

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматтандыру және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Төлеухан Эльдар Ғалымұлы

«Оптикалық талшық негізіндегі лазерлерді зерттеу»

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
ЭТ ж ҒТ кафедрасы меңгерушісі
техн. ғыл. кан
Е. Таштай
« 20 » 05 2022 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы «Оптикалық талшық негізіндегі лазерлерді зерттеу»

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Орындаған:

Э.Ғ.Төлеухан

Пікір беруші

т. ғ. д., профессор

Алматы энергетика және байланыс

университеті

М. З. Якубова
« 20 » 05 2022 ж.

Ғылыми жетекші

PhD докторы

қауымдастырылған профессор

Н.К.Смайлов

« 18 » 05 2022 ж.

Алматы 2022

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

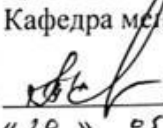
Автоматтандыру және ақпараттық технологиялар институты

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 Төлеухан Эльдар Ғалымұлы

Тақырыбы Оптикалық талшық негізіндегі лазерлерді зерттеу

Университет ректорының «20»/12.2021 №146 бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жобаны тапсыру мерізімі «30» сәуір 2022 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы деректері:

ГОСТ Р ИСО 11146-2—2008 Лазеры и лазерные установки (системы). Методы измерений ширины, углов расходимости и коэффициентов распространения лазерных пучков.

Жұмыстың бастапқы мәліметтері:

- a) Талшықты-оптикалық лазерлер
- b) Оптикалық талшықты күшейткіштері және лазерлер
- c) Оптикалық талшық өндіру әдістері
- d) Оптикалық талшықты беру технологиясымен арқылы сигнал
- e) Сандық флектография және талшықты-оптикалық лазерді қолдану

Сызбалық материалдар 15 слайдпен көрсетілген

Ұсынылатын негізгі әдебиет:

Дипломдық жұмысты рәсімдеу, плагиатқа қарсы, рецензия және нормобақылау	30.04.2022	<i>Орындалады</i>
--	------------	-------------------

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	<i>Н.К.Смайлов</i>

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

Тапсырманы орындауға алған білім алушы *Э.Т.Төлеухан* (қолы) Э.Т.Төлеухан

Күні « 23 » 05 2022 ж.

АҢДАТПА

Дипломдық жұмыс тақырыбы «Оптикалық талшықтар негізіндегі лазерлерді зерттеу».

Дипломдық жұмыстың мақсаты талшықты лазерлердің жұмыс істеу принциптерін айқындау және осы бағыттағы зерттеулердің қазіргі жағдайына шолу жасау болып табылады.

Бұл жұмыста негізгі зерттеу жұмысы Matlab Simulink r2017b модельдеу платформасында Оптикалық сигнал беру жүйесін модельдеу және алынған сигналдың параметрлерін зерттеу және талдау жұмыстары орындалды.

АННОТАЦИЯ

Тема дипломной работы "исследование лазеров на основе оптических волокон".

Целью дипломной работы является определение принципов функционирования волоконных лазеров и обзор современного состояния исследований в данном направлении.

В данной работе выполнена основная исследовательская работа моделирование оптической системы сигнализации на платформе моделирования Matlab Simulink r2017b и исследование и анализ параметров полученного сигнала.

ANNOTATION

The topic of the thesis is "research of lasers based on optical fibers".

The purpose of the thesis is to determine the principles of operation of fiber lasers and provide an overview of the current state of research in this direction.

In this paper, the main research work was carried out on the MATLAB Simulink R2017b simulation platform to simulate an optical signal transmission system and study and analysis of the parameters of the received signal.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе		6
1	Талшықты-оптикалық лазерлер саласындағы зерттеулердің жәй күйі	7
1.1	Талшықты-оптикалық лазерлер	7
1.2	Оптикалық талшықты күшейткіштері және лазерлер	9
1.3	Оптикалық телекоммуникациялық талшықтарды өндіру технологиясы	12
1.4	Сандық флексография лазерлік және экспоненциалды құрылғылардың түрлері	17
1.5	Оптикалық талшықты арқылы сигнал беру технологиясы	21
2	Гольмий талшықты лазерлерінің қасиеттерін зерттеу	24
2.1	Голмий иондарының жоғары концентрациясы бар талшықты лазерлер	24
2.2	Кең жолақты гольмий сәулелену көзі	26
3	Matlab simulink платформасында оптикалық сигнал беру жүйесін модельдеу	28
3.1	Таратылған кері байланысы бар лазер	28
3.2	Mach-Zender интерферометриялық модуляторы	35
3.3	Matlab Simulink r2017b модельдеу платформасы	31
Қорытынды		35
Пайдаланған әдебиеттер тізімі		36

КІРІСПЕ

Талшықты-оптикалық өнеркәсіп оптиканы қолдана отырып, қарапайым аксессуарларды сату нарығынан биотехнология сияқты жоғары қосылған құны бар интеллектуалды салалармен бірге конвергентті оптикалық it сенсорларының жаңа нарығына ауысады. Олардың ішінде талшықты-оптикалық сенсорлар мен талшықты лазерлер кеме жасау, құрылыс, энергетика, әскери іс, теміржол, қауіпсіздік және медицина сияқты әртүрлі салаларда талшықты оптиканы қолдану арқылы тезірек және дамиды. Бұл жұмыста біз талшықты-оптикалық сенсорлар мен талшықты лазерлерге негізделген сенсорлар мен құрылғылардың жаңа және инновациялық қосымшаларын ұсынуға арналған және оптикалық сенсорлардың көптеген қосымшаларын қамтимыз. Бұл дипломдық жұмыста түпнұсқа зерттеу мақалаларын, сонымен қатар шолуларды ұсынамын. Таратылған бриллюэндік талшықты сенсорлар мен ультра жылдам талшықты лазерлерге арналған екі шолу мақаласы және лазерлер мен сенсорларға арналған сегіз зерттеу мақаласы жазып шықтым.

Лазерлер мен талшықты оптиканы бөлісу адамдардың өмірін өзгерткен заманауи техникалық бағыттардың дамуына әкелді. Олардың ішінде, ең алдымен, интернет аталуы керек. Талшықты оптика пайда болуы және оның кейінгі қарқынды дамуы уақыт сұраныстарына, 1950 жылдары айқын көрінетін оптикалық байланыс қажеттілігіне жауап болды.

Талшықты оптика тез дамып келеді, дамыған елдердің одан да жоғары жылдамдықты талшықты-оптикалық байланыс және ақпарат беру жүйелерін құру қажеттілігі осы процестің негізгі қозғаушы күші болып қала береді. Адамзат кез-келген уақытта және кез-келген жерде кез-келген ақпаратты ала алатын ақпараттық қоғамға сенімді түрде барады.

Қазіргі уақытта қазіргі заманғы талшықты-оптикалық байланыс желілерінің ұзындығы бірнеше мың шақырымға жетеді, ал таратқыш сигнал 30-ға азаяды..40 дБ қашықтықта 130..160 км [1]. Желінің кіріс ұшындағы қуатты 25-ке арттыру үшін 30 дБ кванттық күшейткіштерді қолданады және желідегі сигналды 1 деңгейге дейін қалпына келтіреді..10 дБм күшейткіш қайталағыштарды қолданады. Ол үшін жартылай өткізгіш лазермен сорылатын EDFA қолданылады. Сонымен қатар, 1455 спектрлік диапазонында толқын ұзындығына бөлінген 10-нан 64-ке дейінгі арналарды қолдана отырып, ақпараттық өткізу қабілетін арттыру үшін арналардың спектрлік тығыздағышы (WDM) қолданылады..1600 нм [2]. Алайда, EDFA сору тиімділігінің жартылай өткізгіш сорғы лазерінің толқын ұзындығына тәуелділігінің белгілі фактісі оптикалық сигналды күшейту үшін энергия шығындарының мүмкін деңгейін болжауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, қуатты талшықты лазерлер және талшықты сенсорлық жүйелер бағытында жаңа іздеушілер пайда болды.

1 ТАЛШЫҚТЫ-ОПТИКАЛЫҚ ЛАЗЕРЛЕР САЛАСЫНДАҒЫ ЗЕРТТЕУЛЕРДІҢ ЖӘЙ КҮЙІ

Лазерлердің құрылуы және олардың кең дамуы ғылым мен техниканың бірқатар жаңа бағыттарының пайда болуына әкелді. Осындай бағыттардың бірі- төмен оптикалық шығындары бар шыны талшықты жарық өткізгіштерге негізделген қазіргі заманғы талшықты оптика. Қазіргі уақытта ең маңызды және дамыған талшықты оптика саласы талшықты-оптикалық байланыс болып табылады.

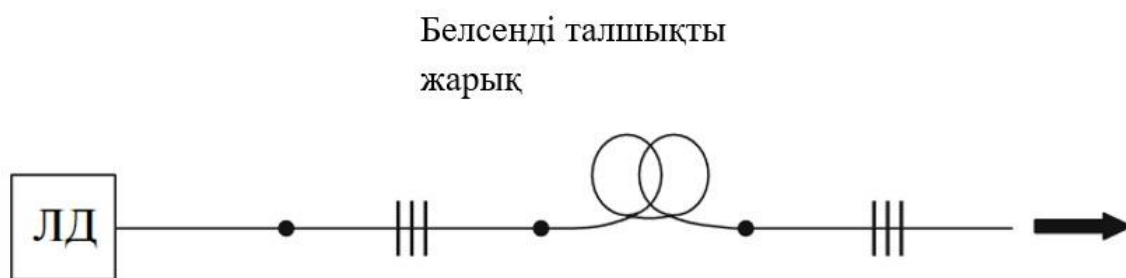
Төмен шыны талшықты жарық өткізгіштерді дамыту оптикалық шығындар оптикалық байланыс жүйелері үшін тарату ортасын құру қажеттілігінен туындады. Сәтті тәжірибелерден кейін А.С. Попова радиобайланыс тез дами бастады, атап айтқанда, жаңа радио диапазонын игеру кезінде [1] радиотолқындардың монохроматикалық көздері құрылды. Даму барған сайын қысқа радио толқындарын игеру жолымен жүрді, өйткені бұл ақпараттың көп мөлшерін беруге мүмкіндік берді. Оптикалық диапазон байланыс мақсаттары үшін іс жүзінде қолданылмады, өйткені оптикада монохроматикалық сәулелену көздері болған жоқ. Лазерлер жасалғаннан кейін оптикалық диапазондағы байланыс желілерін дамыту басталды. Ол үшін бастапқы элемент базасы болды, ал идеологиялық жағы радио диапазонында әзірленді. Еркін атмосфера арқылы лазер сәулесімен ақпарат берудің алғашқы тәжірибелері метеорологиялық жағдайларға байланысты жарықтың маңызды ортаға берілуі үшін қолайлы орта емес екенін көрсетті.

1.1 Талшықты-оптикалық лазерлер

Алғашқы талшықты лазер және оның әлеуетті артықшылықтары 1961 жылы Э.Снитцермен көрсетілді [25]. Алайда, ол кезде лазерлік диодтар, жоғары сапалы талшықты жарық өткізгіштер, басқа да талшықты элементтер, атап айтқанда, қазіргі кезде тиімді талшықты лазерлерді жасау үшін қолданылатын сыну көрсеткішін өзгерту үшін Брэгг талшықты торлары болған жоқ. Сондықтан, содан кейін Снитцердің керемет идеясы жүзеге аспады. Алайда, өткен ғасырдың аяғында шыңға жеткен 1980 жылдардың басынан бастап талшықты-оптикалық байланыстың қарқынды дамуы тиімді талшықты лазерлерді құруға қажетті барлық элементтер базасының дамуына әкелді.

Талшықты-оптикалық лазер-бұл белсенді ортасы ретінде резонаторы оптикалық талшық негізінде жасалған лазер. Толық талшықты іске асыру кезінде мұндай лазер талшықты деп аталады, лазер дизайнында талшықты және басқа элементтерді біріктіріп қолданған кезде оны талшықты-дискретті немесе гибриді деп атайды.

Келесі суретте үздіксіз талшықты лазер схемасы көрсетілген. Біріншіден, мұндай лазерлерде Белсенді орта ретінде тек сирек кездесетін элементтермен (Nd, Yb, Er, Ho, Tm, Pr) легирленген талшықты шамдар қолданылды. 2005 жылы висмутпен легирленген шыны талшықты жарық өткізгіштердің жаңа белсенді орталары құрылды [20]. Лазер резонаторының айналары-бұл жарық өткізгіштің өзегіне жазылған және туралауды қажет етпейтін талшықты Брагг торлары. Көзі тартып шағару қызмет етеді высокояркий және долгоживущий лазерный диод (ЛД) бастап талшықты шығу. Осылайша, талшықты лазер-бұл монолитті, ықшам құрылым, сенімді және оңай жұмыс істейді.



1.1 Сурет - Үздіксіз талшықты лазер сұлбасы

Талшықты иттербийлі лазерлердің жоғары (розеткадан 30% - дан астам) ПӘК-ін (розеткадан) атап өткен жөн, бұл ретте олардың айдау сәулеленуіне қатысты тиімділігі 70-80% - ға жетеді, ал бір режимді белсенді Жарық өткізгішті пайдалану шығу шоғының жоғары сапасын қамтамасыз етеді.

Талшықты лазер басқа лазер түрлеріне қарағанда бірқатар артықшылықтарға ие. Біз оларды үш топқа бөлеміз: оптикалық, энергетикалық және технологиялық.

Оптикалық.

Талшықты лазердегі толқынның сәулелену ұзындығы $\lambda=1,09$ мкм. Бұл толқын ұзындығы талшықты лазерге бірқатар артықшылықтар береді:

- осындай толқын ұзындығы бар Сәуле әйнек линзалары арқылы керемет фокусталады, бұл фокустау жүйесін орнатқан кезде ақша үнемдеуге мүмкіндік береді.

- осындай толқын ұзындығы бар Сәуле талшық арқылы ұзақ қашықтыққа берілуі мүмкін. Сондықтан лазерлік қондырғының өзі ыңғайлы жұмыс орнында болуы мүмкін, ал лазерлік қондырғыдан алынған талшық дәнекерлеу орнына тікелей тартылады.

- мұндай қысқа толқынды сәуле металмен өте қарқынды сіңеді:

- сәуленің шығатын саңылауының кішкентай мөлшері (300 мкм) соңғы лазер сәулесін өте кішкентай нүктеге бағыттауға мүмкіндік береді.

- талшықты лазерде сәуленің төмен бөлінуі бар, сондықтан фокустық ұзындық артады.

Технологиялық:

- талшықты лазерлер үшін баптау, реттеу, тазалау және т. б. сияқты техникалық қызмет көрсету іс жүзінде қажет емес.
- арнайы талаптарды ескерместен цехтардың қарапайым жұмыс бөлмелеріне орналастыруға мүмкіндік береді.
- қондырғылардың ықшамдылығы лазердің дәнекерлеу және бөлшектерді өңдеу орнынан едәуір қашықтықта болса да, жұмыс үшін ыңғайлы орынды иелене алатындығына байланысты.
- сәуленің жарық арқылы берілу мүмкіндігі.
- жұмыс мерзімі 100000 сағатқа дейін, өйткені диодтар мен талшықтар үлкен жүктемені сезінбейді.
- лазерде баптау операцияларының болмауы.

Бірқатар қолдану салаларында талшықты лазерлердің шағын мөлшері мен салмағы маңызды болып табылады. Сонымен, 20 кВт үздіксіз талшықты лазердің көлемі екі кішкене тоңазытқыштың көлеміне тең. Мұндай лазерлердің тағы бір артықшылығы-бүйір бетінің Белсенді орта көлеміне қатынасының үлкен мөлшері (көлемді лазерлермен салыстырғанда), бұл бүйір беті арқылы тиімді жылу ағыны және құрылымды жеңілдетеді.

Талшықты лазерлердің артықшылықтары соңғы жылдары олардың тез таралуын қамтамасыз етті. Маматериалдарды өңдеуде (дәнекерлеу, кесу, бұрғылау) кеңінен қолданылатын қуатты үздіксіз иттербийлі талшықты лазерлерді жасауда үлкен жетістіктерге қол жеткізілді. Дәстүрлі түрде осы мақсатта қолданылатын қуатты СО 2 лазерімен салыстырғанда, талшықты лазерлер жоғары сапалы және жоғары өңдеу жылдамдығын (бірдей қуатпен) қамтамасыз етеді.

Фемтосекундты талшықты лазерлерге үлкен қызығушылық байқалады, олар көбінесе көлемді аналогтардан асып түседі. Соңғы жылдары сенімді, ықшам және арзан құрал болып табылатын фемтосекундты талшықты лазерлер отбасы құрылды, олар дәл және ықшам оптикалық сағаттарда, материалдарды дәл өңдеуде және әртүрлі микро және нано құрылымдарды құруда, астрофизикада (экзопланеталарды іздеу және Ғаламның кеңею жылдамдығын анықтау), медицинада,биологияда қолданылады [26, 27].

Талшықты оптика тез дамып келеді, дамыған елдердің одан да жоғары жылдамдықты талшықты-оптикалық байланыс және ақпарат беру жүйелерін құру қажеттілігі осы процестің негізгі қозғаушы күші болып қала береді. Адамзат кез-келген мүше кез-келген уақытта және кез-келген жерде кез-келген ақпаратты ала алатын ақпараттық қоғамға сенімді түрде барады. Сонымен қатар, талшықты оптика саласындағы алдыңғы қатарлы елдердің экономикасы, атап айтқанда қуатты талшықты лазерлер мен талшықты сенсорлық жүйелерді зерттеу бойынша жаңа іздеушілер пайда болды.

1.2 Оптикалық талшықты күшейткіштері және лазерлер

Оптикалық күшейткіштер сигналдың қуатын оны электр пішініне айналдырмай арттырады. Олар күшейткіш арқылы бір өту кезінде жарықты күшейтетін лазерлердің мамандандырылған формалары ретінде ынталандырылған сәулелену принципіне негізделген. Қазіргі уақытта оптикалық күшейткіштердің екі негізгі түрі қолданылады: Қоспалы талшықты күшейткіштер және жартылай өткізгіш лазерлік күшейткіштер.

Оптикалық күшейткіштер лазерлерге ұқсас, индукцияланған сәулелену принципін қолданады. Оптикалық күшейткіштердің бес түрі бар, олардың тізімі кестеде келтірілген.(1.1-кесте)

1.1 Кесте - Оптикалық күшейткіштердің түрлері

№ п/п	Күшейткіштердің түрлері	Қолдану саласы
1	Фабри-Перо күшейткіші	Бір арнаны күшейту (бір толқын ұзындығы)
2	Бриллюэн шашырауын қолданатын талшықтағы күшейткіштер	Бір арнаны күшейту
3	Рамандық шашырауын қолданатын талшықтағы күшейткіштер	Бір уақытта бірнеше арнаны күшейту
4	Жартылай өткізгіш лазерлік күшейткіштер	Бір уақытта толқын ұзындығының кең аймағында көптеген арналардың күшеюі
5	Қоспа талшығындағы күшейткіштер	Бір уақытта толқын ұзындығының кең аймағында көптеген арналардың күшеюі

1.2.1 Фабри-Перо Күшейткіштері.

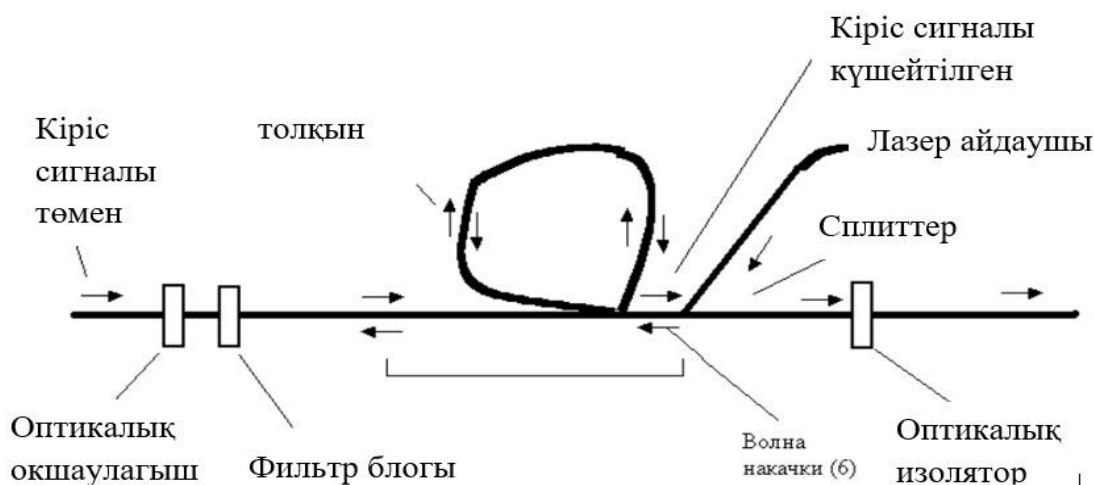
Күшейткіштер айна мөлдір қабырғалары бар жалпақ резонатормен жабдықталған. Олар өте тар (1,5 ГГц), бірақ кең (800 ГГц) спектрлік диапозонда жоғары (25 дБ дейін) пайда әкеледі. Сонымен қатар, мұндай күшейткіштер оптикалық сигналдың поляризациясына сезімтал емес және бүйірлік компоненттердің күшті басылуымен сипатталады (5 ГГц аралықтан тыс 20 дБ әлсіреу). Олардың сипаттамаларына байланысты Фабри қалам күшейткіштері демультиплексорлар ретінде жұмыс істеуге өте ыңғайлы, өйткені оларды әрқашан кіріс көп арналы WDM-ден бір арнаның белгілі бір толқын ұзындығын күшейту үшін қалпына келтіруге болады .

Бриллюэн шашырауын қолданатын талшықтағы күшейткіштер. Ынталандырылған бриллюэндік шашырау-бұл кремний талшығында пайда болатын сызықты емес әсер, онда F1 жиілігіндегі оптикалық толқыннан алынған энергия F2 ығысқан жиіліктегі жаңа толқын энергиясына өтеді. Егер кремний талшығындағы қуатты сорғы f_1 жиілігінде жасалса, ынталандырылған бриллюэндік шашырау F2 жиілігінде әлсіз кіріс сигналын күшейте алады. Шығу тар диапозонда шоғырланған, бұл 1,5 ГГц қателігі бар арнаны таңдауға мүмкіндік береді.

Рамандық жарық шашырауын қолданатын талшықтағы күшейткіштер. Бриллюэндік шашырау сияқты сызықты емес әсерді қолданыңыз, алайда бұл жағдайда сигнал толқыны мен сорғы толқыны ($|f_2 - f_1|$) арасындағы жиілік ығысуы үлкенірек және шығыс спектрлік диапазоны кеңірек, бұл WDM сигналында бірден бірнеше арнаның пайда болуына мүмкіндік береді. Күшейтілген арналар арасындағы үлкен өтпелі кедергілер осындай күшейткіштердің дамуында үлкен проблема болып табылады.

1.2.2 Қоспалары бар талшықтар

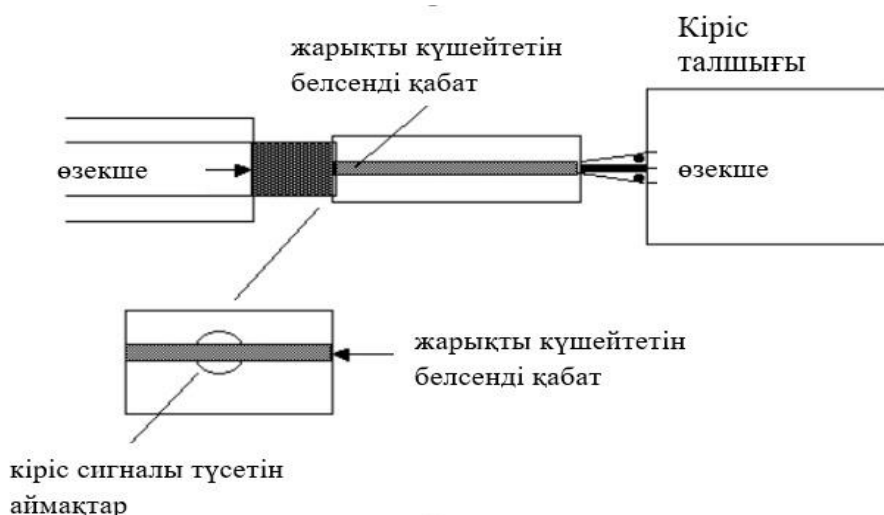
Бұл күшейткіштер талшықтарды пайдаланады, олардың өзектерінде белгісіз толқын ұзындығындағы жарықты күшейтетін элементтердің қоспалары бар. Эрбийдің сирек кездесетін элементінің қоспасы толқын ұзындығы 1520-дан 1560 нм-ге дейін, ал празеодимиядан -1300 нм-ге дейін тиімді. Талшықтағы қоспалар атомдары қысқа толқын ұзындығымен жұмыс істейтін сорғы лазерімен қозғалады. Сигнал толқынының ұзындығымен жарық бұл зарядталған атомдарды сигнал импульсі сәттерінде сигнал толқынының линімен жарық түрінде шығаруға мәжбүр ете алады. Бұл құрылғылардың жұмыс принципі суретте көрсетілген.



1.2 Сурет - Қоспалары бар талшықтарға негізделген күшейткіш

1.2.3 Жартылай өткізгіш лазерлік күшейткіштер

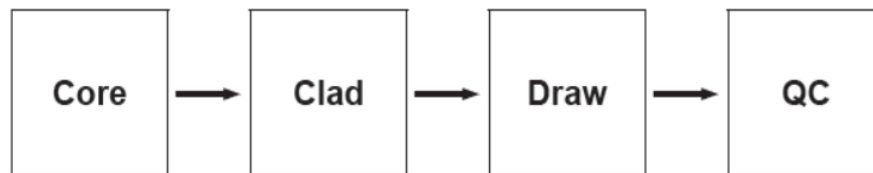
Жартылай өткізгіш лазерлік күшейткіштер айнасыз қарапайым лазерлер сияқты әрекет етеді. Сыртқы көзден алынған жарық белсенді аймақ арқылы бір өту жасайды және фотондардың одан әрі шығарылуын ынталандырады. Бұл құрылғылардағы басты қиындық-суретте көрсетілгендей жарықтың лазерге бағытталуы. 6.17. Жартылай өткізгіш лазердің ені бірнеше МКМ және қалыңдығы микроннан аз белсенді аймақ бар. Бір режимді талшықтан шығатын Жарық диаметрі кемінде 9 мкм болатын сәулені құрайды. Бұл талшықты жарықтың көп бөлігі лазердің белсенді аймағына енбейтіні және жоғалатыны анық. Бұл жағдайда талшықты беру кезінде лазерлік күшейткішті күшейтудің көп бөлігі пайдаланылмайды. Алайда, мұндай берілісті жоғалтпау үшін бұл құрылғыларды лазерлік жарық көздері сияқты басқа жартылай өткізгіш оптикалық құрылғылармен бір чипте сәтті біріктіруге болады.



1.3 Сурет - Жартылай өткізгіш лазерлік күшейткіштер

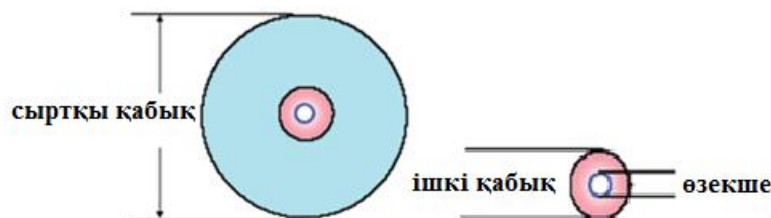
1.3 Оптикалық телекоммуникациялық талшықтарды өндіру технологиясы

Бір модальдық оптикалық талшықтарды өндірудің технологиялық процесінің стандартты реттілігі келесі кезеңдерден тұрады: оптикалық талшықты өзек дайындамасын жасау (Core), қабықты кеңейту (Clad), дайындаманы талшыққа тарту (Draw) және соңында талшық сапасына сәйкестік сынақтарын жүргізу (беріктік сынағы, геометриялық параметрлерді тексеру және оптикалық сынақтар) (QC) (7-сурет).



1.4 Сурет - Технологиялық процестің кезеңдері

Бір модальдық оптикалық талшықтың өзегін дайындау. Өзекшені дайындау талшықтың сапасы мен өнімділігін анықтайды, сондықтан оның маңызды бөлігі болып табылады. Өзекшені жасаудың белгілі процестеріне мыналар жатады: VAD, VAD, PVD, CVD және FCVD. VAD және OVD әдістері кеңінен қолданылады.



1.5 Сурет - Оптикалық талшықтың өзегі (Core) және қабығы (Clad)

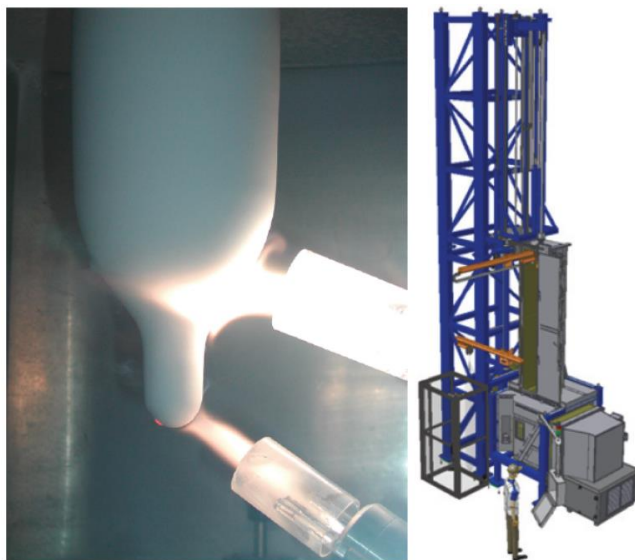
Төмен және нөлдік су шыңы (ITU-T 652D) бар оптикалық талшықтарды құру бағытындағы даму, талшықты жасау технологиясы ескеруі керек жаңа проблемаға OH гидроксил топтарының сіңуін азайту қажеттілігіне әкеледі.

1.3.1 VAD әдісімен талшық өзегін жасау процесі

1970 жылы Жапонияда ойлап табылған осьтік будың тұндыру әдісі (VAD) - бұл жалындағы гидролиздің химиялық процесі, онда бу фазасының реакциясы нәтижесінде оксидтер түзетін әйнек нанобөлшектері пайда болады. Бөлшектер (SiO_2 , GeO_2) термофорезды тұндыру арқылы айналмалы кварц өзегіне осьтік бағытта жиналады [4]. Содан кейін кеуекті дайындама агломерацияланады (дегидратацияланады және жылтыратылады), содан кейін қабықтың құрылысына дайын өзекке шығарылады. VAD әдісі гидроксил тобындағы оптикалық талшықтарды жасау үшін жақсы жұмыс істейді, бірақ бұл өнеркәсіптік өндіріс үшін өте қиын процесс. Дәстүрлі vад тұндыру технологиясы әйнек шеберханаларында жасалған концентрлі кварц қыздырғыштарын және табиғи ауа ағыны бар шағын тұндыру камераларын пайдаланады. Nextrom компаниясы калибренген тесіктері бар металл оттықтарды және мәжбүрлі ауа

ағыны бар үлкен тұндыру камерасын қолдана отырып, жаңа VAD процесін жасады [3].

Металл қыздырғыш коррозияға төзімді түтігі бар дәл машинада өңделген металл газ таратқыштан жасалған және Вентури әсеріне негізделген таза ауаны беру арқылы жылу және химиялық тосқауыл жасайды. Жалынның пайда болуы және химиялық реакция таза ауаның ламинарлы ағынында жүреді. Бұл өте дәл және қайталанатын жауын-шашынды алуға, құрылымның көмегімен газдардың көлемі мен жылдамдығын бақылауға, стандартты формулаларды қолдануға мүмкіндік береді, өйткені олар кез-келген тұндыру қондырғысында біркелкі әрекет етеді. Үлкен мәжбүрлі ауа ағыны камерасында камераның қабырғаларында минималды жауын-шашынмен өзектер мен қабықтар үшін бөлек саңылаулар бар, қажетсіз қайталама жауын-шашынды бақылауға, сондай-ақ ламинарлы жауын-шашын аймағының арқасында жалынның тұрақтылығын арттыруға жақсы мүмкіндік береді. Камераның бұл дизайны жауын-шашын жылдамдығы 6 г/мин болатын төмен су шыңы бар оптикалық талшықтарды өндіру үшін сәтті қолданылады.



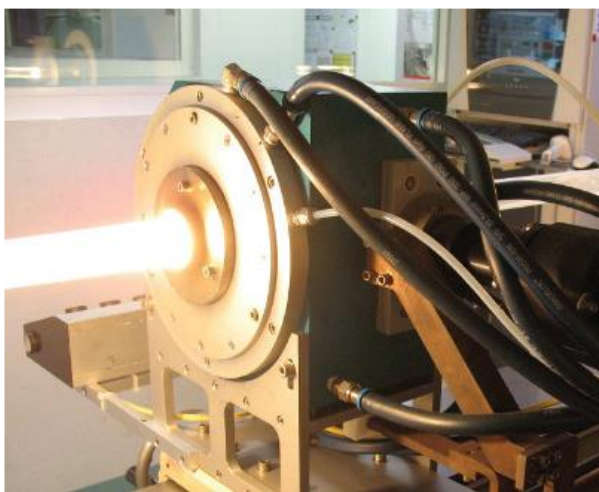
1.6 Сурет - VAD тұндыру әдісі

Сыртқы будың тұндыру әдісі (OVD), VAD әдісі сияқты, Жалындағы гидролиз процесі болып табылады. Дәстүрлі түрде концентрлік кварц қыздырғыштары қолданылатын VAD әдісінен айырмашылығы, OVD процесі үшін өндірушілер әрқашан металл қыздырғыштарды қолданған. Металл қыздырғыштарды пайдалану мүмкін емес оптикалық талшықтың сапасына теріс әсер етті. Мұны пайдаланып жасалған 200 млн км-ден астам оптикалық талшықты төсеу тәжірибесі көрсетті мұндай қыздырғыштар соңғы 20 жылда. Сонымен қатар, талшықтардың салыстырмалы сынақтары OVD әдісімен алынған талшықтың қосылым сипаттамалары VAD әдісімен жасалған талшықтың тиісті сипаттамаларынан ерекшеленбейтіндігін көрсетеді, судың құрамын қоспағанда: OVD әдісімен жасалған G652 типті талшықтар vад әдісімен

алынған талшықтарға қарағанда гидроксил иондарының жоғары сіңу шыңымен ерекшеленеді. Екінші жағынан, OVD өзегін жасау процесі сәйкесінше екі және үш шпиндельді машиналарды қолданудың арқасында жоғары жауын – шашын жылдамдығымен сипатталады-24-36 г/мин.

1.3.2 MCVD және FCVD әдісімен талшықты өзек жасау процестері

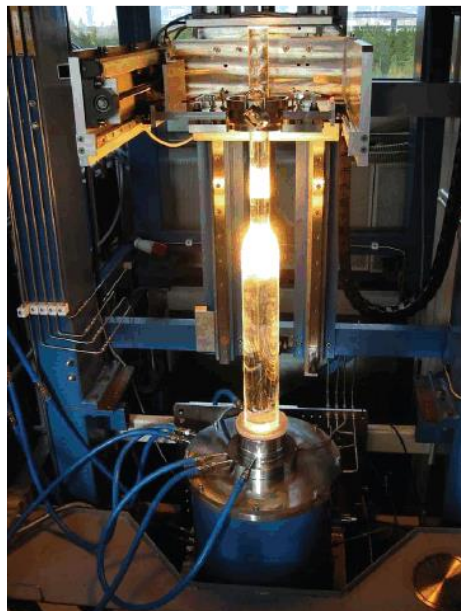
Химиялық будың тұндыруының модификацияланған әдісі (MCVD) SiCl_4 тотығуы нәтижесінде кварцтың субмикрон бөлшектерін қалыптастыру процесінде және жоғары сапалы айналмалы тірек түтігінің ішінде SiO_2 және GeO_2 ультра дисперсті ұнтағының кейінгі тұндыруынан тұрады. Бұл технология 1980 жылдардан бері қолданылып келеді және қабатты тұндырудың қарапайым процесі болып табылады. MCVD процесінде жылу көзі сыртта орналасқан оттегі-сутегі қыздырғыштары болып табылады, ал FCVD процесінде (пештің көмегімен химиялық будың тұндыру әдісі) жылу көзі пеш болып табылады. Тұндыру басталғаннан кейін түтік өзекке "түседі", әдетте дайындамаларды жасау үшін сол машинада. MCVD әдісі арнайы мақсаттағы оптикалық талшықтарды жасау үшін кеңінен қолданылады, өйткені ол әр қабаттың сыну көрсеткішін бақылауды жеңілдетеді. Алайда, бұл әдіс телекоммуникациялық оптикалық талшықтар өндірісінде кеңінен қолданылмайды, өйткені ол өте үлкен бланкілерді шығаруға мүмкіндік бермейді, жауын-шашын аймағының ұзындығы көбінесе 1 метрмен шектеледі, сонымен қатар O_2/H_2 қыздырғыштары (оттегі-сутегі) тірек құбырын жылыту және "құлату" үшін қолданылады төмен су шыңымен талшықтар шығарыңыз. Бұл әдістің жетілдірілген нұсқасы қыздырғыштардың орнына қыздыру пешін (FCVD) қолдану дайындамадағы гидроксил топтарының (OH) мөлшерін азайтуға және судың төменгі шыңымен талшықтар шығаруға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, ол тірек құбырының "пайдалы" мөлшерін арттыруға мүмкіндік береді.



1.8 Сурет - FCVD процесі үшін жылыту пеші

В / А қатынасын азайту арқылы (тұндырылған қабықтың диаметрі талшықтың тұндырылған өзегінің диаметріне қатысты) негізгі дайындаманың көлемін ұлғайтуға және 120 мм-ге дейін бланкілер шығаруға болады.

1.3.3 RIC/RIT дайындамаларын дайындаудың технологиялық әдісі



1.8 Сурет - Көлемі 150 мм дайындамалардан талшықты соруға арналған пеш

RIC/RIT әдістері "құбырдағы өзек" және "цилиндрдегі өзек" - бұл Heraeus немесе General Electric компанияларының жоғары тазалықты материалынан түтіктің ішіне өзек жасау үшін өзекшені енгізуден тұратын қарапайым қабықша процесі. Өзекшені түтікке енгізудің тәуелсіз процесі жеке көлденең немесе тік машинада жүзеге асырылады, бірақ талшықты тарту үшін мұнарада өндірілген түтікке өзекшені енгізу әдісі жиі кездеседі.

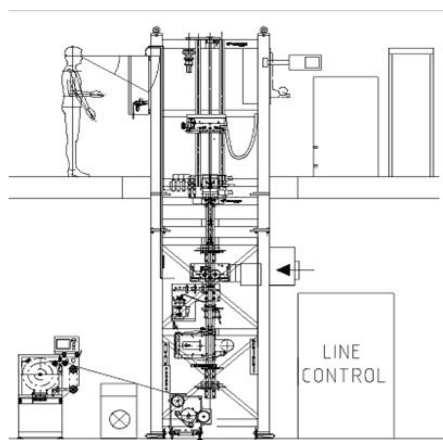
Өзек жасау үшін өзек (өзектер) түтіктің немесе цилиндрдің ішіне салынып, содан кейін талшық тікелей шығарылады. Heraeus компаниясы бұл технологияны материалдардың құнын төмендету және өнімділікті арттыру мақсатында жетілдірді. Технологияның жетілдірілуі диаметрі 120 мм-ден 200 мм-ге дейін және ұзындығы 3 м-ге дейінгі цилиндрлерді қолдануға әкелді, бұл талшықты соруға арналған мұнараларға немесе курткаларға арналған үлкен машиналарға өте үлкен пештерді қажет етті. Nextrom компаниясы 2008 жылы көлемі 150 мм дайындамаларға арналған өзінің графитті индукциялық пештерін енгізді.

1.3.4 Бір модалық оптикалық талшықтарды тарту процесі

Созу процесінің сапасы негізінен пештің құрылымына, қабықты төсеу технологиясына және кернеу, температура, диаметрлер, жылдамдық сияқты процесс параметрлерін оңтайлы бақылауға байланысты. Шығару процесінің шығындарын азайтуға өнімділікті арттыру, яғни өндіріс жылдамдығын арттыру, жабдықты іске қосу және іске қосу уақытын азайту, жылдамдықты сызықтық арттыру уақыты, ораманың сапасын жақсарту, дайындамалардың мөлшерін (ұзындығы мен диаметрі) арттыру, сонымен қатар өндірілген өнім мөлшерін көбейту арқылы қол жеткізіледі., яғни жұмыстың басталуы мен аяқталуы кезінде қалдықтарды азайту сору кезінде дайындаманың үзілуі, тартумен индукцияланатын тозудың төмендеуі және тарту процесінде сапаны бақылау кезінде талшықтың үзілуі азаяды.

Дайындамалардың мөлшерін ұлғайту оларды тасымалдауды және өңдеуді біршама қиындатады. Егер ұзындығы 1 м және диаметрі 100 мм дайындамаларды пайдалану ерекше проблемалар туғызбаса, онда диаметрі 150 мм-ден асатын және ұзындығы 3 м дайындамаларды басқару әлдеқайда қиын. Сонымен қатар, үлкен дайындамаларды балқыту кезінде энергияны тұтыну мөлшері аз дайындамалармен жұмыс істеуге қарағанда едәуір жоғары. Дайындамалардың оңтайлы мөлшерін таңдағанда, ымыралы шешім табу қажет. Nextrom компаниясы талшықты сору технологиясын дамытудың 20 жылдан астам кезеңінде бірқатар жаңа технологиялық шешімдерді әзірледі. Соңғы жаңалықтарға мыналар жатады:

- төменгі дымқыл қабаттың үстіне дымқыл жабу үшін шпиндельді қолдану арқылы сорғыштың жылдамдығы 1800 м/мин дейін және одан жоғары;
- газ шығынын бақылаудың оңтайландырылған жүйесімен диаметрі 150 мм-ден асатын дайындамаларға арналған графитті индукциялық пеш;
- өте үлкен катушкаларға арналған автоматты Қос қабылдағыш құрылғылар (бір катушкадағы 1000 км талшыққа дейін).



1.9 Сурет - Арнайы мақсаттағы оптикалық талшықтарды созуға арналған мұнара

1.4 Сандық флексография лазерлік және экспоненциалды құрылғылардың түрлері

Сандық флексография-бұл лазерлік кескін фотополимер тақтасының қара маска қабатына жазылатын инновациялық технология. Осыдан кейін фотополимер тақтасы үш өлшемді баспа профилін қалыптастыру үшін кейінгі өңдеуден өтеді (дәстүрлі пластина ретінде). Қолданылатын лазердің түрі CtFP жүйесінің (computer-to-Flexo-Plate) пайдалану мүмкіндіктерін, өнімділігін, сапасын және экономикалық тиімділігін анықтау үшін өте маңызды.

CtFp — comuter-to-Flexo-plate технологиясы деп аталатын сандық фотополимер формаларын жасау үшін флексографияда берік позицияға ие болды. Аналогтық әдіспен қатар (фото арқылы көрсету-және одан кейінгі жуу) және тікелей гравировка, қуатты лазер сәулесінің көмегімен (үш өлшемді баспа құрылымын қалыптастыру) Бүгінде цифрлық флексография кеңінен қолданылады. Бұл лазердің көмегімен сурет фотополимер тақтасының қара маска қабатына жазылады, содан кейін ол дәстүрлі пластина ретінде жуылады.

Қолданылатын лазердің түрі CtFP жүйесінің пайдалану мүмкіндіктерін, өнімділігін, сапасын және экономикалық тиімділігін анықтау үшін өте маңызды. Лазерлік сәулеленудің модуляциясы сыртқы болуы мүмкін-акустикалық-оптикалық модулятор арқылы, қысқартылған АОМ немесе сапа деңгейінің едәуір төмендеуімен, лазерлік сәулелену көзінің өзі тікелей ішкі модуляциясымен. Кезінде 200 Вт-тан жоғары лазерлік Қуат CO₂ лазерінде тек ішкі модуляция болуы мүмкін.

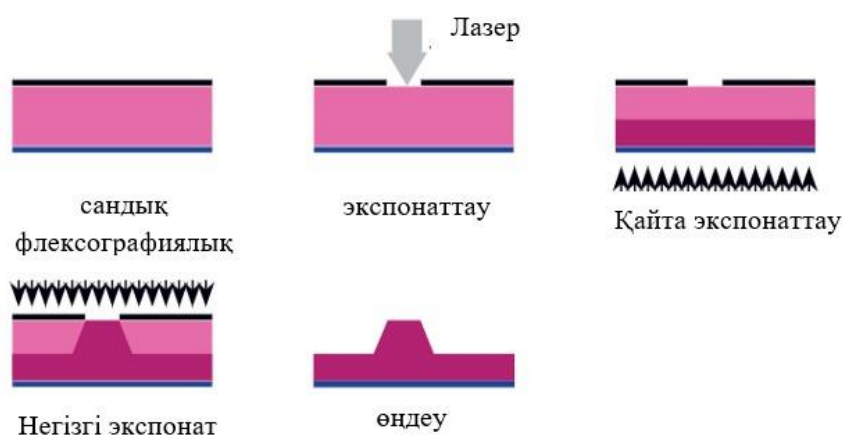
CO₂ лазерінің сөзсіз артықшылығы-оның жоғары қуаты және соның салдарынан жоғары өнімділігі. Бірақ өте маңызды кемшіліктер бар. Лазердің толқын ұзындығы 10,6 мкм құрайды, бұл экспозиция сапасына теріс әсер етеді. Нақты жағдайларда, әсіресе лазердің үлкен қуатымен, лазер сәулесінің фокусталуы диаметрі лазердің толқын ұзындығынан бірнеше есе аз болатын дақ бере алмайды. Сондықтан CO₂ лазерінде дақ мөлшері шамамен 50 мкм құрайды. Бірақ бұл тек 500 dpi нақты ажыратымдылығымен және шамамен 20 лин/см болатын максималды линиатурамен ерекшеленеді. Жоғары сызықтары бар суреттерді жазу үшін, әрине, сіз өз қалауыңыз бойынша (мысалы, 2000 dpi-ге дейін) ажыратымдылықты арттыра аласыз. Бірақ лазерлік дақ мөлшері өзгеріссіз қалады, нәтижесінде жоғары жарық пен көлеңкелі жерлерде нүктелік нүктелер саны айтарлықтай азаяды. Осыдан басып шығару кезінде кескіннің контрасты мен мөлдірлігі жоғалады, ал өтулер өзгермейтін және сатылы болады.

ND CO₂ лазерлерінен айырмашылығы: YAG-және талшықты-оптикалық лазерлер қысқа толқын ұзындығына байланысты (1,06 мкм немесе 1064 нм) жоғары емес суреттерді дәл жаза алады және сандық флексографияда кең таралған.

1.4.1 Сандық флексографияға арналған лазерлер

"Сандық флексография" әдетте LAMS деп аталатын CtFP технологиясын білдіреді (LAMS Laser Ablatable Mask дегенді білдіреді және "лазермен жойылған маска"деп аударылады). Бұл технология алғаш рет drupa 95 көрмесінде ұсынылды және содан бері әлемдік нарықтың айтарлықтай үлесін алды.

Сандық флексографияда қара LAMS қабатымен қапталған қарапайым фотополимер тақталары қолданылады. LAMS қабатының қалыңдығы бірнеше микрометрді құрайды және кескін инфрақызыл лазермен жазылады (әдетте толқын ұзындығы 1064 нм талшықты лазер немесе 830 нм лазерлік диодтар).



1.10 Сурет - LAMS-Флексографиядағы CtP технологиясы

LAMS қабаты дәстүрлі флексографияда қолданылатын фотоформаны алмастырады. Ол баспа элементтері пайда болатын жерлерде (абляция) лазер сәулесімен толығымен жойылады. Жазылған кескіні бар LAMS қабаты "сандық фильм" деп те аталады. Суретті LAMS-қабатына жазғаннан кейін, формалық пластина әдеттегідей одан әрі жалғасады, соның ішінде: кері экспозиция, негізгі экспозиция, Жуу, кептіру, қосымша өңдеу (Nachbehand-lung). Мұндай екі сатылы технологиялық процесс сапа мен өнімділіктің заманауи талаптарына сәйкес келеді.

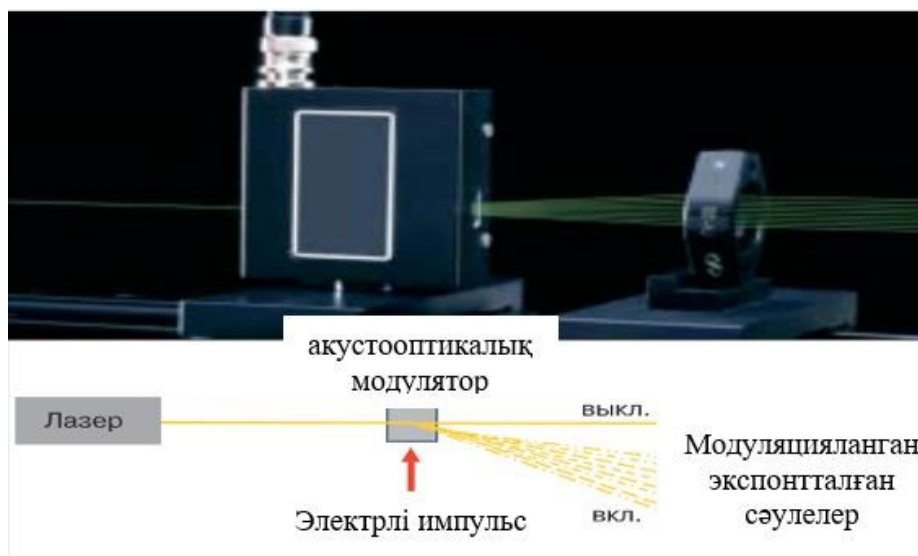
Сандық флексографиялық пластинадан LAMS қабатын алып тастау термиялық офсеттік пластинадағы кескінді жазуға қарағанда шамамен 30 есе көп лазерді қажет етеді және ультракүлгін сәулеге сезімтал фотополимер тақтайшасын тікелей гравюралауға қарағанда шамамен 100 есе аз қуат алады. Сонымен, тікелей гравировка үшін жасалған нилазер технологиясы, термиялық офсеттік плиталарға сурет жазу үшін де, сандық флексография үшін де қолданылмайды — егер сапа, өнімділік және кірістілік деңгейі төмендемесе.

Бүгінгі таңда негізінен талшықты лазерлер қолданылады. Олар LAMS қабатын алып тастауға жеткілікті күшті және өрістің үлкен тереңдігіне ие сапалы

сәуле береді. Өз кезегінде, бұл қымбат және көбінесе практикада тиімді емес автофокус жүйелерін пайдаланбай, флексографиялық тақталар мен жеңдер (жеңдер) формаларының қалыңдығына үлкен төзімділікті өтеуге мүмкіндік береді.

Сандық флексографиядағы сәулелену көздеріне тағы бір тәсіл-СТР-де офсеттік формалар үшін қолданылатын лазерлік диодтары бар әсер ететін бастарды қолдану мүмкіндігі. Олардың кемшілігі-радиацияның төмен сапасы. Бұл технологияда қолданылатын көптеген аз қуатты сәулелерді теңестіру күрделі, бұл флексографиялық бұрыштарды қолдана отырып, нүктелік кескінді жазу ақауларсыз (жолақтар, муар) пайда болуы үшін қажет.

Талшықты лазерлер көптеген диодтармен сорылады, сондықтан жеке диодтардың істен шығуы жүйенің тоқтап қалуына әкелмейді. Талшықты лазерлердің осы бөлігіндегі диод лазерлерінен айтарлықтай айырмашылыққа назар аударғым келеді, атап айтқанда, жоғары сенімділік, бұл қасиет лазерлік жүйелерді пайдаланушылар үшін өте маңызды. Талшықты лазерлерде оптикалық сору үшін лазерлік диодтар да қолданылады, бірақ әр лазерде ондаған, сонымен қатар олар жүктелмеген режимде жұмыс істейді, бұл олардың беріктігін қамтамасыз етеді. Лазерлердің бірі істен шыққан кезде сору қуатын жоғалтуды өтеу басқа диодтардағы токтың жоғарылауымен жүзеге асырылады, бұл тұрақты шығу қуаты бар талшықты лазердің ұзақ жұмыс істеуіне кепілдік береді — бірнеше жыл бойы талшықты лазердің Шығыс қуатының ауытқуы 1% аспайды.

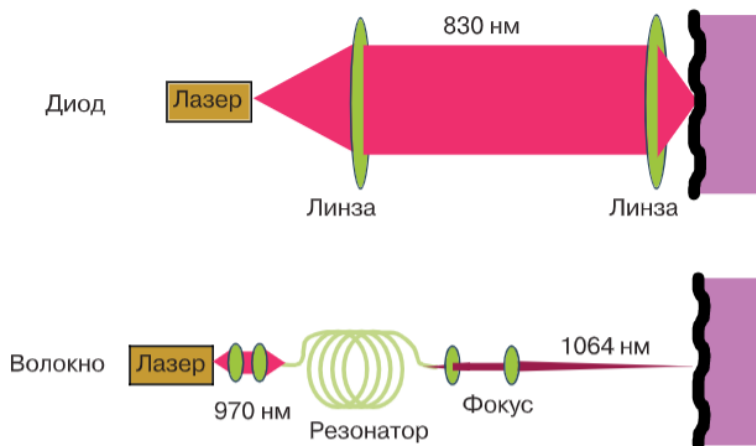


1.11 Сурет - Талшықты лазер мен АОМ модуляторынан тұратын сәулелер санын көбейтуге арналған құрылғы

Бір уақытта лазерлік диодтарды қолданудың бұл тәсілі талшықты-оптикалық байланыс желілерінің күшейткіштерін қолдану саласына байланысты болды, мұнда сенімділік пен тұрақты ұзақ мерзімді (шын мәнінде көпжылдық)

жұмыс мәселесі талшықты-оптикалық желінің көптеген шақырымдық сегментінің жұмысына қатысты болды.

Бүгінгі таңда флексографиялық формаларды цифрлық өндіру саласында екі технология бәсекелеседі. Олардың бірі толқын ұзындығы 1064 нм талшықты-оптикалық лазерді қолдануға негізделген, екіншісі-830 нм толқын ұзындығы бар инфрақызыл (IR) диодты лазерлерге негізделген технология.



1.12 Сурет - Диодты (жоғарыда) және талшықты (төменде) лазерлерде жүйелерді құрудың принципті схемалары

1.5 Оптикалық талшықты арқылы сигнал беру технологиясы

Талшықты-оптикалық технологиялар ақпаратты жарық толқындары түрінде ультра жұқа таза жарық өткізгіштер арқылы ұзақ қашықтыққа жіберуге мүмкіндік береді. ТОВЖ артықшылықтары айқын, сондықтан бүгінгі таңда оптикалық кабель заманауи жоғары жылдамдықты желілерді салу үшін белсенді түрде салынууда. Талшықты - оптикалық өткізу қабілеті кең, бұл деректерді секундына бірнеше терабит жылдамдығымен жіберуге мүмкіндік береді. Сондай-ақ, шашты аздап сөну, сыртқы электромагниттік өрістің кедергілері мен ескертулеріне төзімділік деп сипаттауға болады, бұл ақпаратты сигналдың Елеулі нашарлауынсыз ұзақ қашықтыққа жіберуге мүмкіндік береді.

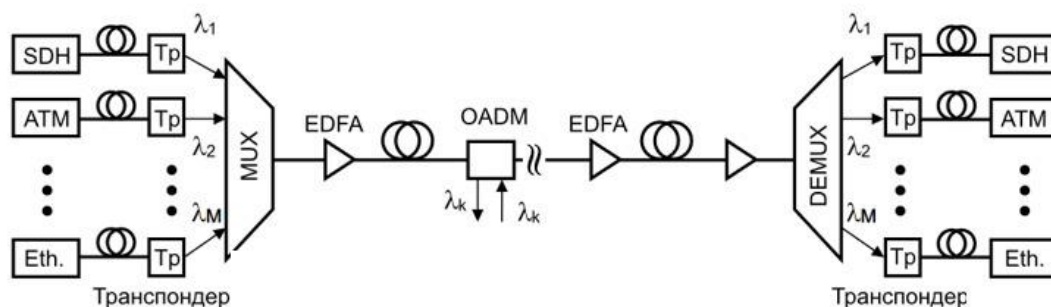
Оптикалық сигналды беру технологиясы келесідей. Жарық талшықтың ұшына сәл бұрышпен енгізіледі. Бұл жағдайда жарықтың түсу бұрышы шағылысу бұрышынан аз болуы керек, бұл ядро мен қабықтың материалдарының шекарасынан шағылысуға әкеледі, яғни сәуле жарық өткізгіштің кеңістігінде таралады. Егер бұл шарт орындалмаса, толқынның толық сынуы орын алады, сәйкесінше сигнал ядроға енбейді және жолдан өтпейді.

Бастапқыда оптикалық кабель магистральдық желілерді төсеу үшін пайдаланылды. Енді талшықты-оптикалық желілер үшін қалалық және

объектішілік жергілікті желілер айтарлықтай өсті, өйткені ТОВЖ арқылы бірнеше ғимараттардың және тіпті қаланың масштабындағы Lan желілерін проблемасыз салуға болады. FTTN технологиясы "үйге талшықты", әсіресе жаңадан салынған ғимараттарда танымал бола бастады. Бүгінгі таңда талшықты-оптикалық кабель мен тиісті жабдықтың бағасы бұрынғыдай жоғары емес, яғни оптикалық сигналдарды беру технологиялары адам қызметінің көптеген салаларына қол жетімді болды.

Оптикалық талшықты арқылы сигнал беру технологиясы сигналдың жылдамдығына қарай бір-неше сигнал тарату технологияларына бөлінеді. Арналарды спектрлік тығыздау сол технологиялар қатырына жатыды.

Арналардың спектрлік тығыздалуы немесе толқын ұзындығының мультиплексациясы (WDM — Wavelength Division Multiplexing) әртүрлі толқын ұзындығында (тасымалдаушы) бір оптикалық талшықта бірнеше сигнал беру деп аталады. Толқын ұзындығы бойынша мультиплекстеу схемасының жұмыс принципі 1.13 суретте көрсетілген.



1.13 Сурет - WDM-жүйе-әртүрлі толқын ұзындығында оптикалық сигналдарды талшық арқылы беру

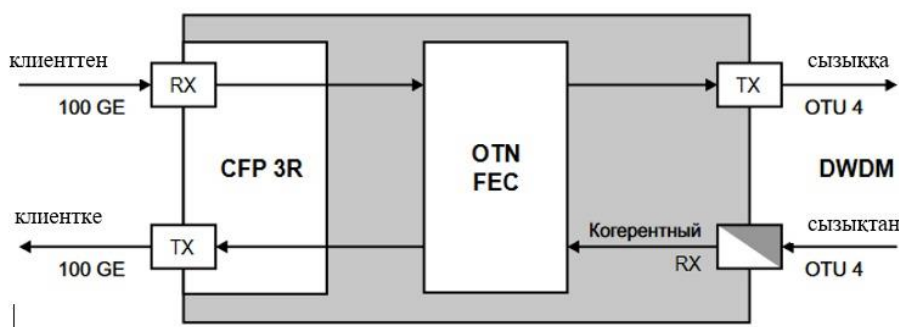
Оптикалық сигналдар клиенттен бөлек талшықтар арқылы келеді, ал WDM жүйесінде әр түрлі толқын ұзындығында (тасымалдаушы) бір талшық беріледі. Тасымалдаушылар арасындағы қашықтыққа байланысты өрескел мультиплекстеу жүйелері (CWDM — Coarse WDM) және тығыз мультиплекстеу жүйелері (DWDM — Dense WDM) ерекшеленеді. Бүгінгі таңда ең көп таралған DWDM жүйелері 40 немесе 80 арналары бар. DWDM жүйелеріндегі тасымалдаушылар арасындағы қашықтық 25 болуы мүмкін...200 Гц, қазіргі заманғы желілерде 50 ГГц арқан торы жиі қолданылады. Беру үшін ең алдымен с спектрлік диапазондары қолданылады (1530...1565 нм), S (1460...1530 нм) және L (1565...1625 нм).

С DWDM жүйесінің сыйымдылығын M спектрлік каналдардың санын да, әр v каналындағы берілу жылдамдығын да арттыру арқылы арттыруға болады, 1980 жылдан бастап технологияның дамуы M -ны екі есеге арттыруға мүмкіндік берді, ал V -төрт ретті. Нәтижесінде байланыс желілерінің сыйымдылығы шамамен миллион есе өсті, сурет. 1.2. $C = M \cdot V$ (1.1) типтік мәндер: $M = 40...80$ және $V = 10...800$ Гбит/с.желілік трактаттарда OTU-2 (10 Гбит/с), жаңа

жүйелерде — OTU4 (100 Гбит/с), ал клиенттік трактаттарда — Ethernet (90 %) және SDH (10%) жиі қолданылады. Саны $m = \Delta\lambda_u / \Delta\lambda_k$ арнааралық аралықтың еніне ($\Delta\lambda_u$) Жарық күшейту жолағы енінің қатынасына тең ($\Delta\lambda_k$). Күшейту жолағының ені күшейткіштің түріне байланысты, ал канал аралық интервалдың ені ITU-T жиілік жоспарымен анықталады ($\Delta\nu_k = 200$ ГГц, 100 ГГц немесе 50 ГГц). Жиілік диапазонында $\Delta\nu_k = 100$ ГГц $\lambda = 1550$ нм $\Delta\lambda_k = 0,8$ нм сәйкес келеді.

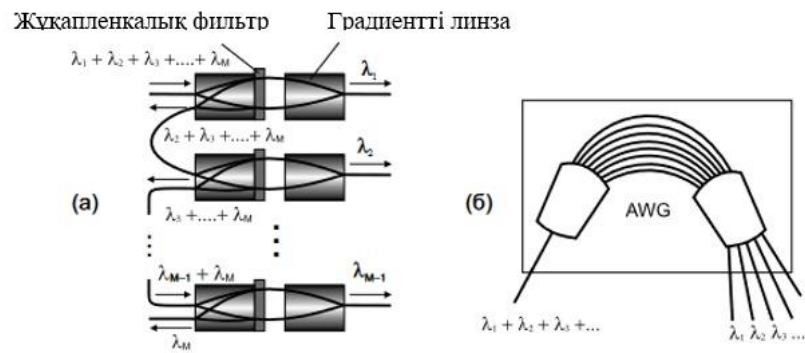
Бір арналы желіден DWDM жүйелеріне ауысу оптикалық талшықты, оптикалық Күшейткіштер мен дисперсиялық Компенсаторларды жетілдіруді, сондай-ақ жаңа құрылғыларды: транспондерлер мен мультиплексорларды құруды талап етті.

Транспондерлер клиенттің жабдықтарынан келетін сигналдың толқын ұзындығын ITU-T жиілік жоспарына, ал сызықтан келетін сигналды клиент жабдықтарының толқын ұзындығына түрлендіру үшін қолданылады. Қазіргі заманғы транспондерлер OTN стандартында жұмыс істейді әр түрлі типтегі тұтынушы сигналдарын (Ethernet, SDH, FC) стандартты OTN контейнерлеріне бірыңғай тақырып, апаттарды өңдеу және дабылдар мен FEC өрістеріне салыңыз. Транспондерге кіретін оптикалық сигнал сандық фотодетектормен анықталады және қалпына келтіріледі, сурет. 1.3.



1.14 Сурет -Төрт портты транспондерінің сұлбасы

Оптикалық мультиплексорлар әр түрлі толқын ұзындығында желінің кірісіне келетін сигналдарды біріктіру үшін қолданылады, сурет. 1.5. $M \leq 16$ - да жұқа қабатты сүзгілерге негізделген мультиплексорлардың (MUX) ең қарапайым түрлері (TFF — Thin-Film Filter), ал $M > 16$ — да-толқынды фазалық торларға негізделген интегралды — оптикалық мультиплексорлар (AWG-Arrayed Waveguide Gratings) қолданылады. AWG мультиплексорлары қымбатырақ, бірақ өлшемдері аз. Арна деңгейлерін теңестіру үшін әр v_{mux} арнасында аттенюаторлары бар мультиплексорлар қолданылады. Жарықтың таралу бағыты өзгерген кезде бұл құрылғылар демультиплексорға (DEMUX) айналады.



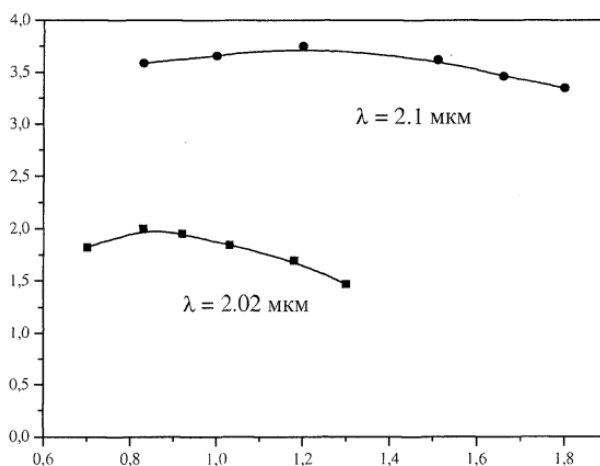
1.15 Сурет - (А) жұқа қабатты сүзгілер ((TFF) және градиент линзалары (GREEN); (б) толқынды торлар массиві (AWG) негізіндегі демультиплексорлардың сұлбалары.

2 ГОЛЬМИЙ ТАЛШЫҚТЫ ЛАЗЕРЛЕРІНІҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

2.1 Голмий иондарының жоғары концентрациясы бар талшықты лазерлер

Жоғарыда айтылғандай, қосымша оптикалық шығындардың әсерінен ұзын толқындық лазерлердің пайда болу тиімділігі үшін резонатордағы белсенді талшықтың ұзындығы маңызды. Сондықтан алғашқы тәжірибелер үшін белсенді талшықтың № 250 үлгісі таңдалды, холмий иондарының жоғары концентрациясы $N=12.5-10^{19} \text{ см}^{-3}$. Талшықтың басқа параметрлері 1-кестеде келтірілген. Лазерлік Схема суретте көрсетілген. 24. Осы талшықты қолдана отырып, 2.02-ден 2.15 мкм-ге дейінгі толқын ұзындығы бар алты лазер іске асырылды. Генерацияның толқын ұзындығы кіріс шағылыстырғыш ретінде қолданылатын Брагг торының резонанстық толқын ұзындығымен анықталды. Тордың шағылысу коэффициенті 99% - дан асты. Торлар стандартты 8мр-28 телекоммуникациялық талшыққа жазылып, белсенді талшықпен дәнекерленген. Жазу алдында талшықтар фотосезімталдықты арттыру үшін сутегімен сіндірілген. Стандартты талшықтағы 2.1 мкм толқын ұзындығының сән өрісінің диаметрі 15 мкм, ал белсенді талшық үшін 14 мкм деп бағалануы мүмкін. Осылайша, бұл талшықтарды дәнекерлеуге шығындар шамалы болды.

Іске асырылған және зерттелген лазерлердің толқын ұзындығы 2.02, 2.05, 2.07, 2.1, 2.13 және 2.15 мкм болды. Гольмий лазері үш деңгейлі схема бойынша жұмыс істейтіндіктен, резонатордағы талшықтың ұзындығы өте маңызды.



2.1 Сурет - Толқын ұзындығы 2.02 және 2.1 мкм лазерлердің шығыс қуатына тәуелділік графигі

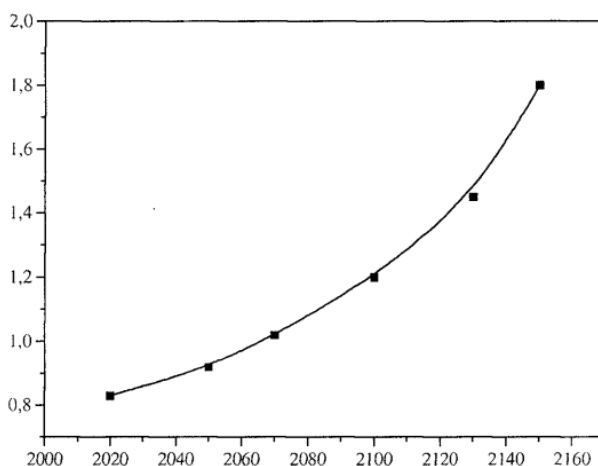
Ол бір жағынан сору радиациясының жеткілікті сіңуін және жоғарылауын қамтамасыз етуі керек, ал екінші жағынан сигналдың қайта сіңуіне әкелмеуі керек. Сондықтан әрбір іске асырылған лазер үшін сору қуатының белгіленген

деңгейінде максималды генерация қуатына сәйкес келетін белсенді талшықтың оңтайлы ұзындығы таңдалды.

2.1-суретте толқын ұзындығында 2.02 және 2.1 мкм шығаратын лазерлердің Шығыс қуатының белсенді талшықтың ұзындығына тәуелділігін көрсетеді. 1.125 мкм толқын ұзындығындағы сорғы қуаты 12.2 Вт болды. Суреттен белсенді талшықтың оңтайлы ұзындығы генерацияның берілген толқын ұзындығына байланысты екенін көруге болады. Сонымен қатар, генерацияның толқын ұзындығы төмендеген кезде, талшықтың ұзындығы генерацияның тиімділігі үшін маңызды болады.

2.2-суретте белсенді талшықтың оңтайлы ұзындығының таңдалған толқын ұзындығына тәуелділігін көрсетеді. Суреттен генерацияның толқын ұзындығы 2.02-ден 2.15 мкм-ге дейін жоғарылаған кезде талшықтың оңтайлы ұзындығы 2 еседен астамға өсетінін көруге болады. Бұл толқын ұзындығының жоғарылауымен люминесценция қимасының төмендеуіне байланысты.

Алынған тәуелділік кейіннен белсенді қоспаның басқа концентрациясы бар талшықтардың оңтайлы ұзындығын бағалау үшін қолданылды.



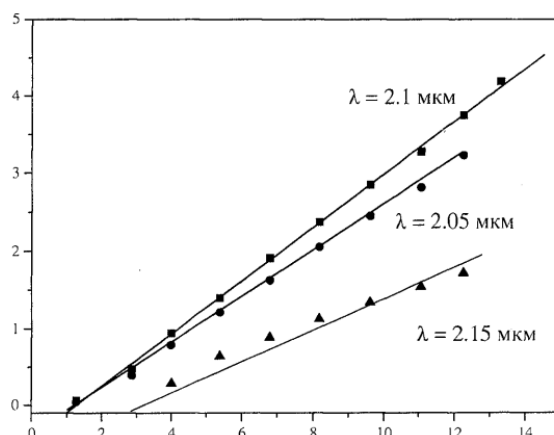
2.2 Сурет - Оңтайлы белсенді талшық ұзындығының толқын ұзындығына тәуелділігі

Лазерлердің әрқайсысы үшін Шығыс қуатының резонатордың оңтайлы ұзындығындағы сору қуатына тәуелділігі өлшенді. 2.2-сурет сәйкесінше 2.05, 2.1 және 2.15 мкм толқын ұзындығында сәуле шығаратын үш лазер үшін тиісті тәуелділіктерді ұсынады.

Айта кету керек, 2.15 мкм толқын ұзындығында сәуле шығаратын лазер үшін 6 минут ішінде шығу қуаты 1-ден 1.5 Вт-қа дейін өсті. Бұл белсенді ортаның өзін-өзі қыздыруымен түсіндірілуі мүмкін, онда сіңіру жолағы кеңейеді және қысқа толқындық люминесценция аймағында стихиялық люминесценцияның жоғарылауымен бәсекелестік төмендейді.

Өлшенген тәуелділіктер үшін әр лазер үшін генерацияның дифференциалды тиімділігі анықталды. Бұл суретте көрсетілген генерацияның

толық және дифференциалды тиімділігінің спектрлік тәуелділігін құруға мүмкіндік берді.



2.3 Сурет - Шығыс қуатының 2.05, 2.1 және 2.15 мкм сәулеленетін үш лазер үшін өлшенген резонатордың оңтайлы ұзындығы кезіндегі сору қуатына тәуелділігі

Суреттен генерацияның максималды толық тиімділігі шамамен 30% құрайды және толқын ұзындығы 2.1 мкм жетеді. Сол толқын ұзындығындағы максималды дифференциалды тиімділік 34 % құрайды.

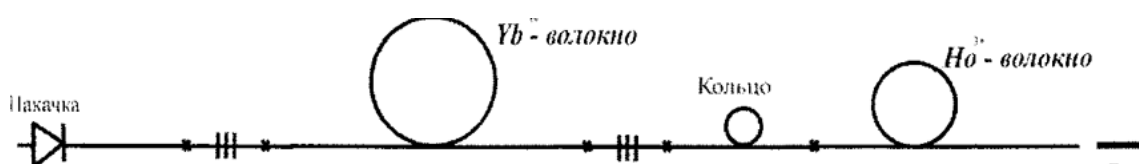
Айта кету керек, бұл холмий талшықты лазерлерге тәуелділік алғаш рет алынды.

2.2 Кең жолақты гольмий сәулелену көзі

Бірнеше ондаған нм құрайтын сәулелену спектрінің ені бар сәулелену көздері оптикалық сенсорлардың тізбектерінде, төмен температуралы рефлектометрия, спектроскопия және т.б. жүйелерде қолданылады. Жартылай өткізгіш көздермен салыстырғанда талшықты құрылғылар жоғары қуат, Шығыс спектрінің спектрлік модуляциясының болмауы және қалдық поляризацияның төмен дәрежесі сияқты артықшылықтарға ие. Сонымен қатар, талшықты көздердің спектрлік сәулелену диапазоны белсенді иондардың люминесценция спектрімен шектеледі. Сондықтан 1.55 мкм [88] спектрлік аймағында, Er^{3+} иондарымен қоспаланған талшықтар негізінде және 1.06 мкм [89] - U^{3+} аймағында талшықты Эмитенттер ең көп таралған. Бұл шектеу жүздеген нанометрлердің спектрлік диапазонын қамтитын суперконтинуум көздеріне қолданылмайды [90]. Алайда, бұл құрылғылар, әдетте, импульстік режимде жұмыс істейді, бұл олардың қолданылу аясын шектейді. Сонымен қатар, олар өте күрделі және қымбат құрылғылар, өйткені олар жоғары шынды сору қуатын қажет етеді.

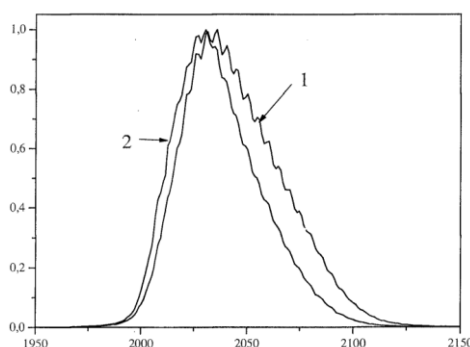
Кең жолақты көздердің қажетті спектрлік сәулелену диапазоны олардың мүмкін болатын алуан түрлілігімен анықталатындықтан, әртүрлі спектрлік қасиеттері бар осындай көздерді құру мүмкіндігін зерттеу өзекті болып көрінеді. Бұл бөлімде иттербийлі талшықты лазерден сорып алатын Ho^{3+} иондарымен қоспаланған талшық негізінде 2 мкм диапазонына арналған суперолюминесцентті көзді құру бойынша нәтижелер берілген [91,92, 93].

Дереккөз схемасы 2.4-суретте көрсетілген. Бұл өте қарапайым конфигурация, иттербийлі лазер және кең жолақты көз. Көздің лазерлік режимге ауысуын болдырмау үшін 1.12 мкм Шығыс Брагг торы бар талшық кішкене радиуспен иілген.



2.4 Сурет - Кең жолақты гольмиялық сәулелену көзінің схемасы

Бұл 2 мкм аймағында иілу жоғалуына әкелді және жартылай өткізгіш диодта және талшықтың ұшында шағылысу салдарынан кері байланыс ықтималдығын жойды. Сонымен қатар, толқын ұзындығында сәулелену үшін қосымша шығындар болған жоқ.



2.5 Сурет - Кең жолақты гольмий көзінің сәулелену спектрі

2 мкм аймағында кең жолақты сәулелену иттербийлі талшықты лазер қуатының барлық қолданылған диапазонында байқалды-1-ден 2 Вт-қа дейін. Қуат көзі желілік түрде 1 Вт қуатымен 1 мВт-тан 2 Вт-та 8 мВт-қа дейін өсті.

2.5-суретте шығыс қуатының екі деңгейі үшін сәулеленудің нормаланған спектрлері ұсынылған. Шығу қуаты 1 мВт (1 қисық) кезінде сәулелену спектрінің ені 52 нм және 8 мВт үшін 45 нм (2 қисық) құрады.

Осылайша, гольмий иондарымен легирленген оптикалық талшықтарды иттербийлі талшықты лазерден сорылатын 2 мкм аймағында ықшам кең жолақты эмитентті құру үшін қолдануға болатындығы көрсетілген. Сорғының сәулеленуін түрлендіру тиімділігі жоғары емес екенін атап өткен жөн (1% - дан

кем). Осыған қарамастан, жартылай өткізгіш сорғы көздері мен белсенді оптикалық талшықтардың салыстырмалы түрде төмен құны арқасында мұндай көздер, атап айтқанда, зертханалық тәжірибеде қолданыла алады.

3 MATLAB SIMULINK ПЛАТФОРМАСЫНДА ОПТИКАЛЫҚ СИГНАЛ БЕРУ ЖҮЙЕСІН МОДЕЛЬДЕУ

Күрделі және жоғары жылдамдықты оптикалық байланыс магистральдық деректер желілері үшін маңызды технологияларға айналды. Деректерді беру жылдамдығына қойылатын талаптардың жоғарылауына байланысты (бір арнаға 100 Гбит/с-1) қымбат практикалық демонстрация мен тестілеуден аулақ болу өте маңызды. Сондықтан әртүрлі жұмыс жағдайларында және олардың шектеулерінде оптикалық берілістің әртүрлі бөліктерінің әрекетін дәл сипаттайтын модельдеу платформасын табу өте маңызды. Мұндай жүйе оның өнімділігін болжау үшін өлшеу параметрлеріне негізделуі керек. Коммерциялық модельдеу бағдарламалық жасақтамасы көбінесе қымбат және оңай бейімделмейді. Олардың көпшілігі өлшеу параметрлеріне негізделмеген және мүмкін болса, одан әрі өңдеу үшін деректерді алу қиын. Сондықтан біз Matlab Simulink негізінде модельдеу платформасын құруды ұйғардық әлемдегі көптеген университеттер мен ғылыми-зерттеу зертханаларында әмбебап модельдеу құралы. Бұл бөлімде оптикалық модельдеу платформасы ұсынылған.

Оптикалық модельдеу платформасы төменде көрсетілген оптикалық компоненттердің модельдерінен тұрады

- Бернулли деректер генераторы
- Үздіксіз толқынды таратылған кері байланыс лазері (CW-DFB)
- Mach-Zender интерферометрлік модуляторы
- Оптикалық өткізгіш талшық
- Маха-Зендер интерферометрлік демодуляторы

Құжат келесідей ұйымдастырылған. Жоғарыда аталған жекелеген оптикалық компоненттер үшін теориялық негіздер, келесі бөлімде сипатталған. Үшінші бөлімде модельдеу платформасының сипаттамасы және модельдеу нәтижелері. Сонымен, нәтижелер мен біздің жұмысымыздың қорытындысы бар.

3.1 Таратылған кері байланысы бар лазер

Лазердің динамикалық қасиеттерін (1) – (3) тізімделген жылдамдықтың байланысты теңдеулерімен модельдеуге болады. Бұл теңдеулер $n(t)$ электрондар саны, $S(t)$ фотондар саны және $\Phi(t)$ фотондардың оптикалық фазасы арасындағы ішкі өзара әрекеттесуді сипаттайды. Бұл тәсіл төменде сипатталған параметрлердің ауытқуын ескереді және байланысты жылдамдық теңдеулерін қолдана отырып, DFB лазерлік көзінің тиімді сандық моделін жасауға болады [6].

$$\frac{dN(t)}{dt} = \frac{I(t)}{q} - \frac{N(t)}{\tau_n} - g \frac{N(t) - N_0}{1 + \varepsilon S(t)} S(t) + F_N(t) \quad (1.1)$$

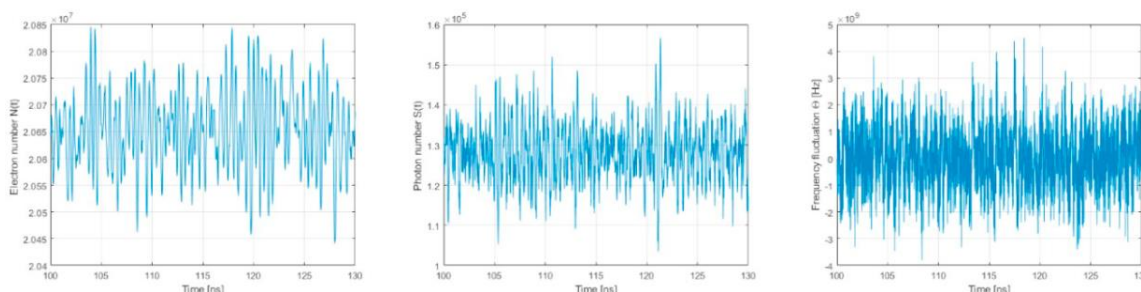
$$\frac{dS(t)}{dt} = g \frac{N(t)-N_0}{1+\varepsilon S(t)} S(t) - \frac{S(t)}{\tau_p} + \frac{\beta N(t)}{\tau_n} + F_s(t) \quad (1.2)$$

$$\frac{d\theta(t)}{dt} = \frac{\alpha}{2} g (N(t) - N_{avg}) + F_\theta(t) \quad (1.3)$$

Мұндағы g -тұрақты кірістілік коэффициенті, N_0 -мөлдірліктегі тасымалдаушы тығыздық, ε - кірісті сығу коэффициенті, τ_p -фотонның өмір сүру уақыты, β -генерация режимімен байланысты стихиялық сәуле, $I(t)$ - инжекция тогы, q -электронның заряды, τ_n -электронның өмір сүру уақыты, α -кіріс коэффициенті жолдың ені, N_{avg} - орташа уақыт тасымалдаушы нөмірі. Модельдеу үшін қарқындылық, фаза және жиіліктің ауытқуы болып табылатын Шу параметрлерін ескеру қажет. Бұл тербелістер стихиялық сәулеленуден, электронды тесіктердің рекомбинациясынан туындайды және олар $f_i(t)$ лангевеннің Шу көзі деп болжауға болады, мұнда i қолданылатын теңдеуге байланысты S , n немесе θ ауыстырылуы мүмкін.

DFB лазерінің Шығыс параметрлерінің сандық нәтижелері $\Delta t = 10$ PS қысқа аралығын қолдана отырып, Төртінші Рунге-Кутта алгоритмін қолдану арқылы алынды. Лазерлік модельдегі жылдамдық теңдеулері өлшеулерден алынған параметрлерді ғана қамтитын формада ұсынылған.

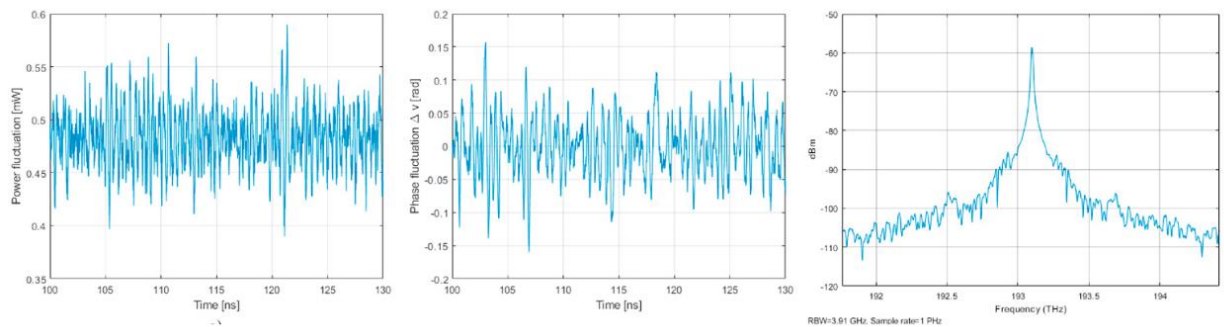
DFB-лазердің стационарлық режимі үшін лазердің шығу сипаттамаларының уақытша өзгерістері (толқындардың үздіксіз генерациясы режимі). $(N(t), S(t), \theta(t))$ 1-суреттен көруге болады.



3.1 Сурет - Тұрақты күйдегі уақытша өзгерістер (а) электрондар саны; (б) фотондар саны; (в) генерация жиілігінің тербелісі

Бұл теңдеулерде сызықты емес және диффузиялық әсерлер сығымдау өрісіне тәуелді оптикалық күшейту түрінде біріктіріледі. (1), (2) - де қолданылатын $1/(1+\varepsilon S(t))$ термині фотондардың тығыздығы жоғары DFB лазерлерін сандық шешудің ең жақсы нұсқасы болып табылады [10]. Модельдеу платформасы сыртқы Модуляцияға бағытталған, сондықтан оптикалық талшыққа қосылған коннектордағы жарықтың көрінісі болып табылатын оптикалық кері байланысты елемеуге болады. Егер біреу жарықтың шағылысуын қарастырғысы келсе, (1) - (3) теңдеулері бұдан былай сәйкес келмейді.

Дәл нәтиже алу үшін ығысу тогы шекті токтан үлкен болуы керек деген шартты сақтау керек. Бұл өлшемдер $I=12,9$ мА үшін модельденеді. Шекті ток $[6]$ $I_{th}= 9,93$ мА сәйкес келеді.



3.2 Сурет - (а) шығу қуатының тербелісі; (б) фазаның тербелісі; (в) қуат спектрі

Шығыс қуатының тербелісі, фазалық тербелістер және шығыс қуатының спектрі 2-суретте көрсетілген. Генерацияның орталық жиілігі 1550 нм-ге орнатылады, бұл жиілік аймағында 193,1 ТНС-ге тең. [11] сәйкес, егер оптикалық сигналдың жиілігі оптикалық сигналдың спектрлік өткізу қабілеттілігінен әлдеқайда үлкен деген шартты қанағаттандырса, жоғары жиілікті сигналға қарағанда негізгі жиілік диапазонында күрделі конверт түрінде өткен жарықты қолданған дұрыс. Оптикалық беріліс үшін қолданылатын жиілік дискретизация теоремасын орындау үшін тым жоғары, сондықтан оптикалық тасымалдаушы параметр қажет.

3.2 Mach-Zender интерферометриялық модуляторы.

Mach-Zender интерферометриялық модуляторы (MZM) - жарық толқынының екі компонентінің оптикалық өрісінің кедергі принципі бойынша жұмыс істейтін оптикалық қарқындылық модуляторы. Кіріс толқынының құрылымы Кіріс жарық толқынын екі иыққа бөледі. Әр толқынның түсуі әдетте 3 дБ құрайды. Әрбір иық модулятор құрамында кристалл LiNbO_3 пайдаланады фазовую модуляцию есебінен басқарушы ток. MZIM шығысында екі иықтың жарық толқындары қосылады. Модельдеу платформасы үшін бірыңғай mzm жетегі қолданылады, яғни модулятордың иығына тек бір радиожілік кернеуі беріледі.

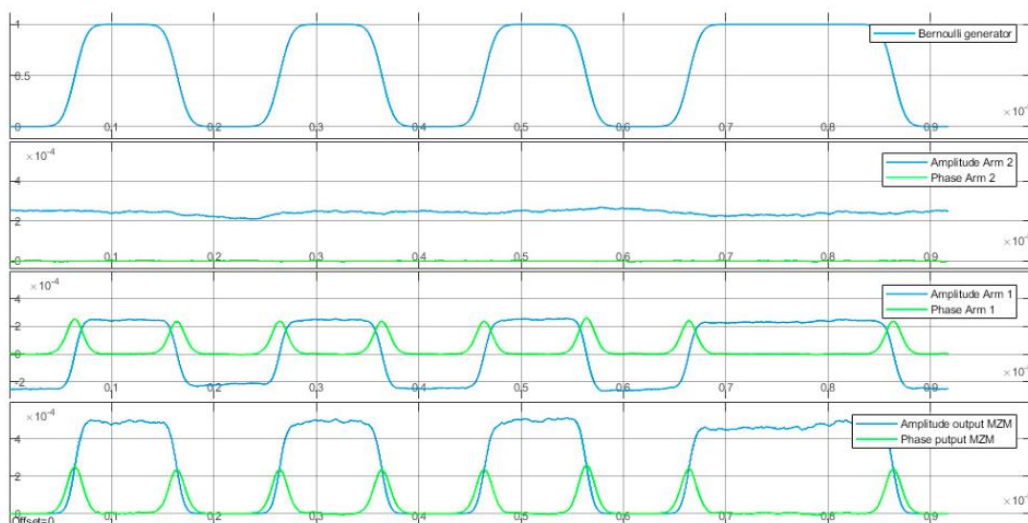
Берілетін оптикалық өріс $E(t)$ түрінде жазылуы мүмкін:

$$E_0 = \frac{E_{iRMS}}{2} e^{j\omega t} (e^{j\phi_1(t)} + e^{j\phi_2(t)}) \quad (1.4)$$

Мұндағы ω_c -тасымалдаушы жиілік, $E(t)$ - берілетін оптикалық өріс, E_{iRMS} -

тасымалдаушының орташа квадраттық мәні, $\varphi_1(t)$, $\varphi_2(t)$ - LiNbO₃-тегі фазаның уақытша өзгерістері.

5- суретте MZIM функциясын Simulink simulation platform-да көруге болады.



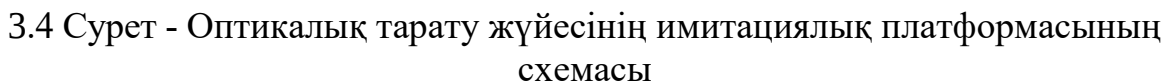
3.3 Сурет - Simulink MZIM демонстрациясы

3.3-суретте MZIM Simulink моделін ұсынады. Деректер ағыны Гаусс импульсі түрінде қалыптасады. 1-иықта басқару кернеуі логикалық 0 пайда болған кезде π фазасының өзгеруін тудырады. Екінші mzim иығында фазалық ығысу жоқ. Соңында, екі иық бір-біріне қосылып, модуляцияланған шығыс сигналын шығарады. DFB сигналы күрделі конверт ретінде түсіндіріледі. Фазалық кедергілер бір драйвер тобынан туындайды және оны екі соққы mзима тобы жоя алады.

3.3 Matlab Simulink r2017b модельдеу платформасы

Бүкіл модельдеу платформасы Matlab r2017b Simulink бағдарламалық жасақтамасында орындалады. - Сур. 4 келесі бөліктерді қамтитын оптикалық беріліс жүйесінің моделін көрсетеді. Бернулли генераторы (жасыл) MZIM блогына апаратын деректер ағынын білдіреді.

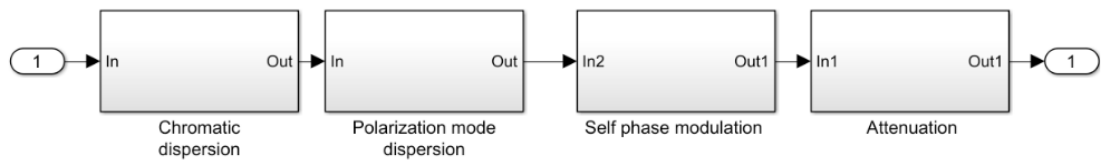
Бернулли генераторының деректері нақты жасалған деректердің пішінін сақтау үшін Гаусс толқыны түрінде қалыптасады. DFB лазерлік блогында DFB лазерлік моделі үздіксіз толқындық генерация режимінде болады, оған біздің ақпараттық деректеріміз деректер ағынынан модуляцияланады.



3.5 Сурет - а) MZIM сұлбасы б) фазалық ауысу сұлбасы

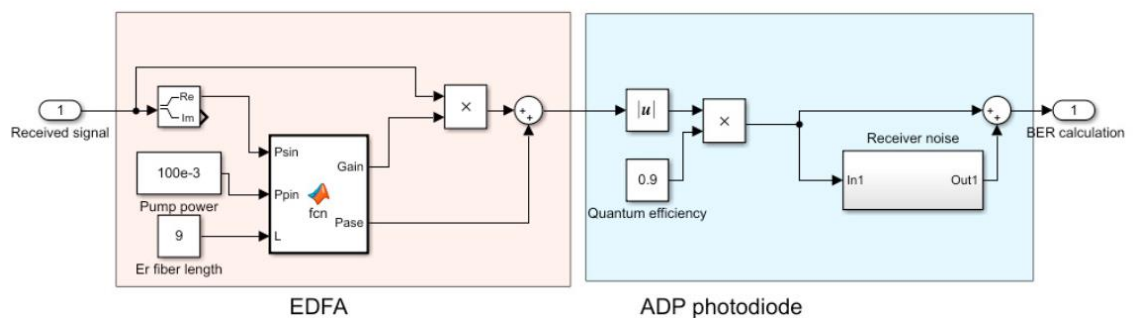
37

жұмысымыздың бөлігі болды.



3.6 Сурет - Оптикалық тарату талшығының схемасы

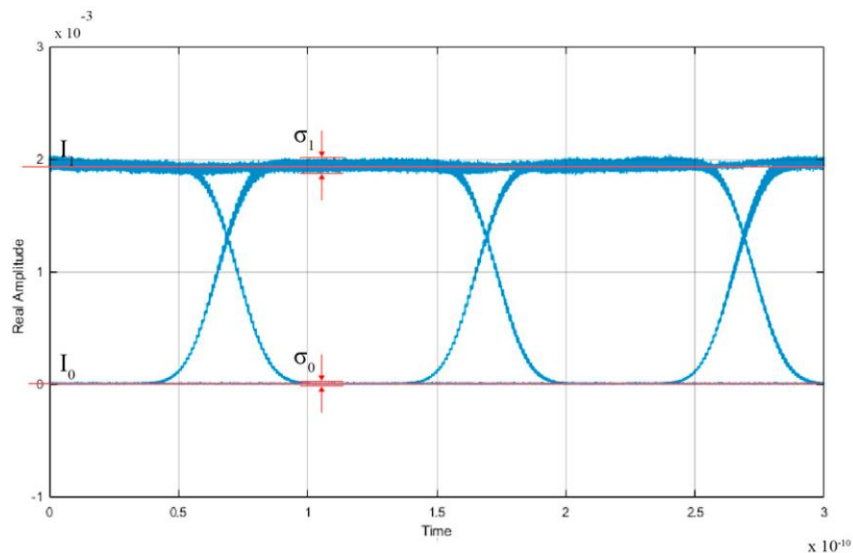
3.7-суретте дисплейде оптикалық қабылдағыш көрсетіледі. Ұсынылған модельде біз тек бір арналы берілісті қолданамыз, сондықтан оптикалық қабылдағыш моделінде сүзгілер қажет емес. Алдымен оптикалық сигнал EDFA күшейткішімен күшейтіледі. Ефа шуын білдіретін Шу көзі күшейтілген сигналға қосылады. Әрі қарай, сигнал оптикалық сигналды электрлік сигналға түрлендіруді қамтамасыз ететін фотодиодқа беріледі. Сигналға фотодиодпен байланысты шу көздері қосылады. Содан кейін сигнал бит қателерінің сапасы мен жиілігін бағалау үшін өлшеу блоктарына жіберіледі.



3.7 Сурет -. Оптикалық қабылдағыш схемасы

Берілген ОК импульсінің көз диаграммасын суреттен көруге болады. 10. Көз диаграммасы-жоғары жылдамдықты сандық берілістердегі сигнал сапасының жалпы көрсеткіші. Бит қателіктерінің жиілігін көптеген әдістермен бағалауға болады (Монте-Карло, MGD әдісі, GPD әдісі,...). Биттік қателіктердің жиілігін диаграммадан келесідей алуға болатын сапа коэффициентін қолдана отырып есептеуге болады:

$$Q = \frac{I_1 - I_0}{\sigma_1 + \sigma_0} \quad (1.5)$$



3.8 Сурет -. 80 км-ден кейін берілген ООК импульсінің көз диаграммасы

Matlab Simulink R2017b-де жасалған оптикалық беріліс жүйесін кешенді модельдеу ұсынылған. модельдеу осы мақалада келтірілген егжей-тегжейлі математикалық әдіснамаға негізделген. Бұл мақала MATLAB Simulink-да оптикалық беріліс жүйесінің simulation platform модельдеу платформасын құруға арналған диссертациялық жұмыстың бөлігі болып табылады. Бұл модельдеу бағдарламалық жасақтамасының басты артықшылығы-оптикалық модельдер нақты құрылғылардан өлшеу арқылы алынған параметрлерді қамтитын теңдеулерге негізделген. Деректерді қосымша сақтау және өңдеу мүмкіндігі коммерциялық бағдарламалық жасақтамаға қарағанда икемді. Ұсынылған модельдеу платформасы одан әрі сандық модельдеу платформасында оны жүзеге асыру үшін маңызды негізгі сипаттамаларды, қасиеттерді көрсетті.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл жұмыс барысында лазерлік технологиядағы жаңа бағыттың — талшықты оптикалық кванттық генераторлардың (талшықты лазерлердің) пайда болу тарихы қысқаша сипатталды. Телекоммуникация саласындағы талшықты лазерлердің, оның ішінде үздіксіз жұмыс режиміндегі гольми иондары негізіндегі лазерлердің жұмыс принциптері қарастырылады.

Бірінші бөлімде талшықты лазердің жұмыс істеу принциптері, талшықты-оптикалық лазерлер саласындағы зерттеулердің жәй күйі, үздіксіз радиациялық генерация әдістері және талшықты лазерлердің ең көп таралған сұлбалары, олардың компоненттері және оптикалық талшықтың өндіріс технологияларының түрлері сипатталды.

Екінші бөлімде Гольмий иондары негізіндегі талшықты лазерлерлерді қазіргі уақыттағы зерттеу жағдайы және оның белсенді талшық ұзындығының лазер қуатына тәуелділігі, кең жолақты лазерлік сәулелену көзі және тағы басқа зерттеулер талданды.

Үшінші бөлімде Matlab Simulink r2017b модельдеу платформасында оптикалық сигнал беру жүйесін модельдеу және берілген сигналдың параметрлерін зерттеу жұмыстары зерттелді.

Қорытындылай келе дипломдық жұмысқа қойылған техникалық тапсырмадағы барлық сұрақтар мен тапсырмалар толығымен қарастырылды және симуляциялық түрде зерттеу жұмыстары жүргізілді.

ПАЙДАЛАНЫЛГАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Desrosiers M.F., Peters M., Puhl J.M. A study of the alanine dosimeter irradiation temperature coefficient from 25 to 80 C° // *Radiation Physics and Chemistry*– 2009. – Vol. 78. – P. 465-467. Rucovodstvo po voprosam dozimetrii. Vved. 18.12.2008. M.: Standartinform – 2009. – P.20.
2. В.Н. Серова / Оптические и другие материалы на основе прозрачных полимеров // *Международный журнал экспериментального образования* No 10 2010 с.114-115
3. Pozdnyakov A.O. Chapter 4 in *Fullerene Research Advances* / Ed. Carl N. Kramer. Nova Science Pub., NY, 2007. P. 97.
4. Pozdnyakov A.O., Brzhezinskaya M.M., Vinogradov A.S., Friedrich K. // *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*. 2008. V. 16. N 5–6. P. 471.
5. М. Е. Жаботинский Лазер (оптический квантовый генератор) // под ред. А. М. Прохорова *Физический энциклопедический словарь*. – М.: «Советская энциклопедия», 1984. – С.337-340.
6. Pavol Šalík*, Rastislav Róka, Tomáš Gorazd Slovak University of Technology, Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies Institute of Multimedia Information and Communication Technologies Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovakia 2018
7. Научная сессия общего собрания РАН лазеры и волоконная оптика доклад академика Е.М. Дианова
8. Dianov E.M., Golant K.M., Khrapko R.R., Tomashuk A.L. Nitrogen doped silica core fibers: a new type of radiation resistant fiber // *Electron. Lett.* 1995. V. 31. P. 1490.
9. В.Н. Трещиков, В.Н. Листвин DWDM системы четвертое издание ТЕХНОСФЕРА Москва 2021
10. Cisco 2015 ‘The zettabyte era: Trends and analysis’, white paper [http://cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-](http://cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/VNI_Hyperconnectivity_WP.html)
11. [networking-index-vni/VNI_Hyperconnectivity_WP.html](http://cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/VNI_Hyperconnectivity_WP.html)
12. [2] Xin M., Meiuha B., Yan F., Longheng L., Weisheng H. (2017) ‘Experimental study of NRZ, Duobinary, PAM-4 in O-Band DML-
13. Based 100G-EPON’ *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 29, no.17
14. [3] Róka R. and Čertík F. (2015) ‘Simulation tools for broadband passive optical networks,’ *Simulation Technologies in Networking and*
15. *Communications: Selecting the Best Tool for the Test*. CRC Press, Taylor and Francis Group, pp. 337-364
16. [4] Šalík P. and Róka R. (2017) ‘Impact of environmental influences on multilevel modulation formats at the signal transmission in the
17. optical transmission medium’ *Journal IJCNIS*, vol.9, pp.76-87, ISSN 2076-0930
18. [5] Šalík P., Čertík F., Róka R. (2015) ‘Duobinary modulation format in optical communication systems’ *Advances in Signal Processing*

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

Дипломдық жұмыс

Төлеухан Эльдар

5B071900- Радиотехника, электроника және телекоммуникация

Тақырыбына: «Оптикалық талшық негізіндегі лазерлерді зерттеу»

Оптикалық талшықтар негізінде лазерлерді зерттеу жұмыстарын жүргізді. Оптикалық талшықтар негізінде лазерлерді зерттеу заңдылығын анықтауға арналған зертханалық өлшеулер ұйымдастырылды. Алынған нәтижелер бойынша математикалық модель түрі тандап алынып, зертханалық есептеулер жүргізілді.

Жұмыстың негізгі мақсатына жету үшін Оптикалық талшықтар негізінде лазерлердің моделін құрастыру, модельді құрастыру барысында лазердің сипаттамаларын зерттеу процестері орындалды. Бірінші бөлімде зерттелген ғылыми жұмыстардың негізгі тақырыптары мен бағыттары анықталды. Оптикалық талшықтар негізінде лазерлерге қатысты ғылыми еңбектерді қарай отырып оның негізгі сипаттамасы мен жасалу технологияларына талдау жасалынды.

Екінші бөлімде оптикалық талшықты лазер түріне сәйкес Гольмий талшықты лазерлердің сипаттамаларын зерттеу жұмыстары қарастырылған.

Үшінші бөлімде жұмыс бойынша тәжірибеелік бағдарламалық зертхананы ұйымдастыру қарастырылған. Matlab simulink платформасында оптикалық сигнал беру жүйесін модельдеу.

Студент дипломдық жобаны жасауда өздігінен жұмыс істеу қабілетін көрсете алды. Студент Төлеухан Эльдар өздігінен жұмыс істей алатынын көрсетті. Жалпы дипломдық жұмысты "92/А/өте жақсы", деп бағалап, ал студент Төлеухан Эльдар 5B071900 - «Радиотехника, электроника және телекоммуникация» мамандығы бойынша техника және технологиялар бакалавры біліктілігіне сай.

Ғылыми жетекші

PhD докторы

Қауымдастырылған профессор

Н.К.Смайлов

(қолы)

«21» 05 2022 ж.

СЫН – ПІКІР
дипломдық жұмыс

Төлеухан Эльдар

5B071900- Радиотехника, электроника және телекоммуникация

Тақырыбына: «Оптикалық талшық негізіндегі лазерлерді зерттеу»

Орындалды:

- а) графикалық бөлімі 7 бет;
б) түсіндірме жазбасы 22 бет.

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ ЖАСАУ

Дипломдық жұмыста **Төлеухан Эльдар** Оптикалық талшықтар негізінде лазерлерді зерттеу жұмыстарын жүргізді. Дипломдық жұмыс келесі бөлімдерден тұрады:

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

Екінші Гольмий иондары негізіндегі талшықты лазерлердің сипаттамаларын зерттеу қарастырылған.

Үшінші бөлімде жұмыс бойынша тәжірибелік бағдарламалық зертхананы ұйымдастыру қарастырылған. Лазерлік диодтың когеренттілік дәрежесінің сорғы тоғына тәуелділігі зерттелген.

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 "92/А/ өте жақсы" деген бағаға, ал студент **Төлеухан Эльдар** 5B071900 - Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы бойынша техника және технологиялар «бакалавр» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

Пікір беруші

Т. Ғ. Д., профессор

Алматы радиотехника және байланыс университеті

М. 3. Якубова

«10»



Ф КазҰТУ 704-24. Сын пікір



**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: Төлеухан Эльдар Ғалымұлы

Тақырыбы: Оптикалық талшық негізіндегі лазерлерді зерттеу

Жетекшісі: Нуржигит Смайлов

1-ұқсастық коэффициенті (30): 9

2-ұқсастық коэффициенті (5): 4.4

Дәйексөз (35): 0.7

Әріптерді ауыстыру: 11

Аралықтар: 1

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.

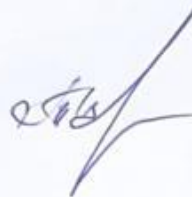
☐ Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

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

Негіздеме:

24.05.2022
Күні

Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Төлеухан Эльдар Ғалымұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Оптикалық талшық негізіндегі лазерлерді зерттеу

Научный руководитель: Нуржигит Смайлов

Коэффициент Подобия 1: 9

Коэффициент Подобия 2: 4.4

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 11

Интервалы: 1

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

Заведующий кафедрой



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Төлеухан Эльдар Ғалымұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Оптикалық талшық негізіндегі лазерлерді зерттеу

Научный руководитель: Нуржигит Смайлов

Коэффициент Подобия 1: 9

Коэффициент Подобия 2: 4.4

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 11

Интервалы: 1

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


проверяющий эксперт