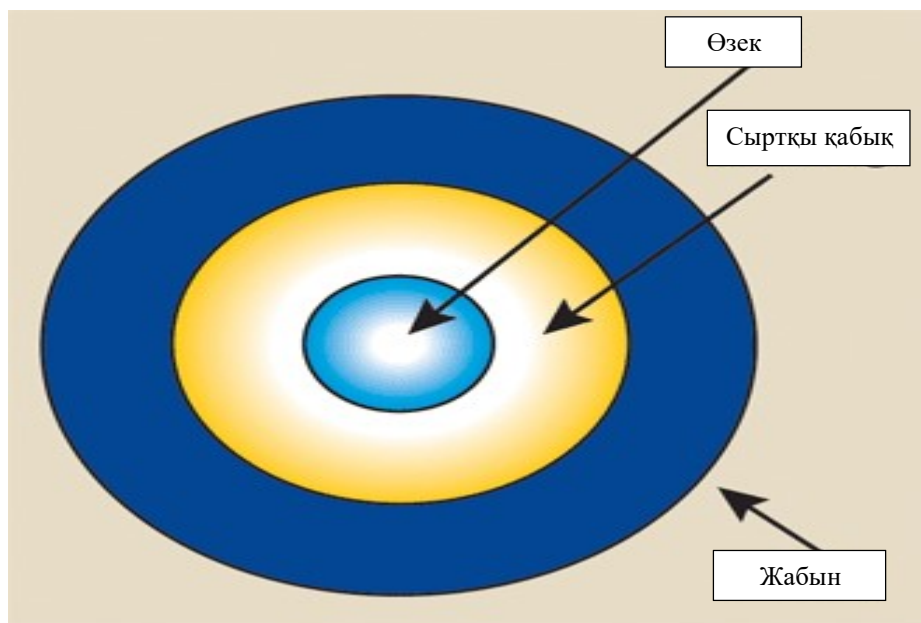
Оптикалық талшықтардың негізгі принциптері күрделі конструкцияны және жарықтың ұзақ қашықтыққа минималды шығынмен тиімді берілуін қамтамасыз ететін инженерлік шешімдерді көрсетеді. Бұл принциптерді түсіну технологияны да, оның байланыс және сенсорлық қолданбалардағы қолданылуын да дамыту үшін өте маңызды.

1.2 Жарық өткізгішінің құрылымы

Оптикалық талшық – бұл диаметрі 1 мм-ден аз жұқа шыны жіптер, олар сандық ақпаратты жарық импульсі түрінде жібере алады. Мұндай беріліс шыны оптикалық талшыққа кіретін жарық энергияны жоғалтпай бір ұшынан екінші ұшына шағылысу арқылы өтетіндіктен мүмкін болады. Кескіндерді үлкейтуге, бұрмалауға немесе шифрлауға болады [2].

Жарық талшықтары жарық сәулелерінің қозғалысын басқару үшін кеңінен қолданылады. Олар жарық өткізгіштер қызметін атқарады. Талшықтарды бүккенде, егер қисықтық радиусы өте аз болмаса (жарық толқынының ұзындығы ретімен), жарық сәулесі талшықтың иілуіне ілеседі. Жарық талшықтарының үлкен артықшылығы - оларда жарық сәулелері таралған кезде энергия шығыны аз болады. Ақпаратты беру үшін жарықты пайдаланудың басты артықшылығы жарықтың жоғары жиілігімен байланысты, бұл арқасында жарық өткізгіштегі жарық сәулесі арқылы өте көп ақпаратты беруге болады.

Жарық өткізгіштердің жұмыс принципі толық ішкі шағылысу әсеріне негізделген. Жарық өткізгіш әдетте цилиндрлік пішінді және үш негізгі қабаттан тұрады (1-сурет):



1.1-сурет – Жарық өткізгіштің құрылымы

Жарық өткізгіштің орталық өзегі мөлдір материалдан жасалған (берілген жиілік үшін) жоғары сыну көрсеткішімен;

Екінші қабат - өзекшеге қарағанда сыну көрсеткіші аз жабын, толық ішкі шағылу шартын қамтамасыз ету үшін;

Оптикалық талшық сызығының беріктігін қамтамасыз ететін қорғаныш қабық [2].

Талшықтың өзегі - бұл құрамында сыну көрсеткішін қамтамасыз ететін қоспалары бар өте таза кремний диоксиді немесе балқытылған кварц бар шыны немесе пластик. Оптикалық талшық арқылы жарық сәулесі беріледі. Талшықтың жабыны жарықтың талшық өзегіне кері шағылысуын қамтамасыз етеді және жарық толқындары тек талшық өзегі бойымен таралады, яғни жарық сәулесі талшық өзегі бойымен бағытталады. Қорғаныш қабық (кожух) қалыңдығы 250-900 мкм пластиктерден жасалған, амортизацияны және қоршаған ортадан қорғауды қамтамасыз етеді [2].

Жарық өткізгіш іс жүзінде цилиндрлік диэлектрикалық толқын өткізгіш болып табылады. Сондықтан ол Максвеллдің электродинамикалық теңдеулерімен толық сипатталады. Кез келген электромагниттік толқын сияқты, толқын өткізгіштегі жарық толқындары үшін толқын теңдеуінің мода деп аталатын дискретті шешімдер жиынтығы болады. Әрбір мода өзінің таралу тұрақтысы β арқылы сипатталады. Берілген параметрлері бар жарық өткізгіште тарала алатын модалар саны келтірілген топтық жылдамдық мәнімен анықталады:

$$V_r = \frac{2\pi \cdot a}{\lambda} \cdot \sqrt{n_1^2 - n_2^2}, \quad (1.2)$$

мұндағы a – жарық өткізгіштің радиусы;
 λ – бос кеңістіктегі толқын ұзындығы.

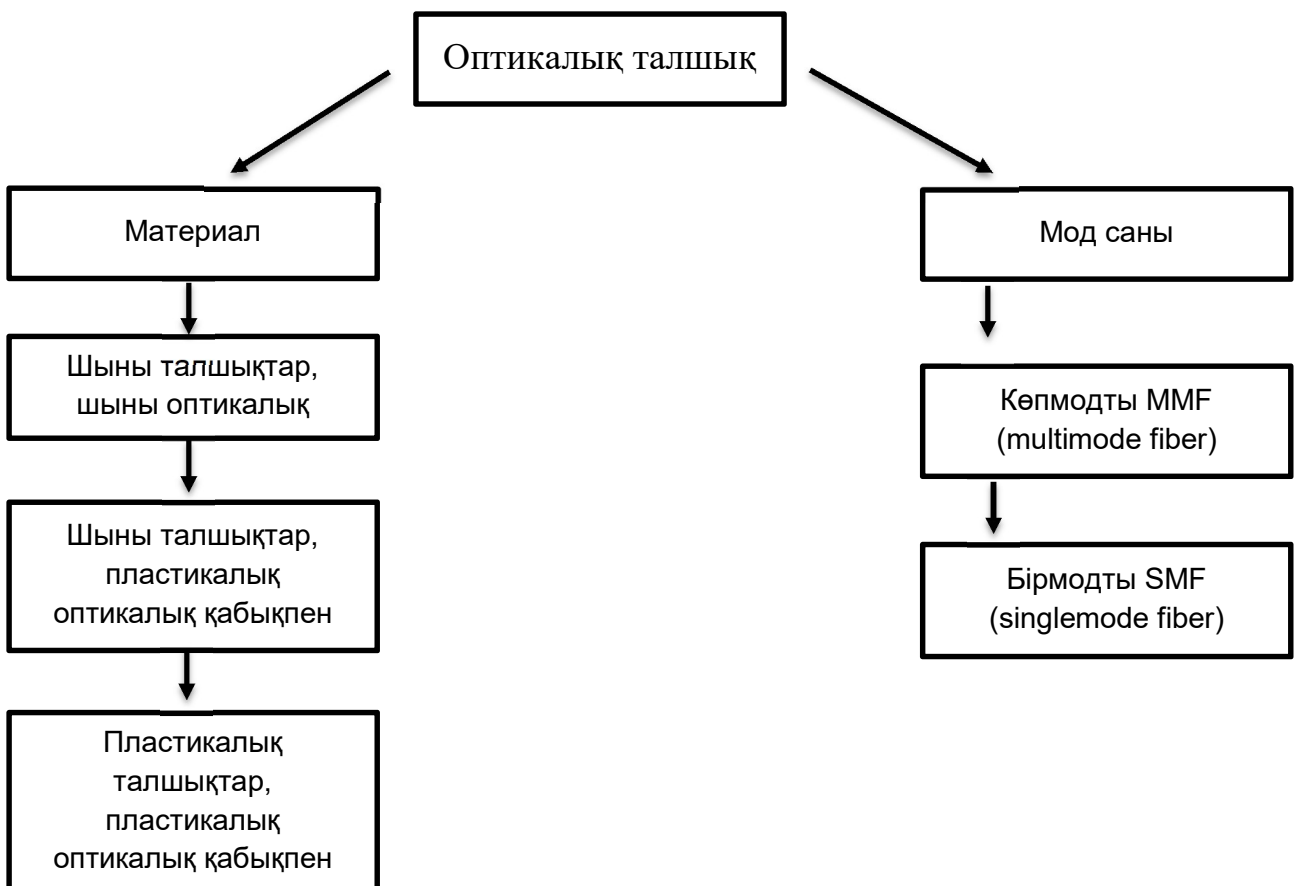
Өзекшесінің қалыңдығы мен сыну көрсеткішінің қасиеттеріне қарай оптикалық талшықтар үш түрге бөлінеді:

Бірмодты тұрақты сыну көрсеткішті талшықтар: Бұл талшықтарда жарық тек бір режимде таралады.

Көпмодты тұрақты сыну көрсеткішті талшықтар: Бұл талшықтарда жарық бірнеше режимде таралады, бірақ өзекше бойынша сыну көрсеткіші тұрақты болып қалады.

Көпмодты градиентті сыну көрсеткішті талшықтар: Бұл талшықтарда жарық бірнеше режимде таралады, және өзекше бойынша сыну көрсеткіші бірте-бірте өзгереді (градиентті).

ОВ классификациясы 1.2 – суретте көрсетілген.

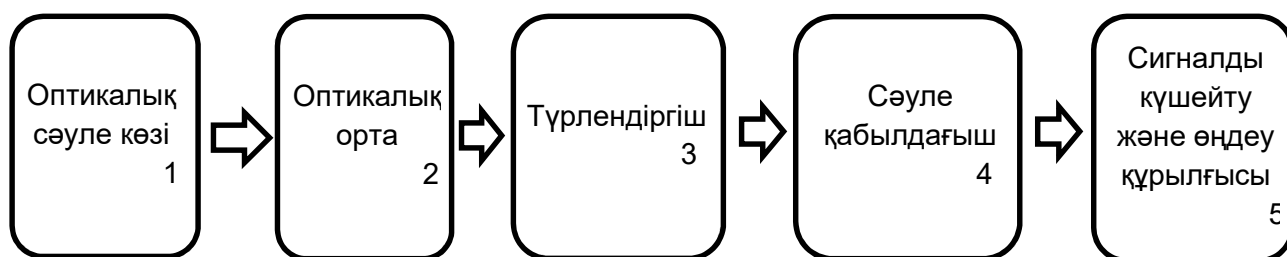


1.2-сурет – Оптикалық талшықтардың жіктелуі

1.3 Талшықты оптикалық датчиктердің ерекшеліктеріне шолу

Оптикалық талшыққа температура, қысым, созылу күші сияқты физикалық әсерлер жарық өткізу сипаттамаларын жергілікті өзгертеді, нәтижесінде кері шағылысу сигналының сипаттамалары өзгереді. Оптикалық талшықты сенсорларға негізделген өлшеу жүйелерінің жұмысы бастапқы лазер сәулесінің спектрлері мен қарқындылығын және оптикалық талшық арқылы өткеннен кейін кері бағытта шашыраған сәулеленуді салыстыруға негізделген [3].

Жалпы алғанда, оптикалық сәулеленуді қолданатын оптикалық талшықты сенсорлардың құрылымы 3-суретте блок-схема түрінде көрсетілген:



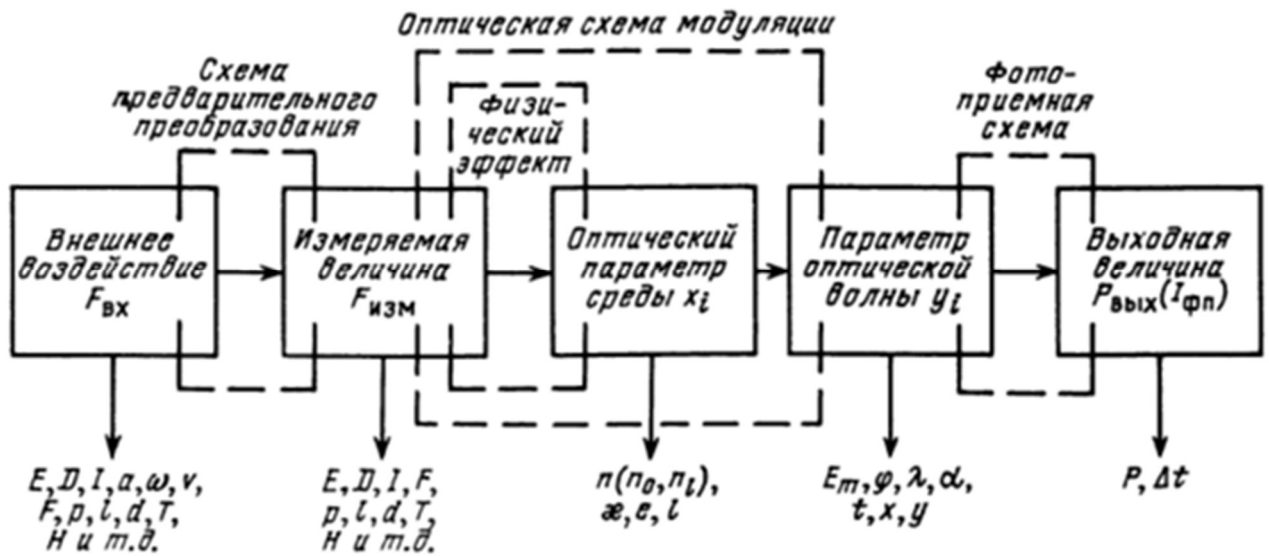
1.3-сурет – Талшықты-оптикалық датчиктердің құрылымдық блок-схемасы

1.3-суретте: 1 – оптикалық сәуле көзі; 2 – өлшенетін физикалық шама әсер ететін оптикалық орта; 3 – сигналдың ақпараттық бөлігінің түрлендіргіші; 4 – жарық сигналын электр сигналына түрлендіретін сәуле қабылдағыш; 5 – электр сигналын күшейту және өңдеу құрылғысы. 2 және 3 бөліктері оптикалық талшықта және ТОО-де болатындай толығымен немесе ішінара біріктірілуі мүмкін.

Талшықты-оптикалық датчиктердің ерекшеліктері:

- Оптикалық ортаның өлшеу аймағында болуы, оған тек жарық энергиясы келеді, бірақ электр көзінен энергия келмейді;
- Электронды бөліктің өлшеу аймағынан бөлінген шектеулі көлемде орналасуы [3].

ТОО-де сыртқы әсерді өлшеу процесінде бірқатар өзара байланысты түрлендірулер жүреді: алдын ала, физикалық эффект, модуляциялық және фотоқабылдағыш (1.4-сурет). Сыртқы әсерді тікелей өлшеу мүмкін болмаған жағдайда немесе басқа физикалық параметрді өлшеу үшін датчик бар болған жағдайда алдын ала түрлендіру схемасы қажет.



1.4-сурет – СӨО-дағы түрлендірулер

Сыртқы әсер $F_{вх}$ ретінде электр және магнит өрісінің кернеулігі E және H , ток I , температура T , сызықтық үдеу a , бұрыштық және сызықтық жылдамдықтар (ω және ν), күш F , қысым p және т.б. бола алады, яғни сыртқы әсер электр, магнит, жылу, механикалық, химиялық, радиациялық және басқа да түрлерде болуы мүмкін. Әр түрлі физикалық әсерлер (электр- немесе магнитооптикалық, пьезооптикалық және т.б.) арқылы өлшенетін шама сәуле таралатын ортаның оптикалық параметрлерінің x_i өзгеруіне әкеледі (сыну көрсеткіші n , жарық жұту коэффициенті χ , сызықтық өлшемдері l).

Оптикалық схемада амплитудалық, фазалық, поляризациялық, жиіліктік, спектрлік, уақытша немесе кеңістіктік модуляция жүзеге асырылады. Бұл схема өлшенетін физикалық шамамен индукцияланған ортаның оптикалық параметрінің өзгеруін x_i датчик арқылы өтетін оптикалық толқынның параметрімен y_i (амплитудасы A , фазасы φ , поляризация жазықтығының бұрылуы α және т.б.) байланыстырады.

Оптикалық схемалардың модуляциясының қолданылатын принциптерінің ішінде мыналарды атап өту керек: ортаның шағылыстыру немесе өткізу қабілетінің өзгеруі, толық ішкі шағылысудың бұзылуы, толқынжолдардың басқарылатын байланысы, ортаның жұтылуының өзгеруі (амплитудалық модуляция); ұяшық ұзындығының немесе ортаның оптикалық ұзындығының, толқынжолдың көлденең өлшемдерінің өзгеруі (фазалық модуляция); поляризация жазықтығының бұрылуы, поляризация түрінің өзгеруі (поляризациялық модуляция); жұтылу жолағының шетінің ығысуы және жарық сүзгілерінің қозғалысы (спектрлік модуляция).

Ортаның оптикалық параметрінің өзгерістерін анықтау және өлшеу үшін әртүрлі фотоқабылдағыш схемаларды пайдалануға болады (1.1-кесте). Олар сигнал қуатын тікелей өлшейді немесе қосымша құрылғыларды қамтиды: интерферометриялық схема, жарық сүзгісі және т.б. Іс жүзінде барлық

жағдайларда соңғы тіркелетін шама фотоқабылдағыштың шығысындағы ток амплитудасы $I_{фп}$ болып табылады [3].

Кесте 1.1 – Оптикалық толқын параметрлерін тіркеу

Оптикалық толқынның өзгертін параметрі	Фото қабылдау схемасы	Өлшенетін физикалық шама
A	Тікелей өлшеу	P
Φ	Екі иықты немесе бір талшықты интерферометриялық схема Поляризациялық анализатор	" P " немесе интерференциялық жолақтар саны P
Λ	Жарық сүзгісі немесе спектрлік сезімтал фотоқабылдағыш	P
A	Поляризациялық анализатор	P
T	Уақытша кідірісті талдауыш	Δt
x, y	Позицияға сезімтал жарық сүзгісі және фотодетектор	P

2 Төртөзекті оптикалық тарату жүйелерін талдау және зерттеу

2.1 Талшықты оптикалық датчиктердің функциясы

Фотоқабылдағыштың $I_{\text{ФК}}$ шығыс тогының сыртқы әсер $F_{\text{Кір}}$ шамасымен байланысы ТОД түрлендіру функциясымен анықталады. Бұл күрделі көп сатылы тәуелділік:

$$I_{\text{ФК}} = S_{\text{ФК}} k_{\text{ж}} R_{\text{ИИ}}(I_{\text{ИИ}}) f_{\text{ФК}} \{y_i[x_i(F_{\text{ӨЗГ}}(F_{\text{ВХ}}))]\}, \quad (2.1)$$

мұндағы $R_{\text{ИИ}}(I_{\text{ИИ}})$ — сәулелену көзі арқылы $I_{\text{ИИ}}$ тогы өткенде пайда болатын оптикалық сәулелену қуаты, Вт;

$f_{\text{ФК}}$ — фотоқабылдағышты түрлендіру функциясы;

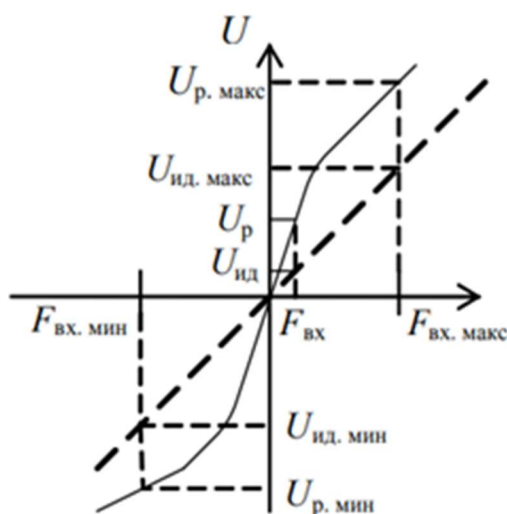
$S_{\text{ФК}}$ — фотоқабылдағыштың интегралды сезімталдығы, мА/Вт;

$k_{\text{ж}}$ — $F_{\text{ШЫҒ}}=0$ кезіндегі оптикалық сәулелену қуатының шығын коэффициенті;

x_i — өлшенетін физикалық шамамен индукцияланған ортаның оптикалық параметрінің өзгеруі;

y_i — жарық толқынының параметрі (амплитудасы, фазасы, поляризация жазықтығының бұрылу бұрышы, толқын ұзындығы λ , импульстік жауаптың кідіріс уақыты t , тіркелген сәулеленудің X,Y кеңістіктік координаттары).

СӨТ сипаттамасы шығыс шамасы U -дың кіріс әсері $F_{\text{Кір}}$ -қа тәуелділігінің сызықтық функциясы түрінде көрсетілген (2.1-сурет). Төменде СӨТ-тың өлшеу түрлендіргіштері ретіндегі кейбір типтік сипаттамаларының анықтамалары келтірілген:



2.1-сурет – Сенсордың идеал (- - -) және нақты (___) сипаттамалары.

- кіріс әсерлерінің диапазоны $F_{\text{кір}}$: $F_{\text{кір. мин}}$ – $F_{\text{кір. макс}}$;
 - негізгі қателік δ ;
 - сипаттаманың сызықты еместігі $\delta_{\text{се}}$;
 - температуралық диапазон $^{\circ}\text{C}$;
 - қосымша температуралық қателік;
 - қысымнан қосымша қателік;
 - фотоқабылдағыш схеманың шуларымен және (егер болса) нормалаушы түрлендіргішпен анықталатын минималды анықталатын әсердің шамасы $F_{\text{мин. анық}}$;
 - құрылғының жұмыс жиілік диапазоны $f_{\text{макс}}-f_{\text{мин}}$;
 - сенсордың динамикалық диапазоны D ;
 - сенсордағы оптикалық сәулеленудің меншікті шығындары, дБ;
 - оптикалық сәулеленудің индукцияланған шығындары;
 - оптикалық сәулеленудің жиынтық шығындары $V=V_0+\Delta V$.
- ТОД-ның ең маңызды пайдалану сипаттамаларын қосымша атап өту қажет:
- ылғалға төзімділік;
 - дірілге және соққылы механикалық жүктемелерге төзімділік;
 - ұзақ мерзімділік;
 - сенімділік [3].

2.2 Брэгг торының жұмыс істеу негіздері

Брэгг торы оптикалық талшықтың ішіндегі сыну көрсеткішінің периодты өзгерісімен сипатталатын құрылым. Брэгг торы арнайы лазерлік сәулелену арқылы оптикалық талшыққа жазылады, және ол белгілі бір аралықпен орналасқан микроқұрылымдардан тұрады. Бұл құрылымдар жарықтың белгілі бір толқын ұзындығын шағылыстырады, ал басқа толқын ұзындықтары талшық арқылы өтеді. Деформация немесе температураның өзгеруі кезінде Брэгг торының периодты құрылымы да өзгереді, сәйкесінше шағылысатын жарықтың толқын ұзындығы да өзгереді. Осылайша, Брэгг торы арқылы өткен жарықтың спектрін өлшей отырып, талшықтың бойындағы кернеу немесе температура өзгерістерін анықтауға болады. Бұл қасиет Брэгг торларын деформация және температура датчиктері ретінде кеңінен қолдануға мүмкіндік береді.

ТОД келесі белгілері бойынша жіктеледі:

- тағайындалуы;
- түрлендіру принципі;
- кеңістіктік таралуы;
- интерфейс түрі.

ТОД-тың мақсаты бойынша жіктелуі Кесте 2.1 [4] келтірілген.

Кесте 2.1 – ТОД-тың мақсаты бойынша жіктелуі.

Санат	Түрі
Объектілердің немесе құбылыстардың болуы/болмауы	Шектік қосқыштар. Деңгейді бақылау датчигі (ТОД). Жақындау датчигі (ТОД). Фотоүзіліс эффектісіне негізделген жақындау датчигі (ТОД).
Өлшенетін позиция түрі	Сызықтық орналасу талшықты-оптикалық датчигі (сенсоры). Бұрыштық орналасу талшықты-оптикалық датчигі. Жақындау талшықты-оптикалық датчигі. Кеңістіктегі орналасу талшықты-оптикалық датчигі. Өлшем талшықты-оптикалық датчигі.
Өлшенетін орналасу өзгерісінің түрі	Сызықтық жылдамдық талшықты-оптикалық датчигі. Бұрыштық жылдамдық талшықты-оптикалық датчигі. Бұрылу бұрышы және айналу жылдамдығы талшықты-оптикалық датчигі. Сызықтық үдеу талшықты-оптикалық датчигі. Бұрыштық үдеу талшықты-оптикалық датчигі.
Бір өлшемді күштің ТОД	Сейсмикалық тербеліс датчиктері. Діріл датчиктері. Айналдыру моменті датчиктері. Салмақ және масса датчиктері.
Екі өлшемді талшықты-оптикалық күш датчиктері (сенсорлары).	Акустикалық талшықты-оптикалық датчиктер (уақыт бойынша өзгертін акустикалық толқындар тудырған қысымды өлшеу). Қысым талшықты-оптикалық датчигі (газдар немесе сұйықтықтар қысымы).
Электромагниттік шамалар талшықты-оптикалық датчиктері.	Магнит өрісінің талшықты-оптикалық датчигі (сенсоры). Электр тогының талшықты-оптикалық датчигі. Электр өрісінің талшықты-оптикалық датчигі. Электр кернеуінің талшықты-оптикалық датчигі. Электромагниттік сәулеленудің талшықты-оптикалық датчигі.

Оптикалық талшықты сенсорлардың жұмыс істеу (түрлендіру) принципі бойынша жіктелуі:

Интерферометрлік сенсорлар:
Фабри-Перо интерферометрі;
Мах-Зендер интерферометрі;
Майкельсон интерферометрі;
Саньяк интерферометрі.

Пайда болатын жарық интерференция құбылысы материалдың тиісті параметрлерін немесе онда жүретін процестерді анықтауға мүмкіндік береді. Бұл әдіс өте аз деформацияларды жоғары жиілікпен өлшеуге мүмкіндік береді, бұл материалдағы акустикалық толқындарды тіркеуге мүмкіндік береді.

Торлы датчиктер:

талшықты Брэгг торы (белгілі бір толқын ұзындығы бар сәулеленуді көрсетеді және басқа толқын ұзындықтары үшін мөлдір болады);

ұзын периодты талшықты тор;

сығылған Брэгг торы;

көлбеу Брэгг торы.

Брэгг торларына негізделген талшықты-оптикалық датчиктерді сұрау жүйелері

Брэгг торларына негізделген датчиктің жұмыс істеуінің негізгі принципі - тордан шағылған жарықтан ақпаратты бөлу. Ол үшін интеррогаторлар деп аталатын арнайы құрылғылар қолданылады, олар шағылған толқынның ығысуын өлшейді және оны электр сигналына түрлендіреді.

Таратылған сенсорлар келесі әдістерге негізделген:

комбинациялық раман шашырауы;

комбинациялық релей шашырауы;

комбинациялық бриллюэн шашырауы.

Таратылған өлшеу әдісінде оптикалық-талшықты кабельдің өзі таратылған сезімтал элемент, яғни сенсор болып табылады. Бұл әдіс еріксіз комбинациялық шашырауды тіркеуге негізделген. Шашыраған сигнал қабылдау аппаратурасымен тіркеледі.

Басқа да оптикалық талшықты датчиктер:

беттік плазмонды резонансқа негізделген;

фотонды-кристалды оптикалық талшыққа негізделген;

сұйық кристалды оптикалық талшыққа негізделген.

Механикалық кернеулерді бақылаумен қатар, температураны өлшеу оптикалық талшықты датчиктердің көмегімен шешілетін негізгі міндеттердің бірі болып табылады. Температураны өлшеу Брэгг торларына негізделген оптикалық талшықты датчиктерді де, таралған оптикалық талшықты датчиктерді де қолдану арқылы жүзеге асырылады. Оптикалық талшықты температура датчиктерінің типтік қолданылу салаларына өрт дабылы жүйелері, күш кабельдері мен электр беру желілерінің термиялық бақылауы, химиялық процестердің температурасын бақылау, құбырлардағы ағып кетулерді анықтау жатады. Мұндай датчикті полимер-композиттік материалдардан жасалған бұйымдарға енгізу және оның температуралық өрісін өлшеу мүмкіндігі де бар.

Өлшеудің негізгі принциптері жарықтың кері шашырауын анықтауға негізделген, мысалы, Рэлей, Раман және Бриллюэн шашырауларына негізделген. Мұндай жүйелер температураны жоғары дәлдікпен айтарлықтай қашықтықта өлшей алады. Электромагниттік кедергілерге сезімтал болмағандықтан, талшықты-оптикалық жүйелер электротехникалық жүйелер, мысалы,

энергетикалық жүйелер, кабельдер және т.б. үшін ерекше қызығушылық тудырады.

Оптикалық талшықтар легирленген кварц шыныдан жасалған. Кварц шынысы аморфты қатты денелік құрылымы бар кремний диоксидінің (SiO_2) бір түрі болып табылады. Температуралық әсерлер молекулалық тордағы тербелістерді тудырады. Жарық термиялық қозған молекулаларға түскен кезде, жарық бөлшектері (фотондар) мен электрондар арасында өзара әрекеттесу пайда болады. Осылайша, оптикалық талшықта жарықтың шашырауы жүреді, ол раманов шашырауы деп те аталады. Шашыраған жарық тордың резонанстық тербелістерінің жиілігіне эквивалентті спектрлік өзгеріске ие.

Температуралық талшықты-оптикалық датчиктермен жұмыс істеудегі басты қиындық - шашыраңқы жарықтың аз қарқындылығы. 1550 нм толқын ұзындығындағы орталық сызық лазер сәулесінің релей шашырауына сәйкес келеді, ал екі симметриялы орналасқан компоненттер ~ 1450 нм және ~ 1650 нм толқын ұзындықтарында орналасқан. Шыны аморфты зат болғандықтан, тербелмелі қозуларға сәйкес келетін спектрлік максимумдар кеңейіп, бір-бірімен қабаттасады. Шуды азайту үшін, әдетте, алынған сигналдарды бірнеше рет орташалау қолданылады. Бірнеше рет орташалау сенсорлық жүйенің инерциялы болуына әкеледі - яғни жақсы сигнал алу үшін сигналды жеткілікті ұзақ жинау қажет. Бұл ретте сенсорлық жүйе жылдам температуралық ауытқуларды тіркей алмайды, өйткені олар уақыт бойынша орташаланады. Талшықты желіге жіберілетін сигналды кодтау арқылы және кейіннен шағылысу сигналдарын декодтау арқылы шудың төмен деңгейіне қол жеткізуге болады. Кодтаудың әртүрлі әдістері көп, бірақ ең көп таралғаны симплекс-кодтау әдісі [5].

Құрылымдар ішіндегі механикалық кернеулерді бақылау оптикалық-талшықты сенсорлардың көмегімен жиі шешілетін міндеттердің бірі болып табылады. Қазіргі уақытта талшықты Брэгг торына негізделген сенсорлар ең қолжетімді болып табылады, олардың жұмыс принципі сыртқы факторлардың әсерінен оның периодының өзгеруіне негізделген. Мұндай өзгеріске тордың деформациясының өзгеруі де, оның температурасының өзгеруі де әкеледі. Температура туралы ақпаратсыз деформацияны біржақты бағалау мүмкін емес. Температураның әсерін ескеру үшін әртүрлі әдістер бар - мысалы, басқа типті БТ қолдану немесе деформация немесе температура бойынша әртүрлі жауаптары бар БТ қолдану. Осындай типтегі сенсорлар көпірлердің, бөгеттердің, ғимараттардың, құбыржолдардың, мұнай-газ ұңғымаларының, электр беру желілерінің жағдайын бақылау үшін қолданылады.

Материалға ендірілген БТ-ны сенсор ретінде пайдалану белгілі бір қиындықтармен байланысты, ең алдымен, тордың нәтижелік деформациясына осы тік те, радиалды компоненттер де үлес қосатындығымен байланысты [6].

Құрылым ішіндегі кернеу мәндері бойынша оның пішінін бағалауға болады, бұл әсіресе "ақылды" құрылымдарда қолдану үшін маңызды. Аэроғарыш саласында "ақылды" құрылымдарды қолдану аэродинамикалық ағындарды белсенді басқаруға арналған бірегей құрылғыларды жасауға

мүмкіндік береді, бұл авиациялық және ғарыштық техниканың тиімділігі мен қауіпсіздігін едәуір арттырады.

Таратылған оптикалық-талшықты қысым датчигі стандартты бірмодты оптикалық талшық негізіндегі датчик болып табылады. Датчиктің жұмыс істеу принципі талшықтың өзінің физикалық қасиеттерін пайдалануға негізделген – белгілі бір нүктедегі қысымның өткізу қабілетіне әсер етуіне. Негізгі өлшеу құралы ретінде кері шашырау әсеріне негізделген рефлектометр қолданылады. Құрылғы талшықты желінің бойындағы шағылған сигнал деңгейін өлшеуге мүмкіндік береді, бұл талшықтың әрбір нақты нүктесіндегі сигналдың өзгеруін бір уақытта бақылауға мүмкіндік береді. Осылайша, сипатталған датчик шынымен де таратылған болып табылады.

Оптикалық талшықтың өзі қысымға сезімталдығы болмағандықтан, жүктемені талшықтың микроиілуіне түрлендіру бойынша техникалық шешім ұсынылды.

Әсер еткен кезде екі түрлі әсерді байқауға болады. Біріншісі – қысым түсірілген нүктенің дәл артында шашыраған сигнал деңгейінің айтарлықтай төмендеуі, бұл талшықты кабельден жарықтың шығуымен байланысты. Жаратылған микроиілу сигнал бөлігінің апертурасында өзгерістерге әкеледі, бұл бөлік осы оптикалық талшық бойымен әрі қарай тарала алмайды. Жүктеменің айтарлықтай артуы кезінде сигналдың төмендеуі тұрақты деңгейге шығады, бұл құрылғының шекті сезімталдығымен байланысты. Екінші әсер – сигналдың бір бөлігінің жүктеме орнынан шағылысуы. Бұл құбылыстың пайда болуы кабельдің өте кішкентай иілу радиусымен байланысты, бұл оған берілетін импульстің бір бөлігінің кері бағытта шағылысуына және фотоқабылдағышта қабылданатын қарқындылыққа өз үлесін қосуына мүмкіндік береді. Бұл әсер аз қысым кезінде байқалмайды, иілу радиусы әлі жеткілікті аз болмаған кезде, бірақ айтарлықтай жүктеме кезінде құрылғының сезімталдығы бірінші әсерді пайдалануға мүмкіндік бермегендіктен, әсер ету магнитудасын өлшеу үшін осы әсерді пайдалану көзделеді.

2.3 Оптикалық тарату жүйелерінің құрылымы және сызбасы

Оптикалық тарату жүйелері ақпаратты жарық толқындары арқылы беру үшін қолданылады. Бұл жүйелер бірнеше негізгі компоненттерден тұрады: оптикалық таратқыштар, оптикалық талшықтар, күшейткіштер және оптикалық қабылдағыштар. Оптикалық таратқыштар электр сигналдарын жарық сигналдарына түрлендіреді. Талшықтар арқылы бұл жарық сигналдары жіберіледі, бұл кезде сигналдың әлсіреуін болдырмау үшін күшейткіштер қолданылады. Соңында, оптикалық қабылдағыштар жарық сигналдарын қайтадан электр сигналдарына түрлендіреді, осылайша ақпарат қабылданады.

Оптикалық тарату жүйелерінің тиімділігі мен өткізу қабілеті талшықтардың түріне және қолданылатын технологияларға байланысты. Бір режимді талшықтар ұзын қашықтыққа жоғары өткізу қабілетін қамтамасыз етеді,

ал көп режимді талшықтар қысқа қашықтықта қолданылады. Соңғы уақытта көп өзекті талшықтар және жаңа мультиплекстеу әдістері сияқты технологиялар оптикалық жүйелердің өткізу қабілетін арттыруға мүмкіндік берді.

Бұл типтегі датчиктер ең алдымен мұнай өнеркәсібінде кеңінен қолданылуы мүмкін. Қысымды нақты уақыт режимінде өлшеу өндіру құбырларында, мұнай құбырларының ішінде, сондай-ақ құбырларды цементтеу кезінде – құбыр желісінің жарылуының алдын алу үшін қажет [5].

Фарадей эффектісіне негізделген талшықты-оптикалық ток датчиктеріне және Поккельс эффектісіне негізделген кернеу датчиктеріне деген қызығушылық бұл құрылғылардың жоғары әлеуетті мүмкіндіктеріне байланысты әлі де жоғары. Оларға мыналар жатады:

Өлшеудің кең динамикалық диапазоны (жүздеген кА дейінгі токтар, жүздеген кВ дейінгі кернеулер).

Жоғары сызықтық.

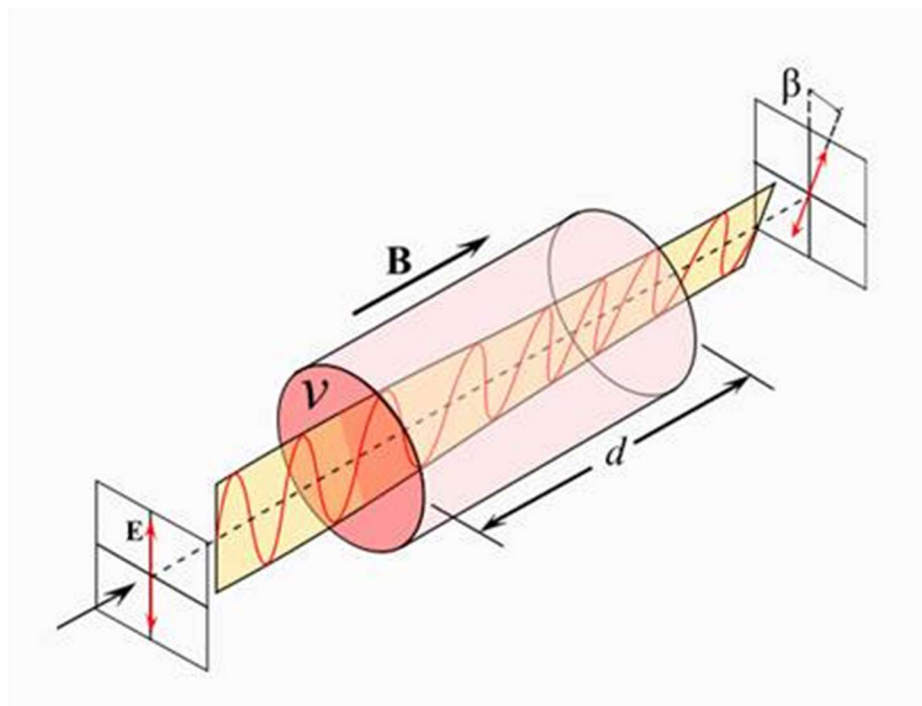
Кернеу мен ток гармоникаларын тікелей жоғары вольтты тізбекте талдауға мүмкіндік беретін кең жиілік диапазоны.

Екінші реттік тізбектердің жүктемесінің және олардағы шығындардың әсерінің болмауы.

Талшықты-оптикалық ақпараттық арналардың сыртқы электромагниттік кедергілерге жоғары төзімділігі.

Кішірек салмақ пен өлшем көрсеткіштері.

Оптикалық ток датчигінің жұмысы Фарадей эффектісіне негізделген, ол магнит өрісінің әсерінен жарық ағынының поляризациясының өзгеруінен тұрады. Фарадей эффектісі - магнит өрісінде орналасқан оптикалық белсенді емес зат арқылы сызықты поляризацияланған жарық таралғанда жарықтың поляризация жазықтығының айналуы байқалатын магнитооптикалық эффект (б-сурет).



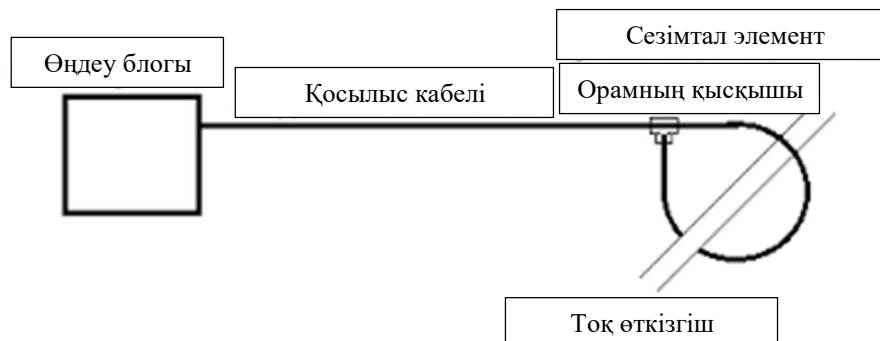
2.2-сурет – Фарадей эффектісінің әсерінен жарық поляризациясы жазықтығының айналуы

Фарадей эффектісі талшықты-оптикалық ток датчиктерінде қолданылады, себебі көптеген шынылар мен оптикалық талшықтарда бұл эффект айтарлықтай күшті көрінеді. Бұл оптикалық элементтер үлкен Верде тұрақтысына V ие (оптикалық контур ұзындығы L бойынша алынған магнит өрісінің кернеулігінің интегралының мәнін және оптикалық контур арқылы өткен сызықты поляризацияланған жарықтың айналу бұрышын $\Delta\Phi$ байланыстыратын физикалық шама). Бұл $\Delta\Phi$ бұрышы сонымен қатар талшықты контур арқылы өткен дөңгелек поляризацияланған толқынның өзара емес фазалық ығысуына тең. Оңға дөңгелек толқын үшін $\Delta\Phi$ оң, солға дөңгелек толқын үшін теріс.

Фарадей эффектісіндегі ең қарапайым ТОД нұсқасы – поляриметриялық типті датчик (2.2-сурет). Онда өткізгіштегі ток күші ток өткізгіш өткізілген түйық контур арқылы өткен жарық поляризациясы жазықтығының айналу бұрышына сәйкес келтіріледі.

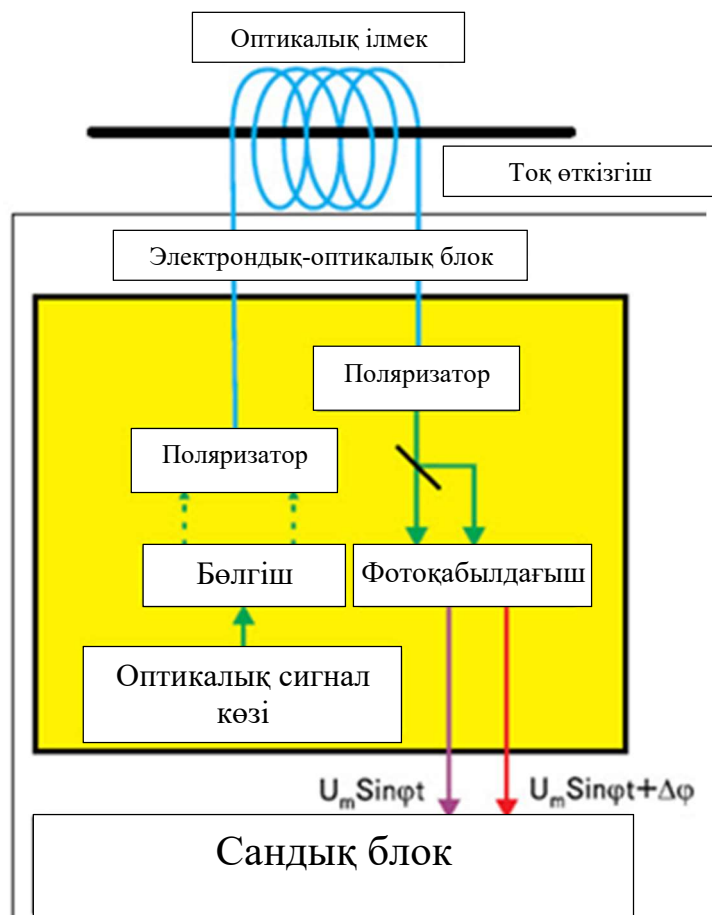
Құрылымдық тұрғыдан ТОД екі бөліктен тұрады: сезімтал элемент және өңдеу блогы (2.3-сурет). Сезімтал элемент қалыңдығы 10 мм-ден аспайтын талшықты кабель болып табылады, ол бақыланатын өткізгіштің айналасында сақинамен жабылады. Сонымен қатар, датчиктің кейбір модификациялары үшін бақыланатын өткізгішті ажыратып, тоқсыздандырудың қажеті жоқ, бұл ТОД-тың маңызды артықшылығы болып табылады. Датчик сақинаны қамтитын өткізгіштегі ток күшін өлшейді, ал өлшеу нәтижелері басқа ток өткізгіштерге және сыртқы магнит өрістеріне тәуелді емес. Сондай-ақ датчиктің көрсеткіштері сақина мен ток өткізгіштің өзара орналасуына тәуелді емес. Датчиктің өңдеу блогы мен сезімтал элементі пайдалану үшін қажетті ұзындықтағы оптикалық

кабельмен қосылады, ол олардың арасындағы байланыс желісі қызметін атқарады. Сезімтал элемент пен талшықты байланыс желісінде ток өткізетін бөліктер жоқ, сонымен қатар жарылыс қауіпсіздігі мен радиациялық төзімділік қамтамасыз етіледі. Сондай-ақ датчик тұрақты техникалық қызмет көрсетуді қажет етпейтінін атап өткен жөн [5].



2.3-сурет – ТОДТ құрылысы

Ток датчигінің электронды-оптикалық схемасының жеңілдетілген құрылымы (2.4-сурет) оптикалық сигнал көзін қамтиды. Бұл сигнал тармақтағыш арқылы қарама-қарсы айналу бағыты бар екі оң және сол поляризацияланған сигналға түрленеді, олар N орамнан тұратын оптоалшықтан жасалған оптикалық ілмекке түседі. Фарадей эффектісіне сәйкес, сым арқылы өтетін I тогымен жасалған магнит өрісі бір сигналды баяулатады және екіншісін жылдамдатады. Екі сигнал да келесі дөңгелек поляризаторға жетеді, ол оларды поляризация жазықтықтары бұрышқа ығысқан сызықты поляризацияланған жарық ағындарына айналдырады.



2.4-сурет– электронды-оптикалық блогы бар оптогалшықты ток датчигінің құрылымдық схемасы.

Келетін жарық ағындары фотоқабылдағышпен айнымалы токтың екі кернеуіне түрленеді. Алынған электр сигналдары электронды блоктың аналогты-цифрлық түрлендіргішінің кірісіне түседі, ол $\Delta\varphi$ бұрышын цифрға айналдырады және одан әрі DSP-процессорда өңделеді.

Оптикалық кернеу датчигінің жұмысы Поккельс эффектісіне негізделген, ол тұрақты немесе айнымалы электр өрісін қолданғанда оптикалық орталарда қосарланған сәуле сынуының пайда болуынан тұрады, бұл кристалды пьезоэлектриктерде байқалады. Эффект қолданылатын электр өрісінің шамасына тура пропорционалды тәуелділікте болады. Кернеу датчиктермен бағанның бірнеше нүктесінде электр өрісінің кернеулігін өлшеу негізінде есептеледі [6].

Оптикалық талшықты сенсорларды температураны өлшеу және құрылымдардың, соның ішінде полимерлі композиттік материалдардан (ПКМ) жасалған құрылымдардың жағдайын бақылау үшін пайдалану өте перспективалы болып табылады. Әуе техникасында композиттік материалдарды қолданудың артуы, сондай-ақ болашақта "ақылды" материалдар мен конструкцияларды, оның ішінде адаптивті қасиеттері бар конструкцияларды жасау және қолдану құрылымның жағдайын бақылау жүйесін, оның геометриялық пішінін, қалдық ресурсын және басқа да параметрлерін бағалауды

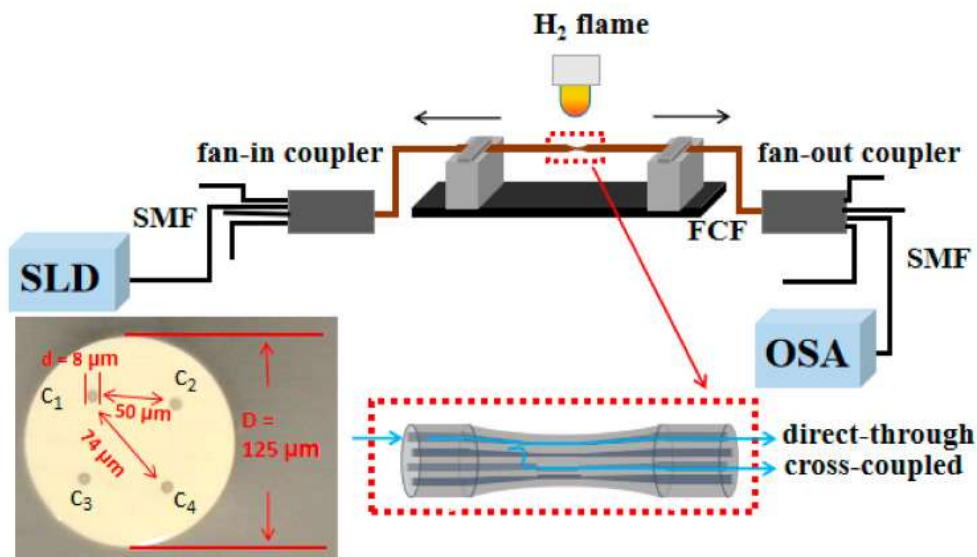
үнемі жетілдіруді талап етеді. Оптикалық талшықта қалыптасатын, электроника, оптоэлектроника, микромеханика және фотоника элементтерін біріктіретін перспективалы кешенді жүйелер оптикалық талшықты сенсорларды авиациялық материалдар мен конструкцияларда қолдану тәсілдерін түбегейлі өзгертуге мүмкіндік береді.

Соңғы бірнеше онжылдықта талшықты-оптикалық датчиктер технологиясы деформацияны, қысымды, температураны, ылғалдылықты, дірілді және басқа да көптеген физикалық параметрлерді жоғары дәлдікпен және күрделі жұмыс жағдайларында өлшеу үшін айтарлықтай жетілдірілді. Кейіннен сенсорлық құрылғылар, ақпарат немесе сәуле беру құралдары ретінде үлкен рөл атқарған оптикалық талшықтардың көптеген түрлері ойлап табылды. Сенсорлық қолданбалар үшін оптикалық талшықтағы жарықтың поляризациясы, амплитудасы, фазасы және толқын ұзындығы сенсорлық сигналдарды беру немесе талдау үшін модуляциялануы немесе демодуляциялануы мүмкін. Талшықты датчиктердің ішінде деформация өнеркәсіптік немесе ғылыми қолданбалар үшін маңызды параметр және жүйенің денсаулығын бақылау үшін негізгі датчиктердің бірі болып табылады, мысалы, матрица материалының шаршау жағдайлары. Әдетте талшықтың деформациясын талшықты интерферометрлер немесе талшықты торлар арқылы өлшеуге болады. Талшықты интерферометрлер немесе торлардың сезімтал аймақтары созылу немесе сығылу күшін сезінген кезде, резонанстық толқын ұзындықтары сәйкесінше өзгереді. Талшықтың деформацияға сезімталдығын арттыру үшін, талшықты ұзарту кезінде әр түрлі режимдер арасындағы оптикалық жолдардың айырмашылығын (OPD) арттыру өте маңызды. Бір режимді талшықтарға (SMF) негізделген интерферометрлік деформация датчиктерімен салыстырғанда, көп өзекті талшықтар (MCF) жалпы алғанда үздік нәтижелерге қол жеткізе алады, өйткені қоздырылған супермодтар әртүрлі жоғары ретті режимдер болып саналады. Соңғы жылдары көп өзекті талшықтар (MCF) өткізу қабілеттілігін арттыру арқылы талшықты-оптикалық байланыс жүйелерінің физикалық кеңістігін үнемдеуге қосқан маңызды үлесіне байланысты кеңінен зерттелді, бұл сонымен қатар кеңістікті бөлу мультиплексірлеуі деп аталады. Сонымен қатар, белсенді MCF сәулелердің когерентті бірігуіне негізделген қуатты талшықты лазерлерді жасау үшін пайдаланылуы мүмкін. Сонымен қатар, жоғары ретті қоздырылған модалар дәстүрлі бір модальды талшықтан (SMF) айтарлықтай ерекшеленетіні белгілі, себебі модалар көбінесе барлық өзекшелердің өлшемдері мен конфигурациясымен анықталады. Жеке өзекшелерден болжанған мода өрістері интерференция тудырады, бұл көп параметрлі оптикалық зондтауға немесе оптикалық ұстап тұру күшін бөлуге қолайлы. Түйістіру кезінде, SMF және MCF арасындағы өзекшелердің орналасуын үйлестіру арқылы оптикалық қуатты аз шығынмен беру үшін орталық позицияда орналасқан бір өзекшелі 7 өзекшелі MCF басқа MCF түрлеріне қарағанда танымал және әртүрлі талшықты сенсорларды жасау үшін қолданылады. Дегенмен, қоздырылған супермодтардың ішкі концентрлік өрістері болады, ал осылай жасалған тензодатчиктер супермодтар арасындағы шектеулі OPD салдарынан белгілі бір дәрежеде

шектелген тензосезімталдыққа ие болады. Керісінше, орталық симметриялы моды жоқ MCF, мысалы, FCF, жоғары ретті асимметриялық супермодтарды жасау және олардың арасындағы OPD-ны бұрыштық өзектерді қоздыру схемасы арқылы конустық төрт өзекті талшықтарға (TFCF) негіздеп арттыру үшін жақсы нұсқа болып табылады [6]. FCF-де төрт Ge өзегі бастапқыда әлсіз байланысқа жақын қашықтықта орналасуы мүмкін. Тарту арқылы төрт Ge өзегі бір-біріне жақындатылып, жеке өзектердің эванесцентті өрістері бір-біріне қабаттасып, күшті байланыс жағдайына айналды. Осылайша, асимметриялық супермодтар жарықты өзектердің біріне жіберген кезде төрт жақын орналасқан Ge-стерженьге негізделіп қоздырылуы мүмкін.

Осы жұмыста біз TFCF (Twisted Fiber Coupled Fiber) қолданатын жоғары сезімтал деформация сенсорларын көрсеттік. Тәжірибелік қондырғы 9-суретте көрсетілген. FCF көлденең қимасының микрофотографиясы (Chiral Photonics: SM-4C1500, Pine Brook, NJ, USA) 2.5-суреттегі кірістірмеде көрсетілген. Өзек диаметрі, қабық диаметрі, көршілес өзектер арасындағы қашықтық және диагональ өзектер арасындағы қашықтық сәйкесінше 8 мкм, 50 мкм, 74 мкм және 125 мкм болды. FCF төрт бөлек SMF (Single Mode Fiber) талшықтарымен fan-in және fan-out коннекторлары арқылы SMF және жеке FCF өзектері арасында оптикалық қуатты беру үшін біріктірілді. Жарық көзі қосылған өзек қоздыру өзегі ретінде анықталды. Осыған сүйене отырып, қоздыру өзегіне диагональ орналасқан өзек диагональ өзек ретінде анықталды. Қоздырушы өзектің жанында орналасқан қалған екі өзек көршілес өзектер деп аталды. Оқуды жеңілдету үшін қоздырушы өзек, екі көршілес өзек және диагональ өзек сәйкесінше c_1 , c_2 , c_3 және c_4 деп белгіленді, 9-суретте көрсетілгендей. Әлсіз байланысқан FCF сутегі жалынымен қыздырылып, супермодтар интерференция жасау үшін қоздырылғанша тарылды. Содан кейін TFCF конустық талшық жұмыс станциясының екі механикалық қысқышына орнатылып, бекітілді. Содан кейін c_1 -ге 1250-1650 нм толқын ұзындығы бар SLD шамдары іске қосылды, және эванесцентті өрістер (c_1 , c_2 , c_3) және (c_1 , c_2 , c_3 , c_4) D сәйкесінше 30 мкм және 25 мкм жақындағанда бір-бірін жабатын болды. Мұндағы D TFCF біртекті конустық аймағының диаметрі ретінде анықталады. TFCF үлгілерінің интерференциялық спектрлерін өлшеу үшін 0,5 нм оптикалық ажыратымдылыққа ие оптикалық спектр анализаторы (OSA) (YOKOGAWA AQ6370D, Токио, Жапония) пайдаланылды. TFCF екі жаққа созылғанда резонанстық толқын ұзындықтары көк жаққа ығысты. Эксперименттік нәтижелер сонымен қатар 3 мкм біркелкі конустық диаметр D 185,18 пм/мке дейінгі деформация сезімталдығына әкелуі мүмкін екенін көрсетеді. 0-730,34 мк деформация диапазонында деформация сезімталдығына тәуелді осы резонанстық толқын ұзындықтары үшін R2 детерминация коэффициенті барлық үлгілер үшін 0,96-дан жоғары болды. D 3 мкм-ге дейін азайған кезде R2 детерминация коэффициенті 0,989-ға жетті, бұл практикалық өнеркәсіптік қолдану үшін одан да жетілдірілген оптикалық сипаттамалары бар деформация сенсорларын әзірлеу үшін бұрыштық өзекті қоздыру арқылы TFCF қолданатын

интерферометрлік деформация сенсорларының өте жоғары сызықтығын көрсетеді.



2.5-сурет – c1, c2, c3, c4 қоздырғыш өзекше, екі көршілес өзекше және диагональ өзекшелері болып табылатын FCF конустық интерферометрінің эксперименттік қондырғысы. Кірістірмеде $1000 \times$ CCD микроскопының астындағы конустық емес FCF төрт өзегінің белгіленуі көрсетілген

3 Төртөзекті талшықты-оптикалық тарату жүйелерінің басты параметрлерін есептеу

3.1 Оптикалық тарату жүйелерінің параметрлері

Бұл параметрлер жүйенің жалпы жұмыс істеу сапасын, деректерді беру жылдамдығын және сигналдың сапасын анықтайды. Ең басты параметрлердің бірі өткізу қабілеттілігі болып табылады. Өткізу қабілеттілігі жүйенің бір уақыт бірлігінде жеткізе алатын ақпарат көлемі. Оптикалық талшықтардың жоғары өткізу қабілеті үлкен деректер көлемін жылдам және тиімді түрде тасымалдауға мүмкіндік береді.

Сигналдың әлсіреуі де маңызды параметрлердің бірі болып табылады. Әлсіреу оптикалық талшық арқылы өтетін жарық сигналдарының күші қашықтыққа байланысты төмендеуі. Әлсіреу коэффициенті талшықтың материалына және ұзындығына тәуелді. Сигналдың әлсіреуін азайту үшін жоғары сапалы талшықтар қолданылады және қажет болған жағдайда оптикалық күшейткіштер пайдаланылады.

Дисперсия жарықтың әртүрлі толқын ұзындықтарының талшық арқылы әртүрлі жылдамдықпен өтуі нәтижесінде пайда болады. Бұл сигналдың бұрмалануына және ақпараттың жоғалуына алып келуі мүмкін. Дисперсияны басқару үшін арнайы дисперсия-компенсациялайтын талшықтар немесе құрылғылар қолданылады. Бұл әдістер деректердің берілу сапасын жақсартады және қашықтықты ұлғайтуға мүмкіндік береді.

Оптикалық жүйелердегі шуыл деректердің бұрмалануына және сигнал сапасының төмендеуіне себеп болуы мүмкін. Шуыл деңгейін төмендету үшін оптикалық компоненттердің сапасын арттыру және арнайы сүзгілерді қолдану маңызды. Сонымен қатар, лазерлік көздердің тұрақтылығы мен дәлдігін қамтамасыз ету арқылы шуылды азайтуға болады. Осы параметрлерді оңтайлы түрде үйлестіру арқылы оптикалық тарату жүйелерінің жоғары өнімділігі мен сенімділігін қамтамасыз етуге болады.

Жоғарыда айтылғандай, көп өзекті талшықтар (MCF) кәдімгі бір өзекті талшықтарды (SMF) қолданатын сенсорлармен салыстырғанда сезімталдықты арттыру үшін супермод интерференциясына ие болғандықтан, бірнеше жұмыстарда төрт өзекті талшықтарды (FCF) пайдаланып температураны, сыну көрсеткішін және қысымды өлшеуге арналған сенсорларды құру туралы хабарланған [6]. Алайда, күрделі режимдер FCF және SMF тікелей біріктіру арқылы қоздырылды. Бұл жағдайда жарық кремнийдің орталық аймағына Ge-өзегінің арасына түсіп, тығыз орналасқан төрт өзекпен қолдау көрсетілетін супермодтардың орнына хаотикалық көпмодты режимдердің қозуына әкелді. Бұған қарамастан, талшықты сенсорлар, әсіресе супермодтардың асимметриялық өріс үлестірілуі бар үш өзекті талшықтарды (TFCF) пайдаланатын деформация сенсорлары туралы әлі хабарланбаған. Бұл жұмыста, 9-суретте көрсетілгендей, тікбұрышты конфигурациядағы 4 Ge-қоспаланған өзекшелі FCF (Талшықты-оптикалық кабель) қолданылды. Кіріс және шығыс

қуатының байланысы бөлінген SMF (Бір режимді талшық) және жеке төрт өзекшелі FCF-ті fan-in және fan-out коннекторы арқылы тікелей біріктіру жолымен жүзеге асырылды. SLD (Суперлюминесцентті диод) шамдары бұрыштық өзекше қоздыру схемасы деп аталатын 4 өзекшенің біріне қосылды, ол кейін қоздыру бағытын анықтау үшін қоздыру өзекшесі ретінде анықталды. Бастапқыда іске қосылған шамдар 9-суретте c1 өзекшесі ретінде көрсетілген қоздыру өзекшесі бойымен таралды. Төрт өзектің эванесцентті өрістері біртіндеп бір-біріне қабаттасып, D тарылу кезінде 30 мкм-ге жақындағанда интерференция үшін бірнеше супермодтарды қоздырды. D шамамен 30 мкм болғанда, супермодтар үш өзекті құрылымға негізделген OSA-дан, атап айтқанда қоздырушы өзек c1 және екі көршілес өзек c2 және c3 арқылы генерацияланып, бақыланды. D тұрақты түрде азайған кезде, супермодтар тікбұрышты төрт өзекті құрылымға, атап айтқанда c1, c2, c3 және c4 негізінде қолдау тауып, генерацияланды. Қоздырылған супермод өрістері бұрыштық өзекті қоздыру схемасының арқасында асимметриялы болды, бұл жоғары сезімталдықтағы талшықты датчиктерді жасау үшін артықшылық болып табылады. Себебі асимметриялы модтар әдетте симметриялы модтармен салыстырғанда эванесцентті өрістің кеңірек таралуына ие. Сонымен қатар, мод өрісінің кеңірек таралуы жоғары ретті модтардың қозуына және таралу ұзындығының ұлғаюымен қатар үлкен OPD-ге сәйкес келуі мүмкін. Жоғары ретті асимметриялық супермодтардың көмегімен D азайған кезде OPD (оптикалық жол айырмасы) одан әрі ұлғайтылуы мүмкін. TFCF (Twist-Free Coiled Fiber - бұралмаған оралған талшық) ішіндегі асимметриялық супермодтардың жұмыс істеу механизмі біздің алдыңғы жұмысымызда егжей-тегжейлі көрсетілген. TFCF деформациясын анықтау үшін ол екі механикалық қысқышпен бекітіліп, содан кейін OPD ұлғайту және резонанстық толқын ұзындықтарын ығыстыру үшін сыртқа созылды. Қуыс өзекті талшықтарды (HCFs), фотондық кристалды талшықтарды (PCFs), төрт өзекті талшықтарды (FCFs), көпмодты талшықтарды (MMFs), ішкі ауа қуыстарын және талшықты брэгг торларын (FBGs) пайдаланатын деформация сенсорларынан айырмашылығы, бұл жұмыста D тек 3 мкм болғанда деформацияға сезімталдық ондаған есе айқын жақсаруы мүмкін екендігі эксперименттік түрде анықталды. Асимметриялық супермодтарды пайдаланатын TFCF негізіндегі деформация сенсорларының HCF, PCF, FCF, MMF, FBG және т.б. негізіндегі деформация сенсорларынан асып түсуінің негізгі себебі жоғары ретті супермодтар үшін эванесцентті өрістің кеңірек таралуы болып табылады. Демек, созылу кезінде пайда болатын ығысу супермодтар арасындағы OPD тиімді арттырып, деформацияға сезімталдықты айтарлықтай жақсарта алады.

Өлшеу үшін OSA оптикалық ажыратымдылығы (RES) 0,5 нм-ге орнатылды. FCF конустық интерферометрінің D-ның әртүрлі мәндеріндегі спектрлік жауаптары 2.5-суреттерінде көрсетілген. Әртүрлі түсті қисықтар кіріс және шығыс қуат порттарын көрсетеді. Мысалы, c1-c1 және c1-c2 сәйкесінше тура және айқас байланыс күйлерін білдіреді. D = 26 мкм болғанда, c1-c2 және c1-c3 спектрлік жауаптары өте ұқсас және фазада болғанын атап өту қызықты,

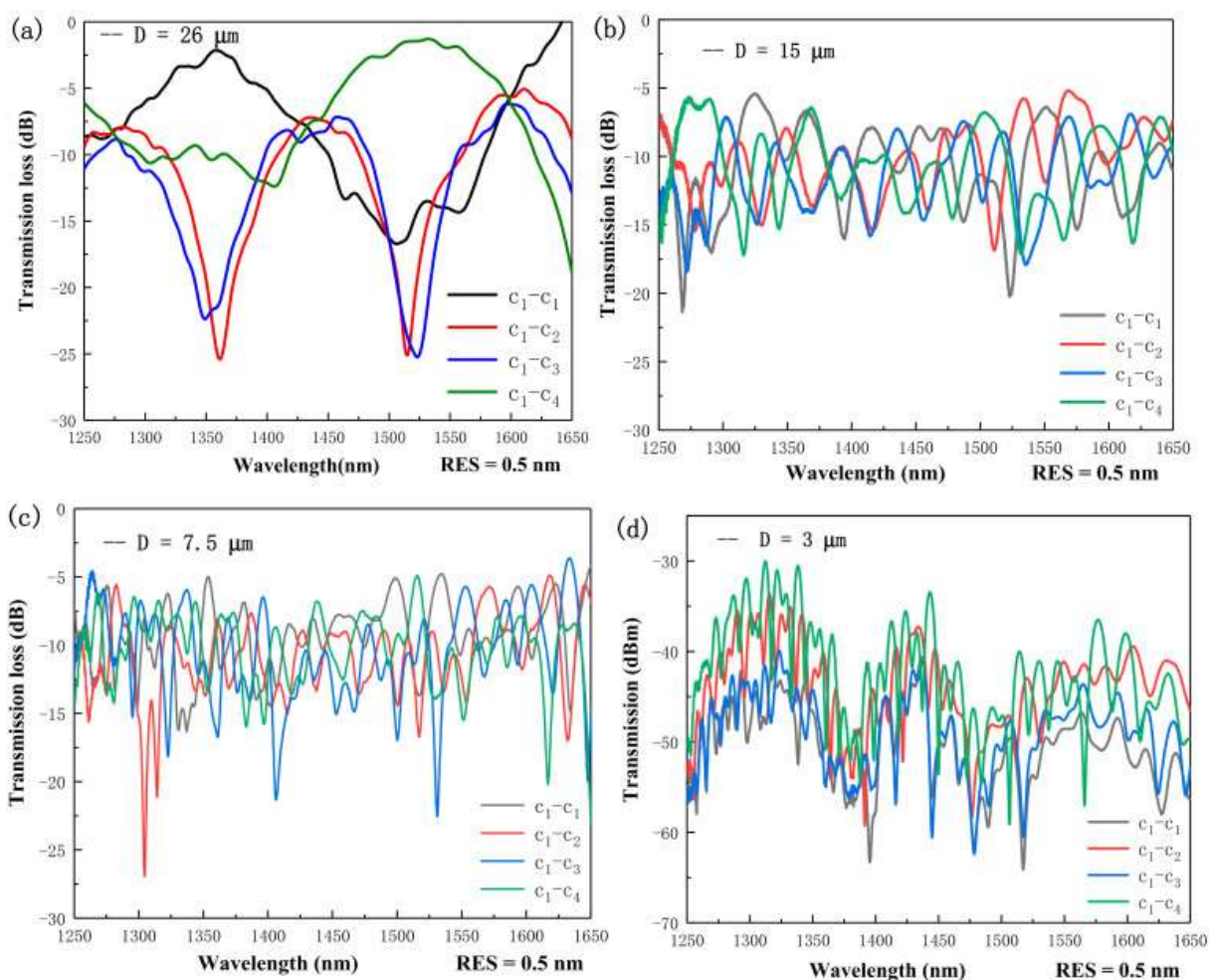
10a суретінде көрсетілгендей. Алайда, 1450 нм-ден асатын толқын ұзындықтарында $s1$ - $s4$ жауабы $s1$ - $s1$ -ге қатысты айқын синфазалы болмады. Бұл 1450 нм-ден асатын толқын ұзындықтарында $s1$ және $s4$ арасында жоғалып бара жатқан байланыс пайда болатынын айқын көрсетеді. D одан әрі азайған кезде, $s1$ және $s4$ арасындағы жоғалып бара жатқан байланыс тығыз қабаттасуы мүмкін, және интерференциялық спектрлік тербелістер 1450 нм-ден қысқа толқын ұзындықтарына таралуы мүмкін. Мұндай жағдайларда асимметриялық супермодтар төрт өзекті конфигурациямен толық қолдау табатын болады. 10a суретінен көрініп тұрғандай, екі көршілес өзек қоздырушы өзектен бірдей қашықтықта орналасқан, сондықтан олардың спектрлік жауаптары өте ұқсас болар еді. Керісінше, диагональ өзек қоздырушы өзектен ең алыс орналасқан. Диагональ өзегінің супермод генерациясына әсері ұзынырақ толқындардан басталды, дәл осы себептен $s1$ - $s4$ спектрлік қисығы ұзынырақ толқынды шетінде $s1$ - $s1$ қисығымен фазадан тыс болды. D 20 мкм-ден аз болған кезде бұл құбылыс жоғалды. Бұл өзектер арасындағы қашықтықтың азаюы байланыс коэффициенттерінің және өзара әрекеттесу ұзындығының артуына әкеліп, асимметриялық супермодтар арасында қайта қосылу эффектісіне әкелетіндігімен түсіндіріледі. Осы себептен, $s2$ және $s3$ үшін синхронды синфазалы спектрлік сипаттамалар D азайған сайын біртіндеп жойылды. Тағы бір себебі, $s2$ және $s3$ бір-біріне толықтай ұқсас болмағандықтан, байланыс коэффициенттері де D азайған сайын біртіндеп өзгерді. 3.1-суреттен b, d көрініп тұрғандай, барлық қисықтар үшін орташа экстинкция коэффициенттері (ER) азайып, орташа енгізілген шығындар 2.5-суретпен a, c салыстырғанда артты. Төрт өзектің физикалық өлшемдері және олардың арақашықтығы бірдей емес екенін тағы да түсінуге болады. Сондықтан, идеалды байланысқа қол жеткізу қиындай түсті. Дегенмен, негізгі себеп бұрыштық өзектердің қозуынан туындайтын асимметриялы супермодалар болды. Екінші жағынан, конустың ұзындығының артуымен еркін спектрлік диапазон (FSR) сәйкесінше азайды, 3.1-суреттерде b, c көрсетілгендей, себебі D төмендеуі қайта қосылу жағдайында төрт өзек арасындағы қабаттасудың күшті өзара әрекеттесуіне әкелуі мүмкін. Сондықтан D азайған сайын TFCF интерференциялық жолағының тығыздығы артып, жолақтың өзі тікшіл бола түседі. Осылайша, TFCF аздап созылғанда, деформацияға сезімталдықты жақсарту үшін OPD артады. 10c суретінде қызықты жағдай байқалады, ER кейбір резонанстық толқын ұзындықтарында айтарлықтай жақсаруы мүмкін. D мәні азайған кезде төрт өзектің физикалық бірлігін жоғалту тиімділігі төмендейді деп болжанады. Дегенмен, D мәні азайған кезде жоғары ретті супермодтардың қозуына байланысты енгізілетін шығындардың артуы сөзсіз. Қысқаша айтқанда, D азайған кезде FSR азаяды және енгізілетін шығындар артады. ER өзектер арасындағы физикалық бірлік сақталуына немесе сақталмауына байланысты артуы мүмкін. 3.1-с суреттеріндегі спектрлік жауаптардың эволюциясы бастапқы кезеңде үш өзекті құрылымнан супермодтардың қозуын, содан кейін төрт өзекті құрылымға көшуді және супермодтардың асимметриясының спектрлік сипаттамаларға әсерін көрсетеді.

Кіші D жоғары ретті супермодтардың қозуына және тензодатчиктің сезімталдығын арттыру үшін OPD ұлғаюына әкелуі мүмкін екені айқын.

3.2 Талшықты оптикалық датчиктермен деформацияны өлшеу және есептеу

Бұл объектің күйзелуін немесе өзінің параметрлерінің өзгеруін анықтауға арналған технологиялық құралдар. Олар объектің күйзелуі мен басқа параметрлерінің өзгерулерін оптикалық сигналдар арқылы бағалауға мүмкіндік береді. Олар объектің параметрлерін бағалауға қолдау көрсетеді және техникалық операциялармен пайдаланылады.

Әр түрлі механикалық кернеулерге жауап ретінде талшықтардың қасиеттері өзгеретінін анықтау маңызды. Бұл мәліметтер инженерлерге және ғалымдарға нақты жағдайларда талшықтардың қалай жұмыс істейтінін болжауға және олардың сенімділігін бағалауға мүмкіндік береді. Талшықты оптикалық деформацияны өлшеу үшін Брэгг торлары сияқты арнайы оптикалық құрылғылар пайдаланылады, олар жарықтың толқын ұзындығындағы өзгерістер арқылы деформацияны дәл анықтайды.



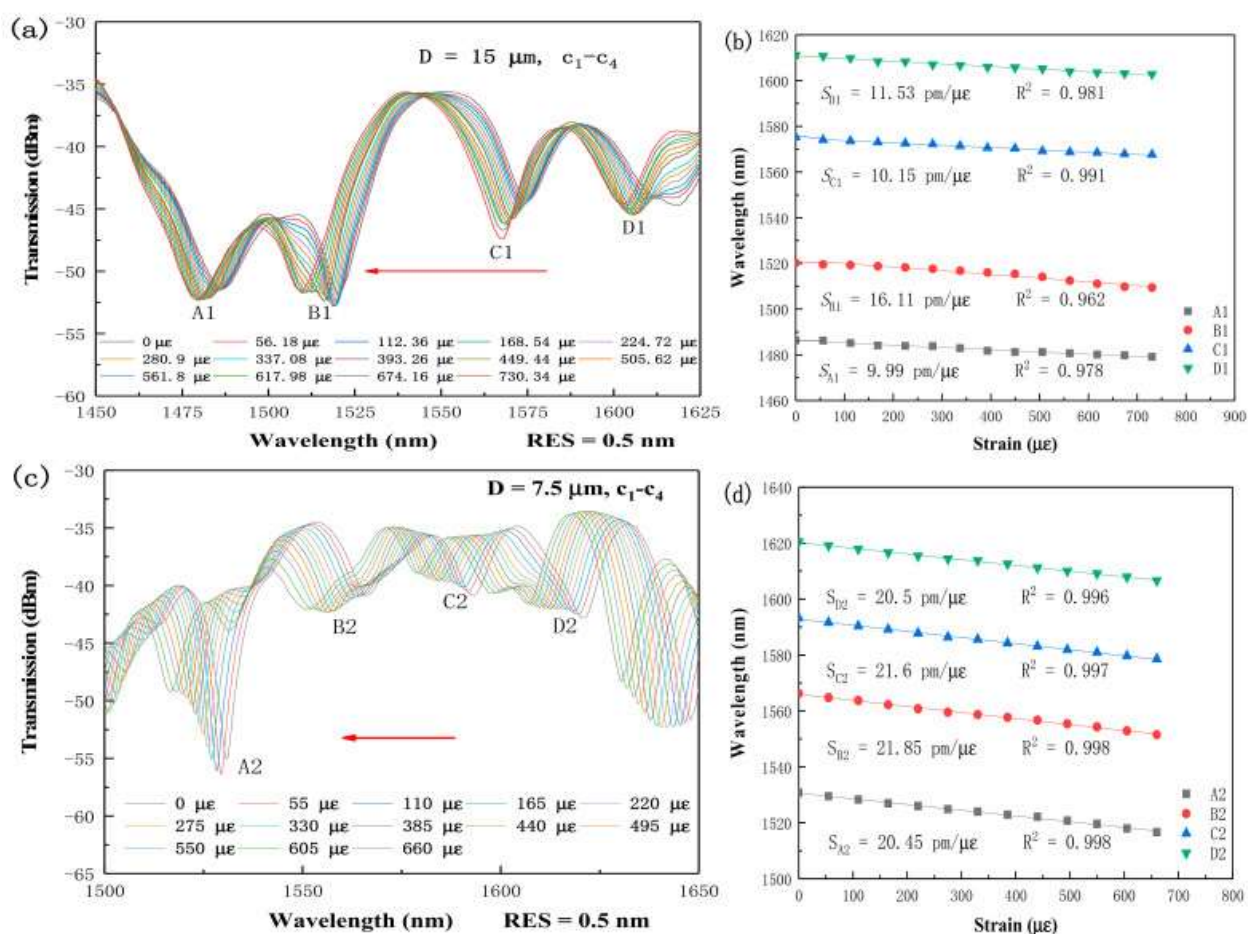
3.1-сурет – с1-с1/2/3/4 байланыс күйлері үшін тербеліс қисықтарының спектрлік жауаптары: (a) $D = 26$ мкм, (b) $D = 15$ мкм, (c) $D = 7,5$ мкм және (d) $D = 3$ мкм.

Созылу сезімталдығын өлшеу үшін $D = 15$ мкм, $7,5$ мкм және $D = 3$ мкм болатын үш TFCSF үлгісі дайындалды. Тиісті жалпы конус ұзындығы және біріктірілген конус ұзындығы үш үлгі үшін сәйкесінше (20, 30, 30,65) мм және (2,8, 2,21, 2,65) мм болды. Жалпы конус ұзындығы біріктірілген конус ұзындығын және екі жақты конус өту ұзындығын қамтитын ұзындықты білдірді. TFCSF екі жақты ұштары екі механикалық қысқышпен бекітілді, содан кейін әрбір қадамға 5 мкм қадаммен қозғалтқышпен қозғалатын қысқыштарды сыртқа қарай тарту арқылы созылды. $D = 15$ мкм, $7,5$ мкм және 3 мкм үшін спектрлік жауаптар 12a,c,e суреттерінде көрсетілген, мұндағы A, B, C, D резонанстық шыңдары созылу кернеуінің артуымен көк жаққа ығысады. Деформацияны келесі теңдеу арқылы есептеуге болады:

$$\Delta\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (3.1)$$

мұндағы L_0 және ΔL екі қысқыш арасындағы қашықтықты және екі қысқыштың ығысуын білдіреді [3]. (3.1) теңдеуден деформацияны есептеуге болады. A1, B1, C1 және D1 үшін сәйкес SA,B,C,D деформациялары $D = 15$ мкм кезінде 9,99 пм/мк, 16,11 пм/мк, 10,15 пм/мк, 11,53 пм/мк, ал A2, B2, C2, D2 үшін - 20,5 пм/мк, 21,6 пм/мк, 21,85 пм/мк және 20,45 пм/мк ($D = 7,5$ мкм кезінде), ал A3, B3, C3, D3, E3 үшін - 143,68 пм/мк, 108,96 пм/мк, 132,5 пм/мк, 143,79 пм/мк және 185,18 пм/мк ($D = 3$ мкм кезінде) болды, сәйкесінше, 11b,d,f суреттерінде көрсетілгендей. D мәнін 3 мкм-ге дейін азайтқанда деформацияға сезімталдықты едәуір жақсартуға болатындығы қызықты. Бұл кішірек D жоғары ретті супермодтар арасында OPD ұлғаюына әкелуі мүмкін екендігімен түсіндіріледі. Алайда, өте жұқа конустық диаметрге байланысты спектрлік сипаттамалар анағұрлым хаотикалық және үлкен шығындармен болды. Сонымен қатар, әлсіз механикалық беріктікке байланысты деформацияның динамикалық диапазоны 0-60 мкк дейін қысқарды. 11a, c, e суреттерінен деформация диапазоны $D = 15$ мкм үшін 0-730,34 мкк, $D = 7,5$ мкм үшін 0-660 мкк және $D = 3$ мкм үшін 0-60 мкк құрағаны көрінеді. Сонымен қатар, с1-с4 айқас байланыс күйлері басқа байланыс күйлерімен салыстырғанда толқын ұзындығының максималды ығысуына жететіні байқалды. Жоғары ретті супермодтар арқылы айқас байланыс күйлері үшін OPD тиімдірек күшейтілуі мүмкін деп болжануда. Деформация сезімталдығы үшін деформация екі механикалық қысқыш арасындағы қашықтыққа бөлінген ығысуға (ұзындық өсіміне) тең болды. Осылайша, деформация сезімталдығы бірлік ұзындыққа көрсетілетін физикалық шама болып табылады. 3.2-суреттерінде b,d,f сызықтық жуықтаудың R2 детерминация коэффициенттері көрсетілген. $D = 3$ мкм-ге дейін азайған кезде R2 әдетте 0,989-дан асады және барлық 1500-1650 нм резонанстық толқын ұзындықтары үшін 0,994-тен жоғары болуы мүмкін. Бұл толқын

ұзындығының ығысуы өте жоғары сызықтыққа ие екендігін көрсетеді, бұл практикалық өнеркәсіптік қолдану үшін жақсартылған оптикалық қасиеттері бар талшықты деформация сенсорларын әзірлеу үшін өте пайдалы. Бұрыштық өзекті қоздыру схемасындағы асимметриялық супермодтарға негізделген OPD айтарлықтай жақсартылуы мүмкін, сондықтан деформация сезімталдығы 3 кестеде көрсетілгендей HCF, PCF, FCF, MMF және FBG қолданатын интерферометрлерге қарағанда әлдеқайда жоғары болады [7]. Дақ сезімталдығын қайталау бойынша эксперименттерді болашақ жұмыста керамикалық жіп сияқты шағын және дәл жылу көзін қолдану арқылы ғана жүргізуге болады.



3.2-сурет – Әр түрлі созылу деформациялары кезіндегі TFCF интерферометрінің спектрлік жауаптары: (a) $D = 15 \mu\text{m}$, (c) $D = 7,5 \mu\text{m}$ және (e) $D = 3 \mu\text{m}$. (b) $D = 15 \mu\text{m}$, (d) $D = 7,5 \mu\text{m}$ және (f) $D = 3 \mu\text{m}$ үшін толқын ұзындығының ығысуларының сызықтық жуықтау қисықтары және сызықтық жуықтаудың R^2 детерминация коэффициенттері

Кесте 3.1 – Өртүрлі талшықтарды қолданатын деформация датчиктеріне шолу

Сілтеме №.	Жұмыс	□	□	□	□	□	□
Сенсор схемасы	TFCFs	FCFs	HCFs	PCFs	MMFs	Ішкі аяу қуысы	FBGs
Динамикалық диапазон	0–60 мк	0–2000 мк	0–1000 мк	0–2100 мк	0–1000 мк	0–2000 мк	0–300 мк
Максималды сезімталдық	185.18 пм/мк	1.78 пм/мк	6.80 пм/мк	2.10 пм/мк	2.6 пм/мк	22.5 пм/мк	39.791 пм/мк

Біз бұрыштық өзекшелерді қоздыру схемасы бойынша асимметриялық супермодалық интерференцияға негізделген конустық FCF пайдалана отырып, жоғары сезімталдықты талшықты деформация датчиктерін көрсеттік. SLD кең жолақты сәулеленуі тікбұрышты конфигурацияда орналасқан төрт өзектің біріне енгізілді. D шамамен 30 мкм болғанда, супермодалық интерференцияның үш өзекті құрылым негізінде пайда болатыны анықталды, себебі диагональ өзектің спектрлік сипаттамалары қоздырушы өзекпен ішінара синхронсыз болды. Әрі қарай, D кішірек болғанда, супермодалық интерференция тікбұрышты төрт өзекті құрылым негізінде пайда болды. Резонанстық ойықтардың толқын ұзындықтары созылу кернеуінің артуымен көк жаққа ығысты, ал ең жақсы деформация сезімталдығы 3 мкм конустық диаметрде 185,18 пм/мк жетті. Бұрыштық өзекше арқылы қоздырылатын конустық FCF интерферометрі алғаш рет көрсетілді, ол асимметриялық супермодтарға негізделген жоғары сезімталдықты деформация датчиктерін жасау үшін өте перспективалы.

ҚОРЫТЫНДЫ

Оптикалық талшықтарды қолдану арқылы ақпаратты тарату және сезу технологияларындағы қазіргі заманғы жетістіктер қарастырылды. Атап айтқанда, төрт өзекті оптикалық талшықтардың (МСФ) артықшылықтары мен олардың жоғары өткізу қабілеті мен сезімталдығы талқыланды.

Төрт өзекті оптикалық талшықтардың технологиясы оптикалық байланыс жүйелерінің өткізу қабілетін арттыруға және олардың сезімталдығын жақсартуға мүмкіндік береді. Бұл технологияның басты артықшылықтарының бірі – әрбір өзектің деректерді параллель түрде беруі, бұл жалпы жүйенің тиімділігін айтарлықтай арттырады. Соңғы жылдары өндіріс технологияларындағы жетістіктердің арқасында өзара әсері төмен және беру сапасы жоғары МСФ талшықтары жасалды.

Болашақта төрт өзекті оптикалық талшықтарды одан әрі жетілдіру және олардың қолдану салаларын кеңейту үшін келесі бағыттарда зерттеулер жүргізу маңызды: өндіріс технологияларын жетілдіру, талшықтардың сапасын жақсарту және өндіріс құнын төмендету үшін жаңа материалдар мен өндіріс әдістерін іздеу қажет; мультиплекстеу әдістерін дамыту, оптикалық сигналдарды беру тиімділігін арттыру үшін жаңа мультиплекстеу әдістерін әзірлеу; жаңа материалдар мен құрылымдарды зерттеу, оптикалық талшықтардың қасиеттерін жақсарту үшін жаңа материалдар мен құрылымдарды зерттеу маңызды.

Тәжірибелік деректер төрт өзекті талшықтардың асимметриялық супермодтарды қоздыруға мүмкіндік беретінін және олардың арасындағы OPD-ны арттыратынын көрсетті. Бұл деформация сенсорларының сезімталдығын арттырып, оларды түрлі инженерлік және ғылыми қолданбаларда пайдалану мүмкіндігін береді.

Төрт өзекті оптикалық талшықтар қазіргі заманғы байланыс және сенсорлық технологиялардың дамуына елеулі үлес қосады. Олардың артықшылықтары мен мүмкіндіктері бұл технологияның болашақта кеңінен қолданылатынын көрсетеді. Бұл зерттеу оптикалық талшықтарды қолданудың жаңа жолдарын ашып, болашақта олардың тиімділігін арттыруға бағытталған қосымша зерттеулер үшін негіз бола алады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 History of Fiber Optics // timbercon URL: <https://www.timbercon.com/> [10.05.2024].
- 2 Fiber Optics: Understanding the Basics // photonics URL: <https://www.photonics.com/> [10.05.2024].
- 3 Li, Y., Wang, L., Song, Y. et al. Functional Optical Fiber Sensors Detecting Imperceptible Physical/Chemical Changes for Smart Batteries. Nano-Micro Lett. 16, 154 [2024].
- 4 Антипин В.В., Зиновьев Н.В. Влияние нелинейности передатчика на сигналы с OFDM // Научно-практические исследования. - 2019. - №8-2 (23). - С.31-34.
- 5 Горегляд В.Д., Ковалгин Ю.А., Мышьянов С.В., Соколов С.А. О выборе системы цифрового радиовещания для России // «Broadcasting». Телевидение и радиовещание. - 2015. - № 8. - С. 42-47.
- 6 Packaged Multi-Core Fiber Interferometer for High-Temperature Sensing // ResearchGate URL: <https://www.researchgate.net/> [09.05.2024].
- 7 A.V. Yurchenko, A.D. Mekhtiyev, F.N. Bulatbaev, E.G. Neshina, A.D. Al'kina. The Model of a Fiber-Optic Sensor for Monitoring Mechanical Stresses in Mine Workings. Russian Journal of Nondestructive Testing, 54 (2018) №7,528–533. DOI: 10.1134/S1061830918070094.

Дипломдық жобаға
РЕЦЕНЗИЯ

Сламғалиев Ислам Талғатұлы

6B07104 Electronic and Electrical Engineering

Тақырыбына: «Төртөзекті оптикалық талшықты датчиктер құрылымын зерттеу»

Орындалды:

- а) графикалық бөлім парак;
б) түсініктеме бет.

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ

«Төртөзекті оптикалық талшықты датчиктер құрылымын зерттеу» тақырыбындағы дипломдық жұмыс оптикалық технологиялар мен датчиктерді дамыту саласындағы маңызды зерттеу болып табылады.

Студент оптикалық құбылыстарға негізделген төрт позициялы талшықты-оптикалық датчиктердің құрылымы мен жұмыс принциптеріне мұқият талдау жасады. Жұмыста осындай датчиктердің техникалық аспектілері, артықшылықтары мен әлеуетті қолдану салалары терең қарастырылған.

Жобаның эксперименттік бөлігіне ерекше назар аудару керек, онда студент төрт позициялы талшықты-оптикалық датчиктерді қолданудың әртүрлі сценарийлерін талдап, модельдеді. Алынған нәтижелер мен қорытындылар практикалық маңызды және жаңа технологиялық шешімдерді әзірлеу үшін пайдаланылуы мүмкін.

Студенттің жұмысы техникалық дайындықтың жоғары деңгейін, физикалық принциптерді терең түсінуді және күрделі техникалық мәселелерді шешу үшін ғылыми әдістерді қолдану қабілетін көрсетеді.

Бұл зерттеу академиялық қауымдастық үшін де, сала үшін де пайдалы болатынына сенімдімін және оптикалық сенсорлар саласындағы қосымша зерттеулер мен әзірлемелерге негіз бола алады.

Графикалық және мәтіндік материалдар МСТҚ талабына сәйкес жазылған. Бұл дипломдық жоба жоғарғы оқу орындарының талаптарына сай жеткілікті жоғарғы дәрежеде жазылған.

ЖҰМЫСТЫҢ БАҒАСЫ

Жалпы, дипломдық жобаға «өте жақсы» (90%) деген баға, ал студент Сламғалиев Ислам Талғатұлын 6B07104 Electronic and Electrical Engineering білім беру бағдарламасының «техника және технологиялар бакалавры» дәрежесіне лайықты деп санаймын.



Рецензент:
Ф. Дәукеев атындағы АЭЖБ университеті,
PhD қауымдастырылған профессор
А.Ж. Сагындыкова

2024 ж.

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ШКІРІ

Дипломдық жұмыс

Сламғалиев Ислам Талғатұлы

6B07104 – Electronic and Electrical Engineering оқу бағдарламасы

Тақырыбы: «Төртөзекті оптикалық талшықты датчиктер құрылымын зерттеу»

Бұл дипломдық жұмыста оптикалық технологиялар саласындағы өзекті мәселелерді қарастырады, бұл оны қазіргі замандағы байланыс және сенсорлық жүйелердің дамуы жағдайында өте маңызды етеді. Осы тақырып төртөзекті оптикалық жүйелер саласындағы деформацияның себебін, оның алдын алуға мүмкіндік береді.


Жұмыста төртөзекті талшықты-оптикалық жүйелердің негізгі параметрлерін есептеу әдістері келтірілген, бұл олардың тиімділігін бағалауға және қолдану мүмкіндіктерін анықтауға мүмкіндік береді..

Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер өте орынды.

Бұл мәліметтер оптикалық технологиялар саласындағы одан әрі зерттеулер мен әзірлемелер үшін өте орынды.

Жалпы, дипломдық жұмысқа «өте жақсы» (90 %) деген баға қойылып, ал студент Сламғалиев Ислам Талғатұлы 6B07104 – Electronic and Electrical Engineering оқу бағдарламасы бойынша техника және технологиялар «бакалавры» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

Ғылыми жетекші

Ғылыми жетекші
техн.ғыл. докторы,
профессор
 Н.Т.Исембергенов

«30» 2024 ж.

**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: Сламғалиев Ислам Талғатұлы

Тақырыбы: Төртөзекті оптикалық талшықты датчиктер құрылымын зерттеу

Жетекшісі: Налик Исембергенов

1-ұқсастық коэффициенті (30): 0.4

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0.4

Дәйексөз (35): 0.2

Әріптерді ауыстыру: 78

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 0

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:

30.05. 2024
Күні

Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Сламғалиев Ислам Талғатұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Төртөзекті оптикалық талшықты датчиктер құрылымын зерттеу

Научный руководитель: Налик Исембергенов

Коэффициент Подобия 1: 0.4

Коэффициент Подобия 2: 0.4

Микропробелы: 0

Знаки из здругих алфавитов: 78

Интервалы: 0

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:

Дата

Заведующий кафедрой



30.05.2024



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Сламғалиев Ислам Талғатұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Төртөзекті оптикалық талшықты датчиктер құрылымын зерттеу

Научный руководитель: Налик Исембергенов

Коэффициент Подобия 1: 0.4

Коэффициент Подобия 2: 0.4

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 78

Интервалы: 0

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:

30.05.2024
Дата


Марселия С
проверяющий эксперт