

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Омиралиева Алина Сабыржановна

«Айналарды қолдана отырып, торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік
сенсорды зерттеу»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Алматы 2023 ж

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы



ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы «Айналарды қолдана отырып, торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорды зерттеу»

6B06201 –Телекоммуникация мамандығы

Орындаған:

А.С. Омиралиева

Пікір беруші
Ғ.Даукеев атындағы
АЭЖБ Университеті
т.ғ.д., профессоры

Якубова М.З.

« 2 » сентябрь 2023 ж.

Ғылыми жетекші
PhD докторы
қауымдастырылған профессор
Н.К.Смайлов

« 01 » декабрь 2023 ж.



Алматы 2023

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

6В06201 – Телекоммуникация



Дипломдық жұмыс орындауға ТАПСЫРМА

Білім алушы Омиралиева Алина Сабыржановна

Тақырыбы «Айналарды қолдана отырып, торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорды зерттеу».

Университет ректорының «23» қараша 2022ж. №408-П/Ө бұйрығымен бекітілген Аяқталған жобаны тапсыру мерізімі «30» сәуір 2023ж.

Жұмыстың бастапқы мәліметтері: 1. ГОСТ Р 59088-2020 Оптика және фотоника. Талшықты-оптикалық сенсорлар. 2. ГОСТ Р 59422.1-2021 Оптика және фотоника. Лазерлер мен лазерлік жабдықтар. Стандартты оптикалық элементтер. 3. ГОСТ Р ISO 13694-2010 Оптика және оптикалық құрылғылар. Лазер және лазерлік жүйелердегі қондырғылар. Энергия таралу әдістерін өлшеу.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

- а) Талшықты-оптикалық лазерлік сенсордың артықшылықтары мен кемшіліктеріне анализ жасау
 - б) Оптикалық резонатор арқылы лазерлік сәулеленуді әртүрлі сенсорларда талдау
 - в) Айналарды қолдана отырып, сыну көрсеткіші 1,45, толқын ұзындығы 1550 нм сенсордың өнімділігін зерделеу
 - г) Торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсордың өнімділігін MATLAB бағдарламалық жүйесінде модельдеу
- Сызбалық материалдар 15 слайдпен ppt форматында көрсетілген.

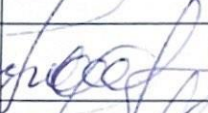
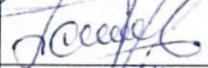

Ұсынылатын негізгі әдебиет:

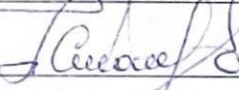
1. Галимова Айсылу Рафисовна, Галимуллина Элина Эмильевна, Голкова Регина Динаровна, Усов Никита Александрович. Волоконнооптические датчики температуры // Научные исследования. 2017. №2 (13). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/volokonno-opticheskie-datchikitemperatury>.
2. Анапьев Ю. А. Оптические резонаторы и лазерные пучки / Ю. А. Анапьев. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. - 264 с.

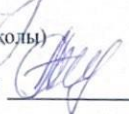
**Дипломдық жұмысты дайындау
КЕСТЕСІ**

| Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі | Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерізімі | Ескерту |
|---|---|----------|
| Талшықты-оптикалық лазерлік сенсордың артықшылықтары мен кемшіліктеріне анализ жасау | 07.02.2023 | орындама |
| Оптикалық резонатор арқылы лазерлік сәулеленуді әртүрлі сенсорларда талдау | 24.03.2023 | орындама |
| Айналарды қолдана отырып, сыну көрсеткіші 1,45, толқын ұзындығы 1550 нм сенсордың өнімділігін зерделеу | 20.04.2023 | орындама |
| Торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсордың өнімділігін MATLAB бағдарламалық жүйесінде модельдеу | 30.04.2023 | орындама |

Дипломдық жұмыс бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа қойған қолтаңбалары

| Бөлімдер атауы | Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы) | Қол қойылған күні | Қолы |
|-----------------------------------|--|-------------------|---|
| Диплом жұмысының тақырыбын талдау | ЭТЖҒТ каф.қауым.профессоры Смайлов.Н.К | 02.06.2023ж |  |
| Теориялық ақпарат | ЭТЖҒТ каф.қауым.профессоры Смайлов.Н.К | 02.06.2023ж |  |
| Норма бақылау | Т.ғ.м., ЭТЖҒТ каф. ассистенті Ақылжан П.Б. | 02.06.2023ж |  |

Ғылыми жетекшісі PhD докторы  Н.К.Смайлов

Тапсырманы орындауға алған білім алушы  (қолы) А.С.Омиралиева

Күні « 22 » « 12 » 2022 ж.

АНДАТПА

Зерттеу айналарды пайдаланатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорға бағытталған. Жұмыс осы типтегі бар сенсорларға шолу жасауды және олардың айналарды қолдану арқылы қолданылуын зерттеуді қамтиды. Негізгі фокус оптикалық сипаттамалар мен дизайн талаптарын ескере отырып, сенсорларды жобалау мен өндіруге бағытталған. Жүргізілген эксперименттер әзірленген сенсордың жоғары дәлдігі мен өнімділігін растайды. Ұсынылған сенсорды медицинада, өнеркәсіпте, ғылыми зерттеулерде және қауіпсіздік техникасында қолдануға болады.

Тұтастай алғанда, бұл зерттеу өлшеу және бақылау технологияларын дамытудағы маңызды қадам болып табылады, әртүрлі қолданбалар үшін дәлірек және тиімдірек сенсорларды жасау перспективаларын ашады.

АННОТАЦИЯ

Исследование посвящено волоконно-оптическому лазерному датчику с сетчатым резонатором, использующему зеркала. Работа включает обзор существующих датчиков данного типа и исследование их применения с использованием зеркал. Основной фокус сделан на проектировании и производстве датчиков с учетом оптических характеристик и требований к конструкции. Проведенные эксперименты подтверждают высокую точность и работоспособность разработанного датчика. Предложенный датчик может быть применен в медицине, промышленности, научных исследованиях и технике безопасности.

В целом, данное исследование является важным шагом в развитии технологий измерений и контроля, открывая перспективы для создания более точных и эффективных датчиков для различных применений.

ANNOTATION

The research is dedicated to a fiber-optic laser sensor with a mesh resonator that utilizes mirrors. The work includes a review of existing sensors of this type and an investigation into their application using mirrors. The main focus is on the design and production of sensors, considering their optical characteristics and construction requirements. The conducted experiments confirm the high accuracy and functionality of the developed sensor. The proposed sensor can be applied in medicine, industry, scientific research, and security engineering.

Overall, this research represents an important step in the advancement of measurement and control technologies, opening possibilities for creating more precise and efficient sensors for various applica

МАЗМҰНЫ

| | |
|---|----|
| Кіріспе | 9 |
| 1 Айналарды пайдаланатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорларға шолу | 10 |
| 1.1 Талшықты-оптикалық лазерлік сенсорлардың маңызы мен қолданылуы | 10 |
| 1.2 Талшықты-оптикалық сенсорлардың тарихы және эволюциясы | 10 |
| 1.3 Талшықты-оптикалық сенсорлардың әртүрлі түрлеріне шолу | 12 |
| 1.4 Айналарды пайдаланатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорлар саласындағы соңғы әзірлемелер | 13 |
| 1.5 Әртүрлі талшықты-оптикалық сенсорлық технологиялардың салыстырмалы талдауы | 14 |
| 2 Сенсорды жобалау және өндіру | 19 |
| 2.1 Датчиктерді жобалау туралы ойлар | 19 |
| 2.2 Датчик материалын таңдау | 20 |
| 2.3 Датчикті жасау және құрастыру | 21 |
| 2.4 Датчиктерді тексеру және тестілеу | 22 |
| 2.5 Сенсорды калибрлеу | 22 |
| 2.6 Сенсордың сезімталдығы мен дәлдігін бағалау | 23 |
| 2.7 Шектеулерді анықтау және болашақта жетілдіру бағыттары | 24 |
| 3 Сенсордың өнімділігін зерттеу | 26 |
| 4 Қолданбалар және болашақ бағыттары | 31 |
| 4.1 Айналарды пайдаланатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсордың әлеуетті қолданбаларына шолу | 31 |
| 4.2 Әрі қарайғы зерттеулер мен даму мүмкіндіктері | 31 |
| 4.3 Сезімталдықты, ті және жылдамдықты жақсарту | 32 |
| 4.4 Датчикті коммерцияландыру және өнеркәсіптік қолдану | 33 |
| Қорытынды | 35 |
| Пайдаланылған әдебиеттер тізімі | 36 |

КІРІСПЕ

Талшықты-оптикалық лазерлік сенсорлар-деформация, температура, қысым және қозғалыс сияқты физикалық параметрлерді өлшеу үшін оптикалық талшықтар мен лазерлердің принциптерін қолданатын құрылғылар. Бұл сенсорлар дәстүрлі сенсорларға қарағанда бірқатар артықшылықтарға ие, соның ішінде жоғары сезімталдық, жылдам жауап беру уақыты, электромагниттік кедергілерге қарсы төзімділік және кез-келген ортада жұмыс істеу мүмкіндігі.

Торлы резонаторлы лазерлік сенсор-сенсордың сезімталдығын арттыру үшін екі айнадан жасалған резонаторды қолданатын талшықты-оптикалық лазерлік сенсордың ерекше түрі. Айналар талшықты-оптикалық кабельдің екі ұшында орналасқан, айналар арасында лазер сәулесін артқа және алға көрсететін резонанстық қуысты құрайды. Бұл физикалық параметрлерді өлшеу үшін пайдалануға болатын талшықты-оптикалық кабель ұзындығының өзгеруіне сезімтал интерференция үлгісін жасайды.

Торлы резонатордың дизайны лазер сәулесінің бірнеше шағылысуына мүмкіндік беретін торлы резонатор жасау үшін көптеген айналарды қолданумен сипатталады. Бұл сенсордың сезімталдығын арттырады және өлшеудің дәлдігін қамтамасыз етеді.

Талшықты-оптикалық лазерлік сенсорларда айналарды қолданудың бірқатар артықшылықтары бар. Айналар жоғары шағылыстыруға ие, бұл сенсордың сезімталдығын арттыра отырып, резонатор ішінде лазерлік сәулеленудің көбірек шағылысуын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, айналарды жасау оңай және өте жоғары шағылыстыруға ие болуы мүмкін, бұл сенсордың өнімділігін одан әрі жақсартады.

Осылайша, айналарды пайдалана отырып, торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорларды зерттеу осы сенсорлардың өнімділігі мен сезімталдығын зерттеуді, сондай-ақ олардың өнімділігін жақсарту үшін жаңа конструкциялар мен өндіріс технологияларын әзірлеуді қамтиды. Бұл датчиктер аэроғарыш, автомобиль, құрылыс және медициналық диагностиканы қоса алғанда, болашақта көптеген салаларда маңызды рөл атқарады деп күтілуде.

Айналарды қолданатын торлы қуысы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсордың мысалы-құрылымдардың күйін бақылауға арналған жүктеме ұяшығы. Құрылымдардың күйін бақылау азаматтық құрылыста маңызды қосымша болып табылады, мұнда датчиктер ғимараттар, көпірлер және бөгеттер сияқты құрылымдардың күйін бақылау үшін қолданылады.

Талшықты-оптикалық лазерлік сенсорды құрылымға енгізуге болады және құрылымдағы жүктеме талшықты-оптикалық кабельдің ұзындығының өзгеруіне әкеледі. Ұзындықтың бұл өзгерісі лазерлік сәулеленудің кедергі үлгісін өзгертеді, оны анықтауға және құрылымдық деформация деңгейін анықтауға қолдануға болады.

Айналары бар торлы қуыстың дизайны сенсордың сезімталдығын арттырады және деформацияны дәлірек өлшеуге мүмкіндік береді. Торлы қуыста лазерлік сәулеленудің бірнеше рет шағылысуы талшықты-оптикалық кабельдің

тиімді ұзындығын арттырады, бұл үлкен кедергі үлгісіне және сезімталдыққа әкеледі.

Тұтастай алғанда, айналарды пайдаланатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорлар жоғары сезімталдық пен дәлдікті қажет ететін құрылымдардың күйін және басқа қолданбаларды бақылаудың перспективалы технологиясы болып табылады.

1 Айналарды пайдаланатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорларға шолу

Айналарды пайдаланатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорлар сенсордың сезімталдығын арттыру үшін торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық резонаторды пайдаланатын талшықты-оптикалық сенсордың бір түрі болып табылады. Бұл сенсорлар сигналды айналармен байланысқан талшықты-оптикалық ілмектер сериясынан тұратын талшықты-оптикалық торлы резонаторға енгізу арқылы жұмыс істейді. Сигнал резонатордың ішінде айналады және өзімен-өзі араласады, нәтижесінде конструктивті және деструктивті кедергілердің бірегей схемасы пайда болады.

Деформация немесе температураның өзгеруі сияқты сыртқы бұзылыстың болуы резонатордың тиімді сыну көрсеткішін өзгертіп, интерференция үлгісінің ығысуын тудырады. Интерференция үлгісіндегі бұл ығысуды анықтауға және бұзылу дәрежесін анықтау үшін өлшеуге болады. Резонатордағы айналарды пайдалану сенсордың сезімталдығын айтарлықтай арттыратын тұрақты толқын үлгісін қалыптастыруға мүмкіндік береді [1].

Айналарды пайдаланатын торлы талшықты лазерлік сенсорлар талшықты-оптикалық сенсорлардың басқа түрлерімен салыстырғанда көптеген артықшылықтарды ұсынады, соның ішінде жоғары сезімталдық, электромагниттік кедергілерге төзімділік және бірнеше физикалық параметрлерді бір уақытта өлшеу мүмкіндігі. Олар сондай-ақ өте әмбебап және құрылымдық денсаулықты бақылау, температура мен деформацияны өлшеуді қоса, кең ауқымда қолдануға болады. Дегенмен, бұл сенсорлардың дизайны мен өндірісі күрделі болуы мүмкін және оңтайлы өнімділікке қол жеткізу үшін мұқият калибрлеу қажет болуы мүмкін.

1.1 Талшықты-оптикалық лазерлік сенсорлардың маңызы мен қолданылуы

Талшықты-оптикалық лазерлік сенсорлар олардың жоғары сезімталдығына, электромагниттік кедергілерге қарсы төзімділігіне және бір уақытта бірнеше физикалық параметрлерді өлшеу қабілетіне байланысты маңызды. Олар әртүрлі салаларда кеңінен қолданылады, соның ішінде құрылымдардың күйін бақылау, температураны зондтау, тензометриялық зондтау және химиялық зондтау. Талшықты-оптикалық лазерлік сенсорларды қолданудың бірнеше мысалдары:

1. Құрылымдардың күйін бақылау: талшықты-оптикалық датчиктер ғимарат құрылымдарының, көпірлердің және басқа инфрақұрылымдардың күйін бақылау үшін қолданылады. Олар температураның, кернеудің және деформацияның өзгеруін анықтай алады, бұл ықтимал ақаулар туралы ерте ескертуді қамтамасыз етеді.

2. Мұнай-газ өнеркәсібі: талшықты - оптикалық датчиктер мұнай және газ

құбырларындағы қысымды, температураны және ағынды бақылау үшін қолданылады. Олар ағып кетуді анықтай алады және нақты уақыт режимінде құбырдың өнімділігі туралы мәліметтер бере алады.

3. Аэроғарыш өнеркәсібі: талшықты-оптикалық сенсорлар конструкциялардың күйін, температурасын және басқа параметрлерді бақылау үшін ұшақтар мен ғарыш аппараттарында қолданылады. Олар жоғары қайтарымды оқиғалардың зақымдануын анықтай алады және ықтимал ақаулар туралы ерте ескертуді қамтамасыз етеді.

4. Биомедициналық қолдану: талшықты-оптикалық датчиктерді биомедициналық қосымшаларда қолдануға болады, мысалы, өмірлік белгілерді бақылау және ауруларды анықтау. Олар сондай-ақ аз инвазивті хирургиялық процедураларда қолданылуы мүмкін.

5. Қоршаған ортаны бақылау: талшықты-оптикалық сенсорларды температура, ылғалдылық және ауа сапасы сияқты қоршаған орта параметрлерін бақылау үшін пайдалануға болады. Олар сондай-ақ ауадағы немесе судағы ластаушы заттардың деңгейінің өзгеруін анықтау үшін пайдаланылуы мүмкін.

Тұтастай алғанда, талшықты лазерлік сенсорлардың жоғары сезімталдығы мен әмбебаптығы оларды қолданбалардың кең ауқымы үшін маңызды технологияға айналдырады. Талшықты оптика бойынша зерттеулер жалғасуда, бұл сенсорларға арналған әлеуетті қолданбалар кеңейе береді[3].

1.2 Талшықты-оптикалық сенсорлардың тарихы және эволюциясы

Талшықты-оптикалық сенсорлардың тарихы мен эволюциясын 1960 жылдардың басында, оптикалық талшықтармен алғашқы тәжірибелер жүргізілген кезде байқауға болады. 1960 жылдардың аяғы мен 1970 жылдардың басында зерттеулер жарықты ұзақ қашықтыққа төмен сөніп жібере алатын талшықтарды дамытуға бағытталған.

Бірінші талшықты-оптикалық сенсор 1970 жылдардың басында зерттеушілер оптикалық талшықтағы жарықтың әлсіреуін деформация, температура және қысым сияқты физикалық параметрлерді өлшеу үшін қолдануға болатынын түсінген кезде жасалған. Талшықты-оптикалық датчиктердің алғашқы практикалық қолданылуы мұнай-газ өнеркәсібінде болды, онда олар құбырлардағы қысымды бақылау және ағып кетуді анықтау үшін пайдаланылды[2].

1980 жылдары талшықты-оптикалық технологияның жетістіктері физикалық параметрлердің кең ауқымын үлкен сезімталдық пен дәлдікпен өлшей алатын күрделі сенсорлардың дамуына әкелді. Зерттеушілер сонымен қатар биомедициналық қосымшаларда талшықты-оптикалық сенсорларды қолдану мүмкіндігін зерттей бастады.

1990 жылдары талшықты Брэгг торларының дамуы бір уақытта бірнеше параметрлерді өлшей алатын күрделі сенсорларды жасауға мүмкіндік берді. Бұл сенсорлар құрылымдардың күйін бақылаудан бастап қоршаған ортаны

бақылауға дейін кең ауқымда қолданылды.

2000 жылдардың басында зерттеулер нақты уақыт режимінде физикалық параметрлер туралы деректерді қолданудың кең ауқымында бере алатын ақылды сенсорларды жасауға бағытталған. Бұл сенсорлар деректерді талдау және нақты уақыттағы кері байланысты қамтамасыз ету үшін кірістірілген микропроцессорлар мен бағдарламалық құралды пайдаланады.

Бүгінгі таңда талшықты-оптикалық сенсорлар аэроғарыштан биомедициналық және қоршаған ортаны бақылауға дейінгі көптеген салалар мен қолданбаларда қолданылады. Талшықты-оптикалық технологияның үздіксіз дамуы алдағы жылдары одан да күрделі және әмбебап сенсорларды жасауға әкелуі мүмкін[6].

1.3 Талшықты-оптикалық сенсорлардың әртүрлі түрлеріне шолу

Талшықты-оптикалық сенсорлардың бірнеше түрі бар, олардың әрқайсысы әртүрлі физикалық параметрлерді өлшеуге арналған. Ең көп таралған түрлері:

1. Қарқындылыққа негізделген сенсорлар: бұл сенсорлар температура, деформация немесе қысым сияқты сыртқы бұзылуларға байланысты талшық арқылы өтетін жарық қарқындылығының өзгеруін өлшейді. Қарқындылыққа негізделген сенсорлардың мысалдары-Мах-Цендер интерферометрлері және Фабри-Перо интерферометрлері.

2. Фазаға негізделген сенсорлар: бұл сенсорлар сыртқы бұзылуларға байланысты талшық арқылы өтетін жарық фазасының өзгеруін өлшейді. Фазаға негізделген сенсорлардың мысалдары талшықты Брэгг торлары және Саньяк интерферометрі болып табылады.

3. Поляриметриялық датчиктер: бұл датчиктер сыртқы бұзылуларға байланысты талшық арқылы өтетін жарықтың поляризациясының өзгеруін өлшейді. Поляриметриялық датчиктердің мысалдарына поляризацияны қолдайтын талшықтар мен поляриметриялық интерферометрлер жатады.

4. Комбинациялық шашырау сенсорлары: бұл сенсорлар талшықты-оптикалық кабельдегі температураны немесе деформацияны өлшеу үшін комбинациялық шашырау әсерін пайдаланады. Бұл әдіс температурадан немесе деформациядан туындаған молекулалық тербелістерге байланысты жарық жиілігінің өзгеруін талдауды қамтиды.

5. Таратылған датчиктер: бұл датчиктер тек жеке нүктелерде емес, талшықты-оптикалық кабельдің бүкіл ұзындығы бойынша өлшеуді қамтамасыз етеді. Таратылған датчиктердің мысалдарына Бриллюеннің шашырау датчиктері мен Рэлейдің шашырау датчиктері жатады.

6. Химиялық датчиктер: бұл датчиктер үлгідегі белгілі бір химиялық қосылыстардың концентрациясын өлшеуге арналған. Оларды қоршаған ортаны бақылау және биомедициналық зондтауды қоса алғанда, көптеген қосымшаларда қолдануға болады.

Жалпы, талшықты-оптикалық сенсордың түрін таңдау нақты қолдануға

және өлшенетін физикалық параметрге байланысты. Сенсордың әр түрінің өзіндік артықшылықтары мен шектеулері бар және берілген қолдану үшін сенсордың ең қолайлы түрін таңдау үшін мұқият қарау қажет[3].

1.4 Айналарды пайдаланатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорлар саласындағы соңғы әзірлемелер

Айналарды пайдаланатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорлар соңғы жылдары жоғары сезімталдығы, ақтам өлшемдері және оптикалық талшықтармен біріктірудің қарапайымдылығы арқасында көбірек назар аударуда. Соңғы бірнеше әзірлемелер осы датчиктердің өнімділігі мен сенімділігін арттыруға, сондай-ақ олардың ауқымын кеңейтуге бағытталған.

Маңызды әзірлемелердің бірі-торлы резонатордың өнімділігін жақсарту үшін жаңа материалдар мен өндіріс технологияларын пайдалану. Мысалы, зерттеушілер сенсордың сезімталдығы мен тұрақтылығының жоғарылауына әкелетін жоғары сапалы торлы резонаторларды жасау үшін полимерлі материалдарды пайдаланды. Басқа зерттеушілер резонанстық жиілікті және резонатордың мод құрылымын жақсы басқаруға мүмкіндік беретін торлы резонаторлардың неғұрлым күрделі және дәл конструкцияларын жасау үшін микро және наноөндіріс әдістерін қолданды.

Жақында жасалған тағы бір даму - торлы резонатор дизайнында айналардың әртүрлі түрлерін пайдалану. Мысалы, зерттеушілер сенсордың спектрлік өнімділігін жақсарту үшін дәстүрлі диэлектрлік айналардың орнына таратылған Брэгг рефлекторларын (DBRs) пайдаланды. DBR кеңірек шағылысу жолағын және жоғары шағылыстыруды қамтамасыз етеді, бұл жарықты резонаторға тиімдірек бағыттауға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, соңғы әзірлемелер физикалық және химиялық параметрлердің кең ауқымын өлшеу үшін торлы резонаторды платформа ретінде пайдалануға бағытталған. Мысалы, зерттеушілер температураны, қысымды және деформацияны, сондай-ақ химиялық және биологиялық талдаушыларды анықтау үшін торлы резонаторларды әзірледі. Бұл сенсорлар қоршаған ортаны бақылау, денсаулық сақтау және өндірістік процестерді басқару сияқты салаларда әлеуетті қолданбаларға ие.

Тұтастай алғанда, айналарды пайдаланатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорлардың соңғы технологиялары осы сенсорлардың мүмкіндіктері мен потенциалды қолданбаларын кеңейтті, бұл оларды зондтау қолданбаларының кең ауқымы үшін перспективалы технологияға айналдырды.

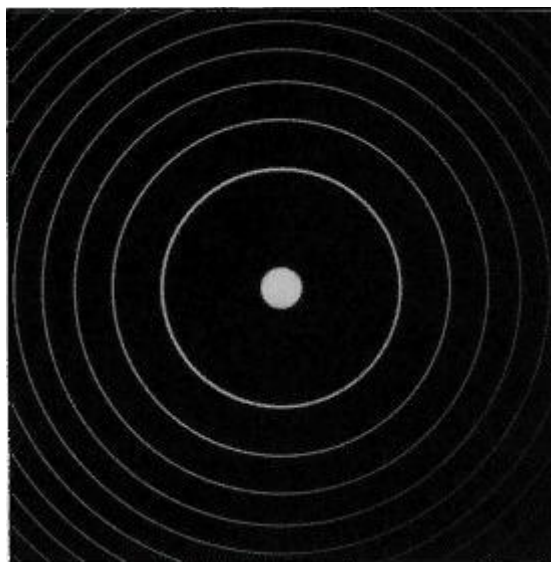
1.5 Әртүрлі талшықты-оптикалық сенсорлық технологиялардың салыстырмалы талдауы

Талшықты-оптикалық датчиктер дәстүрлі датчиктерге қарағанда көптеген артықшылықтарының арқасында кеңінен қолданылады, мысалы, электромагниттік кедергілерге қарсы төзімділік, жоғары сезімталдық және сигнал сапасының нашарлауынсыз деректерді алыс қашықтыққа жіберу мүмкіндігі. Төменде талшықты-оптикалық сенсорлардың әртүрлі технологияларының салыстырмалы талдауы берілген:

Фабри-Перо интерферометрі (FP) датчиктері: FPI датчиктері екі айна арасындағы талшықты қуысты пайдаланады, бұл оптикалық жол ұзындығының өзгеруін анықтау үшін талдауға болатын интерференция үлгісін жасайды. FPI сенсорлары жоғары сезімталдыққа ие, бірақ олар дәл туралау қажеттілігімен және температура мен қысымның өзгеруіне сезімталдықпен шектеледі.

Фабри-Перо интерферометрі бірнеше сәулелердің интерференциясын қолданады және қарапайым түрінде мөлдір, жоғары шағылысатын жабындары бар екі параллель беттерден тұрады. Егер беттер арасындағы қашықтық бекітілген болса, онда бұл құрылғы әдетте Фабри-Перо стандарты деп аталады[11].

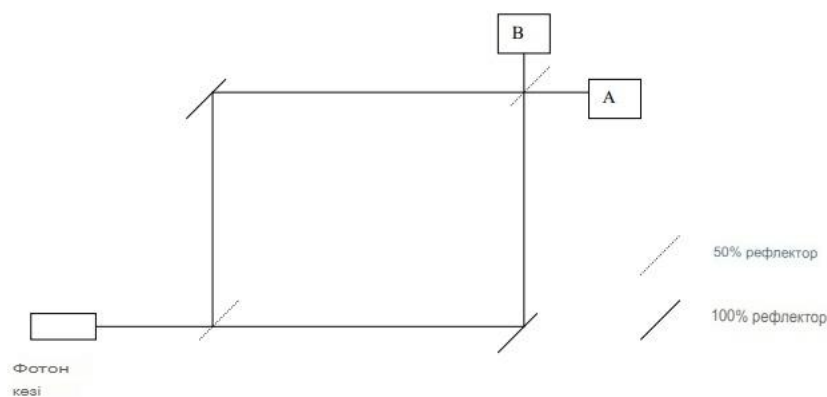
Монохроматикалық жарық көзін пайдаланған кезде, өткен жарықта байқалған кедергі үлгісі 1.1-суретте көрсетілгендей болады, бірнеше жарық сәулелері арасындағы құрылымдық кедергі жағдайына сәйкес келетін тар концентрлі сақиналардан (тең көлбеу фрингтер) тұрады. Бұл фрингтер Фабри-Перо стандартының екі беті арасында алға-артқа шағылысатын жарық толқындары арасындағы интерференциядан туындайды.



1.1-сурет – Фабри Перо интерферометрі

Мах-Цендер интерферометрі (1.2-сурет) - жарық амплитудасын бөлу арқылы интерференцияны көрсететін құрылғы. Ол екі сәуле бөлгіштен және

жарық көзінен тұрады. Жарық сәулесі алдымен бірінші бөлгішпен екіге бөлінеді, содан кейін екінші бөлгішпен қайтадан біріктіріледі. Екінші бөлгіш сәуленің екі жолмен алынған фазалық ығысуына байланысты тиімділігі 0-ден 100% - ға дейін сәулені көрсетеді.



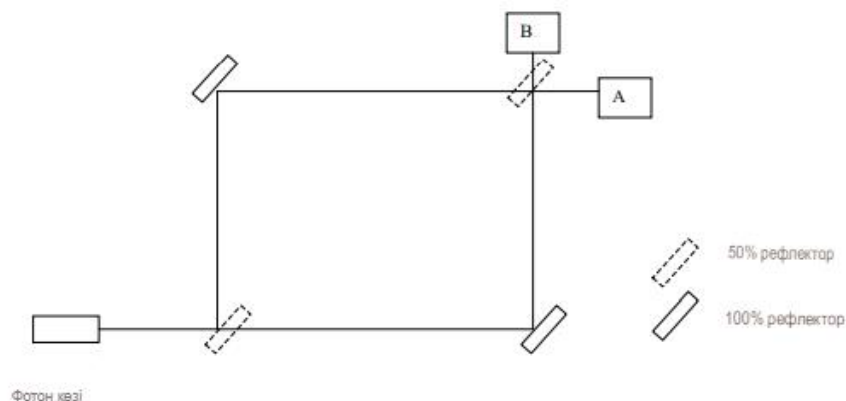
1.2-сурет – Мах-Цендер интерферометрі

Бір қарағанда, Мах-Цендер интерферометріндегі кедергі екі жол арасындағы интерференцияға байланысты болып көрінуі мүмкін. Алайда, мұқият тексергенде, рефлексия кезіндегі фазалық ауысулар оның жұмысында маңызды рөл атқаратыны белгілі болады[2].

Әр жолдағы фотонның фазасы толқын ұзындығына бөлінген жолдың ұзындығына байланысты, 2π -ге көбейтіледі. Егер екі жолдың ұзындығы бірдей болса, фазалар тең болады және конструктивті интерференцияны қай жол көрсететіні белгісіз. Жағдай екі детекторға қатысты симметриялы, ал егер бір жол конструктивті интерференцияға мүмкіндік берсе, екінші жол да жасайды. Сол сияқты, егер бір жол деструктивті интерференцияны бастан кешірсе, онда басқа жол да болады. Бұл энергияны сақтау заңын бұзады.

Мах-Цендер интерферометрінің жұмысын түсінудің кілті-шағылысу кезіндегі фазалық ауысулар. Толқын төменнен жоғары сыну көрсеткішіне ауысудан шағылысқанда, ол π -ге фазалық ығысуды алады, ал жоғарыдан төмен сыну көрсеткішіне өту кезінде фазалық ығысу болмайды. Бұл құбылыс физикада жақсы белгілі. Интерферометрдегі сәулелік бөлгіштер алдыңғы бетінде қапталған шыныдан жасалған. Фотон артқы жағындағы бөлгішке жақындағанда, ол алдымен әйнекке енеді және әйнектің ішіндегі жабыннан шағылысудың 50% мүмкіндігі бар. Маңыздысы, бұл рефлексия фазалық өзгерісті тудырмайды.

Екі жолдағы фазалық ығысуларды (1.3-сурет) қарастыра отырып, жол ұзындығының айырмашылығы жолдар арасындағы фазалық айырмашылыққа әкелетіні анық. Бұл фазалық айырмашылық детекторларда байқалатын кедергі үлгісін анықтайды. Фазалық айырмашылық нөлге тең болғанда, бір жолда конструктивті кедергі, ал екінші жолда деструктивті кедергі болады. Фазалық айырмашылықты өзгерту арқылы фотонның белгілі бір детекторға 0-ден 1-ге дейін жету ықтималдығын өзгертуге болады[3].



1.3-сурет – Мах - Цендер интерферометр диаграммасының неғұрлым күрделі нұсқасы

Мах-Цендер интерферометрі интерференция принциптері мен шағылысу кезіндегі фазалық ығысулар негізінде жұмыс істейді. Шағылыстың екі түрінің арасындағы айырмашылықты түсіну - жоғарыдан төменге және төменнен жоғары сыну көрсеткішіне дейін - оның жұмысын түсінудің кілті болып табылады[12].

Брэгг торы (FBG) сенсорлары: FBG сенсорлары жарықтың белгілі бір толқын ұзындығын көрсететін талшық торын пайдаланады. Температураның, қысымның немесе деформацияның өзгеруі шағылысқан толқын ұзындығының ығысуына әкеледі, бұл өзгерістің шамасын өлшеуге мүмкіндік береді. FBG сенсорлары сенімді және мультиплексирленуі мүмкін, бірақ олардың сезімталдығы FPI сенсорларына карағанда төмен.

Брэгг торы сенсоры (1.4-сурет) - температура, кернеу, деформация және қысым сияқты әртүрлі параметрлерді өлшеу үшін Брэгг торлары бар оптикалық талшықтарды пайдаланатын құрылғы.



1.4-сурет – Брэгг торының құрылымы

Брэгг торы - белгілі бір аралықтарда материалдың сыну көрсеткішін өзгерту арқылы жасалатын оптикалық талшықтың сыну көрсеткішінің мерзімді модификациясы. "Тор периодтары" деп аталатын бұл аралықтар жарықтың белгілі бір толқын ұзындығын көрсететін кедергі құрылымын жасайды. Температура немесе деформация сияқты сыртқы әсерлерді қолдану тор кезеңдерін, демек, тор шағылысқан жарықтың толқын ұзындығын өзгертеді.

Брэгг торының сенсоры жарықтың шағылған толқын ұзындығының ығысуын өлшеу және әсер ету шамасын анықтау үшін ығысуды талдау арқылы жұмыс істейді. Өлшеу спектрлік өлшеуді немесе интерферометрияны қоса алғанда, әртүрлі әдістерді қолдану арқылы жүзеге асырылуы мүмкін.

Брэгг тор сенсорларының артықшылықтары олардың жоғары сезімталдығын, тұрақтылығын және температура мен қоршаған орта жағдайларының кең ауқымында жұмыс істеу мүмкіндігін қамтиды. Олар әртүрлі салаларда, соның ішінде ғылым, инженерия, медицина және өнеркәсіпте кеңінен қолданылады, мұнда әртүрлі параметрлерді дәл өлшеу және бақылау қажет.

Жарықтың комбинациялық шашырауына (DTS) негізделген таратылған температура сенсорлары: DTS сенсорлары талшық бойындағы температураның өзгеруін анықтау үшін жарықтың комбинациялық шашырау әсерін пайдаланады. Жарықтың комбинациялық шашырауына негізделген DTS сенсорлары температураны ұзақ қашықтықта өлшей алады және электромагниттік кедергілерге қарсы төзімділікке ие, бірақ олардың сезімталдығы шектеулі және ұзақ өлшеу уақытын қажет етеді[2].

Интерферометриялық датчиктер (IS): IS датчиктері температураның, қысымның немесе басқа параметрлердің өзгеруін анықтау үшін екі немесе одан да көп жарық сәулелерінің кедергісі нәтижесінде пайда болатын интерференциялық үлгілерді пайдаланады. IS сенсорлары жоғары сезімталдыққа ие болуы мүмкін, бірақ олар әдетте төмен өлшеу жылдамдығымен шектеледі.

Интерферометриялық сенсорлар - жарық кедергісі принципіне негізделген сенсорлардың бір түрі. Олар ұзындық, позиция, деформация, жылдамдық немесе қарқындылық сияқты физикалық шамаларды өлшеу үшін екі немесе одан да көп жарық толқындары арасындағы кедергіні пайдаланады.

Интерферометриялық датчиктердің жұмыс істеу принципі зерттелетін объект жасаған жарық толқындарының бөлінуіне және қайта қосылуына негізделген. Әдетте, когерентті жарық толқындарын шығаратын кедергі жасау үшін лазерлік жарық көзі қолданылады. Бұл толқындар айналар, мөлдір пластиналар немесе интерферометрлер сияқты әртүрлі оптикалық элементтер арқылы өтіп, зерттелетін объектімен әрекеттеседі[8].

Жарық толқындары кедергі жасағанда, детекторда интерференциялық үлгінің пайда болуына әкелетін көлденең толқындық әрекеттесу пайда болады. Осы кедергі үлгісіндегі өзгерістерді өлшеу өлшегіңіз келетін мөлшерді анықтауға мүмкіндік береді.

Интерферометриялық датчиктер жоғары сезімталдық пен өлшеу дәлдігіне, сондай-ақ кең ауқымды жағдайларда және әртүрлі физикалық шамалар үшін жұмыс істеу мүмкіндігіне ие. Олар әртүрлі салаларда, соның ішінде ғылымда,

өнеркәсіпте, медицинада және оптикалық технологияда ұзындық, деформация, діріл, температура және қысым сияқты параметрлерді өлшеу үшін қолданылады.

Поляриметриялық сенсорлар (PS): PS сенсорлары қысым, температура немесе деформация сияқты сыртқы тітіркендіргіштерден туындаған жарықтың поляризация күйіндегі өзгерістерді өлшейді. PS сенсорлары электромагниттік кедергілерге қарсы төзімділікке ие және оларды мультиплекстеуге болады, бірақ олар төмен сезімталдықпен шектеледі.

Поляриметриялық сенсорлар - жарықтың поляризациясын өлшейтін және талдайтын сенсорлардың бір түрі. Жарықтың поляризациясы - кеңістіктегі жарық толқынының электр өрісінің тербелістерінің бағдарлануы[5].

Поляриметриялық датчиктер жарықтың поляризация күйін өлшеу және талдау үшін қолданылады, ол жарықтың зерттелетін объектімен немесе ортамен әрекеттесуіне байланысты өзгеруі мүмкін. Бұл сенсорлар әртүрлі принциптерге негізделуі мүмкін, соның ішінде жарықтың поляризациясының қарқындылығының, фазасының немесе бағдарының өзгеруін талдау.

Поляриметриялық датчиктердің қолданбалы салаларына материалдардың оптикалық қасиеттерін өлшеу, кернеулерді немесе деформацияларды анықтау және талдау, заттардың оптикалық белсенділігін зерттеу, биологиялық үлгілерді талдау, сапаны бақылау және басқа қолданбалар жатады. Олар сондай-ақ оптикалық байланыста, биомедициналық диагностикада, оптикалық микроскопияда және жарықтың поляризациясы туралы ақпарат маңызды болатын басқа салаларда кеңінен қолданылады.

Поляриметриялық датчиктер жарықтың поляризация параметрлерін өлшеуді және талдауды қамтамасыз ететін поляризациялық сүзгілер, поляризациялық бөлгіш айналар, пластиналар, интерферометрлер және детекторлар сияқты әртүрлі оптикалық компоненттердің көмегімен жүзеге асырылуы мүмкін[6].

Тұтастай алғанда, талшықты-оптикалық сенсорлық технологияны таңдау нақты қолдану талаптарына, соның ішінде қажетті сезімталдыққа, өлшеу жылдамдығына, қашықтыққа және қоршаған орта жағдайларына байланысты.

2 Сенсорды жобалау және өндіру

2.1 Датчиктерді жобалау туралы ойлар

Айналарды қолданатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсордың дизайны оның оңтайлы өнімділігі мен сенімділігін қамтамасыз ету үшін бірнеше факторларды ескеруі керек. Дизайн туралы кейбір негізгі ойлар:

Резонатор геометриясы:

Тордағы ілмектердің ұзындығы мен саны сияқты резонатор геометриясы сенсордың сезімталдығына, динамикалық диапазонына және шу өнімділігіне әсер етуі мүмкін. Резонатор кіріс және шығыс талшықтары арасындағы оңтайлы байланысты қамтамасыз ететін және иілу немесе талшық деформациясының басқа түрлерінен болатын шығындарды азайтатын етіп жасалуы керек.

Айна таңдау:

Резонаторда қолданылатын айналар энергия шығынын азайту және резонатордың сапасын жақсарту үшін жоғары шағылыстыруға және сіңірудің төмен шығынына ие болуы керек. Айна материалы жоғары термиялық және механикалық тұрақтылықты, сондай-ақ ылғалдылық, температура және діріл сияқты қоршаған орта факторларына төзімділікті қамтамасыз ететін етіп таңдалуы керек.

Лазерді таңдау:

Резонаторды қоздыру үшін қолданылатын лазер оңтайлы байланыс пен резонанс жағдайларын қамтамасыз ету үшін сәйкес толқын ұзындығына, қуатқа және тұрақтылыққа ие болуы керек. Резонатордың жауабына кедергі келтірмеу үшін лазер көзінде шу деңгейі төмен болуы керек.

Оптикалық компоненттер:

Сенсордың дизайны байланыс, беріліс және шу өнімділігін оңтайландыру үшін талшықты бөлгіштер, сәулелік бөлгіштер және оқшаулағыштар сияқты әртүрлі оптикалық компоненттерді таңдау мен орналастыруды ескеруі керек.

Орау және орнату:

Датчик талшық пен басқа құрамдас бөліктерге механикалық және термиялық кернеуді азайтатындай етіп оралып, орнатылуы керек. Қаптама қоршаған ортаны қорғауды және сынақ пен техникалық қызмет көрсету үшін қолжетімділікті қамтамасыз етуі керек.

Оқу және сигналды өңдеу:

Датчик конструкциясы сигнал-шу арақатынасын оңтайландыру және қоршаған орта мен зондтау электроникасының шу әсерін азайту үшін фотодетекторлар, күшейткіштер және сүзгілер сияқты қабылдау және сигнал өңдеу компоненттерін таңдау мен орналастыруды қарастыруы керек[12].

Осылайша, айналарды пайдаланатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорға арналған конструктивті ойлар қоршаған орта факторлары мен басқа шу мен кедергі көздеріне қарсы оңтайлы өнімділікті, тұрақтылық пен сенімділікті қамтамасыз ету үшін әртүрлі компоненттер мен

параметрлерді мұқият таңдауды және орналастыруды қамтиды.

2.2 Датчик материалын таңдау

Айналарды қолданатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорға арналған материалдарды таңдау оңтайлы өнімділікке, сенімділікке және беріктікке қол жеткізу үшін өте маңызды. Кейбір негізгі материалдық жиынтықтар:

1. Талшықты оптика:

Бірмодалы немесе көпмодалы талшықтар сияқты талшықты-оптикалық материалды таңдау және оның мод өрісінің диаметрі байланыс тиімділігіне, беріліс шығынына және сенсордың сигнал/шу қатынасына әсер етуі мүмкін. Сондай-ақ, талшық иілу мен микрофлексте төмен шығынға, сондай-ақ жоғары механикалық және термиялық тұрақтылыққа ие болуы керек.

2. Айналар:

Айна материалы жоғары шағылыстыруға және сіңірудің төмен шығынына ие болуы керек, сонымен қатар температура, ылғалдылық және діріл сияқты қоршаған орта факторларына төзімді болуы керек. Талшықты-оптикалық датчиктерде айна жасау үшін қолданылатын жалпы материалдарға диэлектрлік жабындар, металл жабындар және талшықты Брэгг торлары жатады.

3. Лазер көзі:

Лазер көзі тұрақты шығыс қуатына, төмен шуға және резонаторға сәйкес толқын ұзындығына ие болуы керек және температура мен ылғалдылық сияқты қоршаған орта факторларына төзімді болуы керек. Талшықты-оптикалық сенсорларға арналған жалпы лазерлік көздерге жартылай өткізгіш лазерлер, талшықты лазерлер және қатты күйдегі лазерлер жатады.

4. Орау:

Қаптама материалы механикалық және термиялық тұрақты болуы керек және ылғал, шаң және діріл сияқты қоршаған орта факторларынан қорғауды қамтамасыз етуі керек. Талшықты-оптикалық датчиктерге арналған кең таралған орау материалдарына тот баспайтын болат, алюминий және эпоксид жатады.

5. Желімдер:

Датчик компоненттерін орнату және желімдеу үшін қолданылатын желімдер механикалық және термиялық тұрақты болуы керек, сонымен қатар газдың бөлінуі мен бу өткізгіштігі төмен болуы керек. Талшықты-оптикалық сенсорларда қолданылатын қарапайым желімдерге эпоксидті, цианакрилатты және ультракүлгін сәулелермен қатайтылатын желімдер жатады.

6. Жабын:

Жарықты қорғау, оқшаулау немесе блоктау үшін қолданылатын жабындар механикалық және термиялық тұрақты болуы керек, сонымен қатар сіңуі төмен және шағылысу шығыны төмен болуы керек. Талшықты-оптикалық сенсорларда қолданылатын жалпы жабындарға кремний диоксиді, алюминий және полимерлі жабындар жатады[9].

Осылайша, айналарды қолданатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорға арналған материалдарды таңдағанда, материалдардың механикалық, жылу және оптикалық қасиеттерін, сондай-ақ олардың сенсордың басқа компоненттерімен және қоршаған орта жағдайларымен үйлесімділігін ескеру қажет.

2.3 Датчикті жасау және құрастыру

Айналарды пайдалана отырып, торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорды жасау және құрастыру оңтайлы өнімділік пен сенімділікті қамтамасыз ету үшін компоненттерді дәл және мұқият өңдеуді қажет етеді. Мұнда өндіріс пен құрастыру процесінің бірнеше негізгі қадамдары берілген:

Талшықты-оптикалық талшықты біріктіру:

Оптикалық қуаттың жоғалуын азайту үшін лазерлік көз, айна және талшықты-оптикалық қосқыш сияқты талшықты-оптикалық компоненттерді тиісті термоядролық немесе механикалық біріктіру әдістерімен біріктіру және қосу қажет. Байыту параметрлері (ұнтақтау уақыты, ұсақтауға дейін, реагенттік режимдер, флотациялау уақыты) вницветметтің стандартты зертханалық жабдықтарында пысықталды.

Айналарды орнату:

Айналар дәл тураланып, жоғары шағылысу мен төмен шығынға қол жеткізу үшін жоғары дәлдіктегі құрылғылар мен желімдермен талшықтардың ұштарына немесе қосылыстарға орнатылуы керек.

Қаптама және корпус:

Жиналған талшықты-оптикалық компоненттер қоршаған ортаға зиян келтірмеу және ұзақ мерзімді тұрақтылықты қамтамасыз ету үшін металл немесе пластик корпус сияқты қорғаныс және тұрақты ортаға салынып, орналастырылуы керек.

Тестілеу және калибрлеу:

Айналарды қолданатын торлы резонаторы бар өндірілген және жиналған талшықты-оптикалық лазерлік сенсорды қоршаған ортаның әртүрлі жағдайлары мен сигнал диапазоңдарында оның сезімталдығы, дәлдігі мен сенімділігі үшін сынау және калибрлеу қажет.

Сапаны бақылау:

Айналарды пайдалана отырып, торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорды жасау және құрастыру процесі тұрақты және жоғары сапалы өнімді қамтамасыз ету үшін ISO сертификаты сияқты қатаң сапаны бақылау шараларына ұшырауы керек [18].

Осылайша, айналарды пайдалана отырып, торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорды жасау және құрастыру оңтайлы өнімділікті, сенімділік пен беріктікті қамтамасыз ету үшін арнайы дағдыларды, жабдықты және сапаны бақылау шараларын қажет етеді.

2.4 Датчиктерді тестілеу және валидация

Айналарды пайдалана отырып, торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорды тестілеу және тексеру сенсордың дұрыс жұмыс істеп тұрғанына және дәл және сенімді нәтижелерді бере алатынына көз жеткізу үшін әзірлеу процесінің шешуші қадамы болып табылады. Тестілеу мен валидация процесінің бірнеше негізгі қадамдары:

Калибрлеу:

Сенсордың шығыс сигналы өлшенетін физикалық шамаға дәл сәйкес келуін қамтамасыз ету үшін сенсорды тиісті калибрлеу жүйесі арқылы калибрлеу қажет.

Экологиялық тестілеу:

Сенсорды әртүрлі жағдайларда оның өнімділігі мен сенімділігін бағалау үшін температура мен ылғалдылық сияқты әртүрлі қоршаған орта жағдайларында сынау керек.

Өнімділікті тексеру:

Сенсордың өнімділігі оның сезімталдығын, дәлдігі мен сызықтығын анықтау үшін әртүрлі сигнал деңгейлерінде, жиіліктерде және динамикалық диапазондарда тексерілуі керек.

Кедергілерді тексеру:

Датчик сыртқы электромагниттік кедергілерге сезімталдығы және басқа датчиктердің немесе электр жабдықтарының айқаспалы иммунитеті үшін тексерілуі керек.

Ұзақ мерзімді тұрақтылықты тестілеу:

Сенсорды оның ұзақ мерзімді тұрақтылығы мен дрейфі үшін сынау керек, бұл уақыт өте келе сенсор шығысының дәлдігі мен сенімділігіне әсер етуі мүмкін.

Статистикалық талдау:

Сенсорды сынау нәтижесінде жиналған деректер сенсордың өнімділігін бағалау және кез келген ауытқуларды немесе ауытқуларды анықтау үшін тиісті статистикалық әдістерді қолдану арқылы талдануы керек[7].

Осылайша, айналарды пайдалана отырып, торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорды сынау және тексеру сенсордың дұрыс жұмыс істеп тұрғанын және дәл және сенімді нәтижелер бере алатынын қамтамасыз ету үшін әзірлеу процесінің маңызды қадамы болып табылады. Тестілеу және тексеру процесі қатаң болуы керек, оның ішінде калибрлеу, қоршаған ортаны тексеру, өнімділікті тексеру, кедергілерді тексеру, ұзақ мерзімді тұрақтылықты тексеру және статистикалық талдау.

2.5 Сенсордың сезімталдығы мен дәлдігін бағалау

Айналарды пайдаланатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсордың сезімталдығы мен дәлдігі оның өнімділігін анықтайтын

маңызды параметрлер болып табылады. Сенсордың сезімталдығы мен дәлдігін бағалауға арналған бірнеше негізгі құрылымдар:

Сезімталдық:

Сенсордың сезімталдығы-өлшенетін шаманың (өлшенетін физикалық параметрдің) берілген өзгерісі кезінде шығыс сигналының өзгеруі. Бұл шығарылым көлемінің өзгеруінің кіріс көлемінің өзгеруіне қатынасы ретінде көрсетілуі мүмкін.

Сенсордың сезімталдығын бағалау үшін оны бірқатар кіріс сигналдарына ұшыратып, тиісті шығыс сигналдарын өлшеуге болады. Содан кейін сезімталдықты кіріс-шығыс деректері арқылы ең жақсы сәйкестік сызығының көлбеуі ретінде есептеуге болады.

Дәлдік:

Датчиктің дәлдігі-бұл датчиктің шығысы өлшенетін шаманың шынайы мәніне қаншалықты сәйкес келетіндігінің көрсеткіші. Мұны сенсордың шығысы мен өлшенетін шаманың шынайы мәні арасындағы айырмашылық ретінде көрсетуге болады.

Сенсордың дәлдігін бағалау үшін оны белгілі стандартпен немесе анықтамалық өлшеу құрылғысымен салыстыруға болады. Сенсордың шығысы мен белгілі мән арасындағы айырмашылықты қате ретінде есептеуге болады, ал дәлдікті сенсор шкаласының толық диапазонының пайызымен көрсетуге болады[8].

Қайталану және репродуктивтілік:

Қайталану дегеніміз-бір кіріс сигналын қайта қолданған кезде сенсордың шығыс сигналының өзгеруі, ал қайталану - кіріс сигналы өзгерген кезде сенсордың шығыс сигналының өзгеруі, содан кейін бастапқы мәнге оралу.

Сенсордың қайталануын бағалау үшін оны әр түрлі кіріс мәндерінде бірнеше рет өлшеуге болады және шығыстың өзгеруін есептеуге болады[2]

Осылайша, айналарды пайдаланатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсордың сезімталдығы мен дәлдігін сенсорды бірқатар кіріс сигналдарына ұшырату, оның шығыс сигналын белгілі стандартты немесе анықтамалық өлшеу құрылғысымен салыстыру және қайталануға байланысты шығыс сигналының өзгеруін өлшеу арқылы бағалауға болады.

2.6 Сенсор өнімділігін басқа талшықты-оптикалық сенсорлық технологиялармен салыстыру

Айналарды пайдаланатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік датчиктер басқа талшықты-оптикалық сенсорлық технологияларға карағанда бірқатар артықшылықтарға ие, мысалы, Фабри-Перо және Мах-Цендер интерферометрлері. Торлы резонатор сенсорларының кейбір артықшылықтарына мыналар жатады:

1. Жақсартылған сезімталдық: торлы резонатор сенсорлары лазерлік сәулелену мен сезімтал элемент арасындағы өзара әрекеттесуді жақсартатын

резонатор қуысының жоғары нақтылануының арқасында жақсартылған сезімталдыққа ие.

2. Жоғары ажыратымдылық: айналары бар торлы резонаторды пайдалану өлшеу кезінде дәлдікті қамтамасыз ете отырып, жоғары ажыратымдылықтағы өлшемдерді қамтамасыз етеді.

3. Үлкен тұрақтылық: торлы резонатордың дизайны температураның өзгеруі және механикалық жүктемелер сияқты қоршаған орта факторлары әсер етуі мүмкін талшықты қосқыштардың орнына айналарды қолданудың арқасында басқа талшықты-оптикалық датчиктерге қарағанда тұрақты.

4. Төмен қуат тұтыну: сыртқы қуат көзін қажет етпейтін пассивті резонаторлық резонаторды пайдаланудың арқасында торлы резонаторлық датчиктер басқа талшықты-оптикалық датчиктерге қарағанда жұмыс істеу үшін аз энергияны қажет етеді.

5. Беріктілік: торлы резонатордың дизайны неғұрлым берік және дірілдің немесе басқа механикалық әсерлердің зақымдалуына бейім емес, бұл оны қатал ортада қолдануға өте ыңғайлы етеді [15].

Осы артықшылықтарға қарамастан, торлы резонаторлы сенсорлардың кейбір шектеулері бар, мысалы, өлшеудің тар диапазоны және күрделі өндіріс процесі. Басқа талшықты-оптикалық сенсорлық технологиялармен салыстырғанда, торлы резонаторлық сенсорлар тұрақтылық, ажыратымдылық және сезімталдық маңызды факторлар болып табылатын жоғары дәлдіктегі төмен шу өлшемдеріне қолайлы.

2.7 Шектеулерді анықтау және болашақта жетілдіру бағыттары

Сенсордың сезімталдығы мен дәлдігін бағалағаннан кейін болашақ жақсартулар үшін кез келген шектеулер мен аймақтарды анықтау маңызды. Айналарды пайдаланатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорларда кездесетін кейбір жалпы шектеулерге мыналар жатады:

Температураға сезімталдық:

Температураның өзгеруі сенсордың жұмысына әсер етуі мүмкін, бұл сенсор шығысының ауытқуына немесе тұрақсыздығына әкелуі мүмкін. Бұл сенсор кең температура диапазонында жұмыс істеуі керек белгілі бір қолданбалар үшін үлкен шектеу болуы мүмкін. Ықтимал шешімдердің бірі-температураның өзгеруінің сенсордың шығуына әсерін азайту үшін температураны өтеу әдістерін қолдану.

Айқас сезімталдық:

Сенсордың шығысына ылғалдылық, қысым немесе діріл сияқты басқа қоршаған орта факторлары әсер етуі мүмкін. Бұл кросс-сезімталдыққа әкелуі мүмкін және өлшеу қателіктеріне әкелуі мүмкін. Ықтимал шешімдердің бірі-айқас сезімталдық әсерлерін сүзу үшін сигналдарды өңдеу әдістерін қолдану.

Өндірістік рұқсаттар:

Сенсордың өнімділігі сенсордың сезімталдығы мен дәлдігінің өзгеруіне

әжелуі мүмкін өндірістік төзімділікке сезімтал болуы мүмкін. Мұны сапаны мұқият бақылау және калибрлеу процедуралары арқылы жоюға болады.

Туралау:

Датчиктің өнімділігі оптикалық компоненттердің туралануына сезімтал болуы мүмкін, оны ұзақ уақыт пайдалану қиын болуы мүмкін. Үқтимал шешімдердің бірі-автоматты туралау әдістерін немесе өзін-өзі реттейтін сенсорды пайдалану.

Болашақ жақсартулардың бағыттары мыналарды қамтуы мүмкін:

Миниатюризация:

Қолданудың кең ауқымында қолдануға болатын кішірек және ықшам датчиктерді әзірлеу.

Интеграция:

Датчиктің сигналдарды өңдеу және байланыс жүйелері сияқты басқа компоненттермен интеграциясын жан-жақты өлшеу шешімін ұсынады.

Сезімталдық:

Өлшенетін шамадағы кішігірім өзгерістерді анықтау үшін сенсордың сезімталдығын арттыру.

Көп параметрлі зондтау:

Өлшеу жүйесінің тиімділігі мен дәлдігін арттыра алатын бір сенсормен бір уақытта бірнеше параметрлерді өлшей алатын сенсорларды әзірлеу[17].

Болашақ жақсартулардың шектеулері мен бағыттарын анықтай отырып, осы қиындықтарды жеңу және айналарды қолдана отырып, торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорлардың өнімділігін арттыру стратегияларын жасауға болады.

3 Сенсордың өнімділігін зерттеу

1. Айналарды пайдаланатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсордың өнімділігін есептеу үшін резонатордың ұзындығы, айнаның шағылысуы және резонатордың жоғалуы сияқты әртүрлі параметрлерді ескеру қажет. Төменде айналарды қолданатын торлы резонаторы бар гипотетикалық талшықты-оптикалық лазерлік сенсорды есептеу мысалы келтірілген:

Датчиктің резонаторының ұзындығы 1 см деп есептесек, әр айнаның шағылысу қабілеті 99,9% құрайды, ал резонатордың жоғалуы 1% құрайды, резонатордың мөлдірлігін (F) келесідей есептеуге болады:

$$F = \pi \frac{\sqrt{R_1 R_2}}{1 - R_1 R_2}, \quad (3.1)$$

мұндағы R_1 және R_2 - екі айнаның шағылысулары. Берілген мәндерді ауыстырып, аламыз:

$$F = \frac{\pi \sqrt{0.999 * 0.999}}{(1 - 0.999 * 0.999)} = 6366,$$

Мөлдірлік-бұл резонатордың спектрлік ажыратымдылығының өлшемі және резонатордың ұзындығымен және шағылысуымен байланысты. Жоғары дәлдік спектрлік ажыратымдылықтың жақсарғанын көрсетеді.

Резонатордың бос спектрлік диапазоны (FSR), ол екі іргелес резонанстық жиіліктер арасындағы қашықтықты есептеуге болады:

$$FSR = \frac{c}{2nL}, \quad (3.2)$$

мұндағы c -жарық жылдамдығы, n -талшық өзегінің сыну көрсеткіші, ал L - қуыстың ұзындығы. Талшық өзегінің сыну көрсеткіші 1,45 деп есептесек, сенсордың FSR -ін келесідей есептеуге болады:

$$FSR = \frac{3 * 10^8}{2 * 1.45 * 0.01} = 1,03 \text{ ГГц},$$

FSR -сенсордың жиіліктің кішігірім ауысуларын шешу қабілетін анықтайтын маңызды параметр.

Мөлдірлік пен FSR -ді бос спектрлік диапазонды (FSR / F) есептеу үшін қолдануға болады, бұл резонатордың резонатор ұзындығының өзгеруіне сезімталдығының өлшемі. FSR / F мәні неғұрлым жоғары болса, резонатор резонатор ұзындығының өзгеруіне соғұрлым сезімтал болады. Берілген нақтылау және FSR мәндері үшін FSR / F келесідей есептелуі мүмкін:

$$\frac{FSR}{F} = \frac{F}{FSR} = \frac{6366}{1.03 * 10^9} = 6.17 * 10^{-6},$$

Бұл сенсордың қуыс ұзындығының өзгеруіне өте сезімтал екенін көрсетеді.

Бұл есептеулер айналарды пайдаланатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсордың әлеуетті өнімділігін көрсетеді және жоғары дәлдік пен FSR /F мәндеріне қол жеткізу үшін резонатордың ұзындығы, айнаның шағылысу қабілеті және резонатордың жоғалуы сияқты параметрлерді оңтайландырудың маңыздылығын көрсетеді.

2. Мұнда айналарды қолданатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорды есептеу мысалы келтірілген:

Талшықты-оптикалық лазерлік сенсордың резонатордың ұзындығы 50 мм және сыну көрсеткіші 1,5 делік. Айнаның шағылысу қабілеті 99%, ал талшықтың Айнаға қосылу тиімділігі 90% құрайды. Қолданылатын лазердің толқын ұзындығы 1550 нм.

Резонатордың мөлдірлігін есептеу үшін келесі формуланы қолдануға болады:

$$F = \frac{\pi * \sqrt{R}}{(1 - R)}, \quad (3.3)$$

мұндағы F-резонатордың мөлдірлігі, ал R-айнадағы шағылысу.

$$F = \frac{\pi * \sqrt{0.99}}{(1 - 0.99)} = 31.42,$$

Әрі қарай, біз резонатордың бос спектрлік диапазонын (FSR) келесі формуланы қолдана отырып есептей аламыз:

$$FSR = c / (2 * n * L), \quad (3.4)$$

мұндағы c-жарық жылдамдығы, n-талшықтың сыну көрсеткіші, ал L - резонатордың ұзындығы.

$$FSR = \frac{3 * 10^8}{2 * 1.5 * 0.05} = 1 \text{ ГГц}$$

Резонатордың жарты максимумындағы (FWHM) толық ені келесі формула бойынша есептелуі мүмкін:

$$FWHM = \frac{FSR}{F}, \quad (3.5)$$

$$FWHM = 1 \frac{\text{ГГц}}{31,42} = 31,8 \text{ МГц}$$

Соңында, біз келесі формуланы қолдана отырып, талшықты-оптикалық лазерлік сенсордың шектеулі сезімталдығын (FLS) есептей аламыз:

$$FLS = (\lambda / \pi) * \sqrt{(P / (h * c * F * FSR))}, \quad (3.6)$$

мұндағы λ -лазердің толқын ұзындығы, P -лазердің қуаты, h -Планк тұрақтысы және c -жарық жылдамдығы.

Лазердің қуаты 10 МВт болса, біз FLS-ті келесідей есептей аламыз:

$$FLS = \left(\frac{1550 * 10^{-9}}{\pi}\right) * \sqrt{\left(\frac{10 * 10^{-3}}{6,626 * 10^{-34} * 3 * 10^8 * 31,42 * 1 * 10^9}\right)}$$

$$FLS = 18,9 \text{ pm} / \sqrt{\text{Гц}}$$

Бұл нәтиже айналарды пайдаланатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсордың деформация, қысым және температура сияқты физикалық параметрлердегі шағын өзгерістерді өлшеу үшін жоғары сезімталдыққа ие екенін көрсетеді.

3. Бізде айналарды қолданатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсор бар делік және оның өнімділігін зерттегіміз келеді. Сенсордың қуысының ұзындығы 10 см және сыну көрсеткіші 1,45 кварц шыныдан жасалған. Айналар 99,9% шағылыстырады, ал лазер 1550 нм толқын ұзындығында жұмыс істейді. Сенсор 1000 микро кернеу жүктемесіне ұшырайды.

Сенсордың өнімділігін зерттеу үшін деформацияға байланысты сенсордың резонанстық жиілігінің өзгеруін есептей аламыз. Резонанстық жиілікті келесі формула бойынша есептеуге болады:

$$f = \frac{c}{2L} * \frac{\sqrt{R1R2}}{\sqrt{(1-R1R2)}}, \quad (3.7)$$

мұндағы: f -резонанстық жиілік, c -жарық жылдамдығы, L -қуыстың ұзындығы, $R1$ және $R2$ -айналардың шағылыстырғыштары.

Берілген мәндерді қолдана отырып, сенсордың резонанстық жиілігін деформациясыз есептей аламыз:

$$f_0 = \frac{3 * \frac{10^8 \text{ м}}{\text{с}}}{(20,1 \text{ м})} * \frac{\sqrt{0.999^2}}{\sqrt{(1 - 0.999^2)}} = 1,885 \text{ ГГц}$$

Енді деформацияға байланысты резонанстық жиіліктің өзгеруін есептеу үшін келесі формуланы қолдануға болады:

$$df/f = -\left(\frac{1}{2}\right) * (dn/n) * (dl/L), \quad (3.8)$$

мұндағы: df / f - резонанстық жиіліктің өзгеруі, dn / n - деформацияға байланысты сыну көрсеткішінің өзгеруі, dl/L - деформацияға байланысты қуыс ұзындығының өзгеруі.

Деформацияға байланысты сыну көрсеткішінің өзгеруін келесі формула бойынша есептеуге болады:

$$dn/n = P11 * \varepsilon, \quad (3.9)$$

мұндағы: $P11$ - кварц әйнегінің тензооптикалық коэффициенті, ε - бұл микродеформациядағы кернеу, ол 1000-ға тең.

$$dn/n = 0.117 * 1000 * 10^{-6} = 1.17 * 10^{-4}$$

Деформацияға байланысты қуыс ұзындығының өзгеруін келесі формула бойынша есептеуге болады:

$$\frac{dl}{L} = -\sigma / E, \quad (3.10)$$

мұндағы: σ - бұл сигма = $\varepsilon * E$ ретінде есептелетін мегапаскальдағы (МПа) кернеу, ε - бұл 1000-ға тең микродеформациядағы деформация, E - кварц шыны үшін Юнг модулі, ол 70 ГПа құрайды. = $1000 * 70 * 10^3 = 70$ МПа.

$$\frac{dl}{L} = -\frac{70 * 10^{-6}}{(70 * 10^9)} = -1 * 10^{-3}$$

Бұл мәндерді резонанстық жиілікті өзгерту формуласына ауыстыру арқылы біз аламыз:

$$df/f = -\left(\frac{1}{2}\right) * (1.17 * 10^{-4} * (-1 * 10^{-3})) = 5.85 * 10^{-8}$$

Демек, деформацияға байланысты сенсордың резонанстық жиілігінің өзгеруі 5,85 Гц құрайды.

Жоғарыда берілген мәнді Matlab модельдеу бағдарламасына салып, жұмыстың графигін аламыз.

Matlab модельдеу бағдарламасына енгізетін симмуляциялау коды:

```
% Орнату нүктелері
L = 0.1;           % Қуыстың ұзындығы (метрмен)
R1 = 0.999;       % Бірінші айнаның шағылысуы
R2 = 0.999;       % Екінші айнаның шағылысуы
c = 3e8;          % Жарық жылдамдығы (м/с)
```

```

P11 = 0.117;          % Кварц шынының деформациялық-оптикалық
коэффициенті
epsilon = 1000;      % Микроштамдардағы стресс
E = 70e9;           % Кварц шынысының Янг модулі (Па)

% Деформациясыз резонанстық жиілікті есептеу
f0 = c / (2 * L) * sqrt(R1 * R2) / sqrt(1 - R1 * R2);

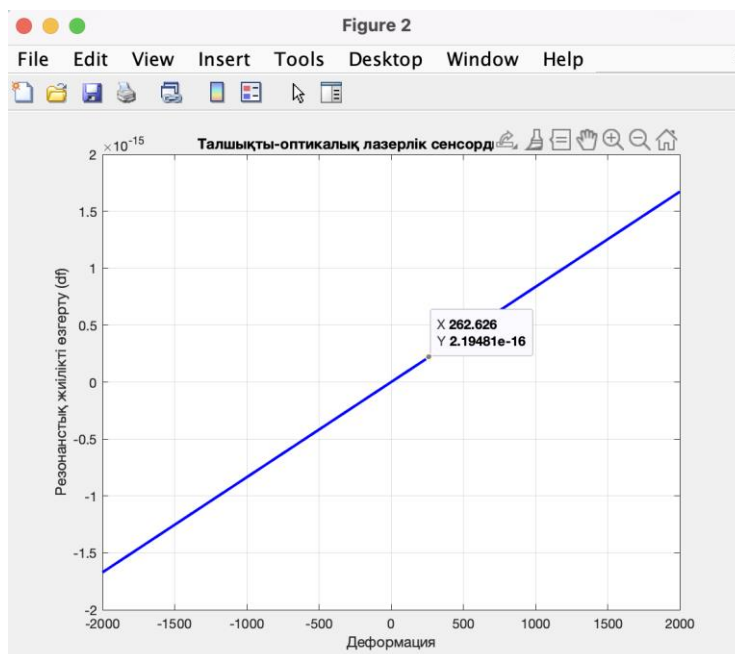
% Деформацияға байланысты резонанстық жиіліктің өзгеруін есептеу
dn_over_n = P11 * epsilon * 1e-6; % Сыну көрсеткішінің өзгеруі (dn/n)
dl_over_L = -epsilon / (E * 1e6); % Қуыстың ұзындығын өзгерту (dl/L)
df_over_f = -0.5 * dn_over_n * dl_over_L; % Резонанстық жиілікті өзгерту (df/f)

% Нәтижелерді шығару
fprintf('Деформациясыз резонанстық жиілік: %.2f ГГц\n', f0 / 1e9);
fprintf('Деформацияға байланысты резонанстық жиіліктің өзгеруі: %.2f Гц\n',
df_over_f);

% Түрлі деформациялармен резонанстық жиіліктің өзгеруін модельдеу
deformation = linspace(-2000, 2000, 100); % Деформация диапазоны
df = df_over_f * deformation; % Резонанстық жиілікті өзгерту (df)

% График құру
figure;
plot(deformation, df, 'b-', 'LineWidth', 2);
xlabel('Деформация');
ylabel('Резонанстық жиілікті өзгерту (df)');
title('Талшықты-оптикалық лазерлік сенсордың өнімділігі');
grid on;
    Симмуляциялау кодының қорытындысын 3.1-суреттегідей график ретінде
аламыз.

```



3.1-сурет – Талшықты-оптикалық лазерлік сенсордың графигі

Бұл мысал айналарды пайдаланатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсордың өнімділігін қалай зерттеуге және есептеуге болатынын көрсетеді. Деформацияға байланысты резонанстық жиіліктің өзгеруі сенсордың сезімталдығын анықтау үшін пайдаланылуы мүмкін және бұл ақпарат сенсордың дизайны мен өндірісін оңтайландыру үшін пайдаланылуы мүмкін.

4 Қолданбалар және болашақ бағыттары

4.1 Айналарды пайдаланатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсордың әлеуетті қолданбаларына шолу

Айналарды пайдаланатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік датчиктер басқа талшықты-оптикалық сенсорлық технологияларға қарағанда бірқатар артықшылықтарға ие, мысалы, Фабри-Перо және Маха-Цендер интерферометрлері. Торлы резонатор сенсорларының кейбір артықшылықтарына мыналар жатады:

1. Лазерлік сәулелену мен сезімтал элемент арасындағы өзара әрекеттесуді жақсартатын резонаторлық қуыстың жоғары нақтылануы.

2. Жоғары жақсартылған сезімталдық: торлы резонатор сенсорлары арқасында жақсартылған сезімталдыққа ие ажыратымдылық: айналары бар торлы резонаторды пайдалану өлшеу кезінде дәлдікті қамтамасыз ете отырып, жоғары ажыратымдылықтағы өлшемдерді қамтамасыз етеді.

3. Үлкен тұрақтылық: торлы резонатордың дизайны температураның өзгеруі және механикалық жүктемелер сияқты қоршаған орта факторлары әсер етуі мүмкін талшықты қосқыштардың орнына айналарды қолданудың арқасында басқа талшықты-оптикалық датчиктерге қарағанда тұрақты.

4. Төмен қуат тұтыну: сыртқы қуат көзін қажет етпейтін пассивті резонаторлық резонаторды пайдаланудың арқасында торлы резонаторлық датчиктер басқа талшықты-оптикалық датчиктерге қарағанда жұмыс істеу үшін аз энергияны қажет етеді.

5. Неғұрлым берік: торлы резонатордың дизайны неғұрлым берік және дірілдің немесе басқа механикалық әсерлердің зақымдалуына бейім емес, бұл оны қатал ортада қолдануға өте ыңғайлы етеді.

Осы артықшылықтарға қарамастан, торлы резонаторлы сенсорлардың кейбір шектеулері бар, мысалы, өлшеудің тар диапазоны және күрделі өндіріс процесі. Басқа талшықты-оптикалық сенсорлық технологиялармен салыстырғанда, торлы резонаторлық сенсорлар тұрақтылық, ажыратымдылық және сезімталдық маңызды факторлар болып табылатын жоғары дәлдіктегі төмен шу өлшемдеріне қолайлы.

4.2 Әрі қарайғы зерттеулер мен даму мүмкіндіктері

Айналарды қолданатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік датчиктерді одан әрі зерттеу және дамыту үшін бірнеше мүмкіндіктер бар. Фокустың кейбір ықтимал бағыттарына мыналар жатады:

1. Сезімталдық пен дәлдікті арттыру: торлы резонаторлы сенсорлар жоғары сезімталдық пен дәлдікке ие болғанымен, әрқашан жақсартуға мүмкіндік бар. Зерттеушілер бұл датчиктердің өнімділігін арттыру жолдарын зерттей алады, мысалы, жаңа айна материалдарын жасау немесе тор қуысының дизайнын

оңтайландыру.

2. Төзімділік пен тұрақтылықты арттыру: торлы резонаторлы сенсорлардың сенімділігі мен тұрақтылығы олардың ұзақ мерзімді жұмыс істеуі үшін маңызды факторлар болып табылады. Зерттеулер датчик компоненттері үшін берік материалдарды әзірлеуге немесе датчиктердің экологиялық тұрақтылығын арттыру жолдарын зерттеуге бағытталуы мүмкін.

3. Жаңа қосымшаларды әзірлеу: торлы резонаторлы датчиктер үшін көптеген ықтимал қосымшалар болғанымен, оларды қолдануға болатын қосымша аймақтар болуы мүмкін. Зерттеушілер бұл сенсорлардың медицина, ауыл шаруашылығы немесе энергетика сияқты салалардағы жаңа қолданбаларын зерттей алады.

4. Өндіріс технологияларын жетілдіру: торлы резонаторлы датчиктер барған сайын кеңірек қолданыла бастағанда, оларды үнемді және ауқымды ету үшін өндіріс технологияларын жетілдіру мүмкіндіктері пайда болуы мүмкін.

5. Басқа технологиялармен интеграция: торлы резонатор сенсорларын олардың өнімділігі мен мүмкіндіктерін арттыру мақсатында машиналық оқыту алгоритмдері сияқты басқа технологиялармен біріктіру мүмкіндіктері пайда болуы мүмкін[5].

Бұл айналарды пайдаланатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорларды одан әрі зерттеу және дамыту мүмкіндіктерінің бірнеше мысалдары ғана. Бұл сала дамып келе жатқандықтан, зерттеулер мен инновациялар үшін жаңа және қызықты бағыттар пайда болуы мүмкін.

4.3 Сезімталдықты, дәлдікті және жылдамдықты жақсарту

Айналарды пайдаланатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорлар қазірдің өзінде жоғары сезімталдық пен дәлдікке ие, бірақ бұл салаларда, сондай-ақ жылдамдықта одан әрі жетілдіруге мүмкіндік бар. Міне, кейбір ықтимал жақсартулар:

1. Тор қуысының дизайнын оңтайландыру: зерттеушілер сезімталдық пен дәлдікті арттыру үшін тор қуысының дизайнын оңтайландыру жолдарын зерттей алады. Бұл торлардың пішінін, өлшемін және аралығын, сондай-ақ қуыста қолданылатын айна жұптарының санын Өзгертуді қамтуы мүмкін.

2. Айналар үшін жаңа материалдарды әзірлеу: торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік датчиктерде қолданылатын айналар сенсордың сезімталдығы мен дәлдігін анықтаудың негізгі құрамдас бөлігі болып табылады. Зерттеулер шағылыстырғыштығы жоғары және шығыны аз айналар үшін жаңа материалдарды әзірлеуге бағытталуы мүмкін, Бұл сенсордың өнімділігін жақсартады.

3. Сигналдарды өңдеу алгоритмдерін жетілдіру: сигналдарды өңдеу алгоритмдері талшықты-оптикалық сенсорлардың дәлдігі мен жылдамдығын арттыруда шешуші рөл атқарады. Зерттеушілер жаңа алгоритмдерді зерттей алады немесе сенсордың жұмысын оңтайландыру үшін бар алгоритмдерді

бейімдей алады.

4. Шу мен кедергіні азайту: талшықты-оптикалық сенсорларға шу мен кедергі әсер етуі мүмкін, бұл олардың дәлдігі мен сезімталдығын төмендетуі мүмкін. Зерттеушілер бұл әсерлерді азайту жолдарын зерттей алады, мысалы, шуды басудың жаңа әдістерін әзірлеу немесе сенсордың оқшаулауын жақсарту.

5. Басқа технологиялармен интеграция: машиналық оқыту алгоритмдері сияқты басқа технологиялармен интеграция торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорлардың сезімталдығын, дәлдігін және жылдамдығын арттыруға көмектеседі[11].

Бұл айналарды пайдаланатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорлардың сезімталдығын, дәлдігін және жылдамдығын жақсартудың бірнеше мысалдары ғана. Зерттеулер мен әзірлемелерді жалғастыра отырып, бұл сенсорлар одан да сезімтал, дәл және жылдам болуы мүмкін.

4.4 Сенсорды коммерцияландыру және өнеркәсіптік қолдану

Айналарды қолданатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік датчиктер бірнеше коммерциялық және өнеркәсіптік мақсаттарға ие. Мұнда бірнеше мысалдар келтірілген:

1. Құрылымдардың күйін бақылау: бұл датчиктерді ықтимал зақымдануды немесе істен шығуды көрсететін деформацияларды, жарықтарды және басқа өзгерістерді анықтау арқылы ғимарат құрылымдарының, көпірлердің және басқа инфрақұрылымның күйін бақылау үшін пайдалануға болады.

2. Аэроғарыш және авиация: торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорларды ұшақ конструкцияларының күйін бақылау, зақымдануды анықтау және қанаттар, фюзеляждар және Қозғалтқыштар сияқты маңызды компоненттердің тұтастығын бағалау үшін пайдалануға болады[8].

3. Өндіріс және процесті басқару: бұл датчиктерді жабынның қалыңдығын бақылау, материалдардағы ақауларды анықтау және химиялық реакциялардың температурасы мен қысымын өлшеу сияқты технологиялық процестерді өндіру және басқару қосымшаларында қолдануға болады.

4. Мұнай және газ: торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік датчиктерді нақты уақыт режимінде мұнай мен газ құбырларын бақылау, ағып кетуді, қысымның өзгеруін және қауіпсіздікке немесе қоршаған ортаға ықтимал қауіпті көрсететін басқа да ауытқуларды анықтау үшін пайдалануға болады.

5. Биомедициналық және денсаулық мониторингі: бұл датчиктер қан ағымының өзгеруін, ми белсенділігін және басқа физиологиялық параметрлерді анықтау және бақылау сияқты биомедициналық және денсаулық мониторингінде әлеуетті қолданбаларға ие[9].

Коммерцияландыруға келетін болсақ, бірнеше компаниялар қазірдің өзінде жобалап жатыр және коммерциялануда айналарды қолданатын торлы

резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорлар. Дегенмен, бұл салада әлі де өсу мен кеңею үшін айтарлықтай әлеует бар, әсіресе технология жетілдіріліп, жаңа қолданбалар анықталуда.

Тұтастай алғанда, айналарды пайдаланатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорлар айтарлықтай коммерциялық және өнеркәсіптік әлеуетке ие және оларды әзірлеу және енгізу алдағы жылдарда жалғасуы мүмкін.

ҚОРЫТЫНДЫ

"Айналарды қолдана отырып, торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорды зерттеу" дипломдық жұмысында келесі негізгі нәтижелерді атап өтуге болады:

Айналарды қолданатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорларға шолу:

Зерттеу айналарды пайдалануға негізделген торлы резонаторы бар қолданыстағы талшықты-оптикалық лазерлік сенсорларға шолу жасалды. Мұндай датчиктердің жұмыс істеу принциптері, олардың ерекшеліктері мен датчиктердің басқа түрлерімен салыстырғанда артықшылықтары зерттелді.

Зерттеу шеңберінде айналарды қолданатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік датчиктер әзірленді және жобаланды. Дизайн ерекшеліктері, оптикалық сипаттамалары және осындай датчиктерді өндіруге қойылатын талаптар ескерілді. Датчиктердің жұмысын оңтайландыру үшін есептеулер мен модельдеу жүргізілді.

Эксперименттер жүргізу айналарды қолданатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік датчиктердің өнімділігі мен тиімділігін бағалауға мүмкіндік берді. Датчиктердің өнімділігі мен жоғары дәлдігін растайтын өлшеулер мен сынақтардың нәтижелері алынды және талданды.

Зерттеуде айналарды қолданатын торлы резонаторлы сенсорлардың мүмкін қосымшалары қарастырылды. Мұндай датчиктерді қолдануға болатын аймақтар анықталды, мысалы, медицинада, өнеркәсіпте, ғылыми зерттеулерде және қауіпсіздік техникасында. Сондай-ақ, датчиктердің дәлдігін жақсарту, өлшенетін параметрлер ауқымын кеңейту және датчиктердің жаңа модельдерін әзірлеу сияқты болашақ зерттеулер мен саланы дамытудың мүмкін бағыттары белгіленді.

Тұтастай алғанда, айналарды қолдана отырып, торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорды зерттеу осындай сенсорлардың өнімділігі мен әлеуетін растайтын құнды нәтижелерге қол жеткізді. Әзірленген сенсорлар қолданудың кең спектріне ие және әртүрлі салалардағы әртүрлі өлшеу және бақылау мәселелерін шешудің перспективалық технологиясын ұсынады. Осы саланың болашақ зерттеулері мен дамуы өнеркәсіп пен ғылымның өсіп келе жатқан қажеттіліктерін қанағаттандыра алатын дәлірек және жетілдірілген сенсорларға әкелуі мүмкін.

ПАЙДАЛАНЫЛГАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Ким, С. К., Ким, Ю. С., & Ли, С. Б. (2017). Высококчувствительный волоконно-оптический датчик, основанный на кольцевой спектроскопии по волоконному контуру. Журнал световолновой технологии, 35 (17), 3757-3762.
2. Чен, Ю., Ли, Л., Сюн, Х. и Ван, Х. (2019). Волоконно-оптические датчики Фабри–Перо на основе терморасширенного сердечника для измерения температуры. Датчики и исполнительные механизмы А: Физические, 297, 111531.
3. Ли, С. В., Чой, Х. Ю., Ли, Дж.В., & Ли, Б. Х. (2018). Волоконно-оптические химические датчики, использующие микроструктурированные оптические волокна. Датчики, 18(5), 1535.
4. Чжао, Ю., Чжан, Х., Ши, Х., Чжан, К., & Ли, Х. (2019). Волоконно-оптический датчик перемещения на основе регулируемой воздушной полости. Датчики и исполнительные механизмы А: Физические, 297, 111524.
5. Ма, Л., Ли, Ю., Лю, Х., Ван, М., Ли, Х., & Го, Т. (2019). Волоконно-оптический датчик газа метана на основе лазера с распределенной обратной связью. Датчики, 19(14), 3091.
6. Ма Чжоу, Дж., Лу, Ю. и Ляо, У. (2020). Высококчувствительный волоконно-оптический датчик температуры на основе интерферометра Маха–Цендера. Оптические коммуникации, 462, 125295.
7. Ван, К., Чжан, К., Ван, К., & Чжан, Дж. (2019). Волоконно-оптический датчик давления на основе встроенного в волокно интерферометра Фабри–Перо. Датчики, 19(9), 1968.
8. Сун, Ю., Вэй, Т., Цзяо, Ю. и Чжан, М. (2017). Волоконно-оптический газовый датчик, основанный на эффекте многомодовой интерференции. Датчики и исполнительные механизмы В: Химическая промышленность, 246, 38-44.
9. Пэн Дж., Сюэ Л., Ма К. и Ван Х. (2020). Высококчувствительный волоконно-оптический датчик, основанный на кольцевой спектроскопии по волоконному контуру. Журнал световолновой технологии, 38 (15), 4048-4055.
10. Лю, Х., Ван, М., Го, Т., Ли, Ю., Ма, Л., & Ли, Х. (2020). Волоконно-оптический датчик для обнаружения газообразного аммиака на основе фотонного волокна с полый сердцевинной и запрещенной зоной. Датчики, 20(17), 4786
10. Prinima D, Pruthi DJ. Evolution of Mobile Communication Network: from 1G to 5G. International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering. 2016; 4(4):224.
11. Галимова Айсылу Рафисовна, Галимуллина Элина Эмилевна, Голкова Регина Динаровна, Усов Никита Александрович. Волоконнооптические датчики температуры // Научные исследования. 2017. №2 (13). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/volokonno-opticheskie-datchikitemperatury>.
12. Анапьев Ю. А. Оптические резонаторы и лазерные пучки / Ю. А. Анапьев. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. - 264 с.
13. Г. А. Болл, В. В. Мори и П. К. Чео, "Одноточечные и многоточечные

волоконно-лазерные датчики", в IEEE Photonics Technology Letters, том 5, № 2, стр. 267-270, февраль 1993, doi: 10.1109 / 68.196026.

14. L. Talaverano, S. Abad, S. Jarabo and M. Lopez-Amo, "Multiwavelength fiber laser sources with Bragg-grating sensor multiplexing capability," in Journal of Lightwave Technology, vol. 19, no. 4, pp. 553-558, April 2001, doi: 10.1109/50.920854.

15. Fiber Lasers. Govind P Agrawal./ Applications of Nonlinear Fiber Optics (pp.201-262), January 2001

16. M. Alswaitti, L. Zihao, W. Alomoush, A. Alrosan, and K. Alissa, "Effective classification of birds' species based on transfer learning," International Journal of Electrical & Computer Engineering (2088-8708), vol. 12, no. 4, 2022.

17. S. I. Nazir and Y. Bellouard, "Non-contact fine positioning of optical components and circuits using femtosecond lasers (Conference Presentation)," in Frontiers in Ultrafast Optics: Biomedical, Scientific, and Industrial Applications XX, 2020, vol. 11270: SPIE, p. 112700O.

18. S. Achar, "Science Gateways: Accelerating Research For Cloud Infrastructure," International Journal of Information Technology (IJIT), vol. 3, no. 1, 2022.

19. Li, X.; Zhang, Z.; Li, L. Wind direction sensing system based on fiber Bragg grating sensor. Appl. Opt. 2017, 56, 9862. [CrossRef]

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

дипломдық жұмыс

Омиралиева Алина Сабыржановна

6B06201- Телекоммуникация

Тақырыбы: Айналарды қолдана отырып, торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорды зерттеу

Дипломдық жұмыс айналарды қолдана отырып, торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорды зерттеуге арналады.

Айналарды қолдана отырып, торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорды зерттеу мәселерімен танысу, анықтау жолдары қарастырылды. Арнайы модельдеу жұмыстары жүргізіліп, есептеулер алынды. Барлық қорытындылар мен зерттеулер Matlab қолданбалы бағдарламасында модельденіп, графиктері құрылды.

Жұмыстың толық мақсатына жету үшін айналарды пайдаланатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорларға шолу жасалынған. Талшықты оптикалық сенсорлардың шығу тарихы мен негізгі сипаттамасы, құрылымы мен соңғы әзірлемелеріне талдау жүргізілді. Дипломдық жұмысқа байланысты әдеби шолу жасалынды.

Сенсорды жобалау мен өндіру технологияларына талдау жүргізілді. Соның ішінде сенсордың материалын таңдау, құрастыру және тестілеу мен тексеру нәтижелерін алу қарастырылған.

Жүргізілген тәжірибелік жұмыстардың барысында қажетті нәтижелер алынып, талдаулар жасалынды. MATLAB қолданбасы арқылы торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсордың өнімділігін модельдеу және нәтижелер алу.

Студент дипломдық жұмыс жасауда өздігінен жұмыс істей алу қабілетін көрсете алды.

Студент Омиралиева Алина өздігінен жұмыс жасай алатынын көрсетті. Жалпы дипломдық жұмысты “97А/ өте жақсы”, деп бағалап, ал студент Омиралиева Алина 6B06201- «Телекоммуникация» мамандығы бойынша техника және технологиялар «бакалавры» дәрежесіне сай.

Ғылым жетекші

ЭТЖ Ғкаф. PhДокторы,
қ ауымдағы ырылан профессор

Н.К.Смайлов

« 21 » мамыр 2023 ж.

СЫН - ПІКІР
дипломдық жұмыс

Омиралиева Алина Сабыржановна

6B06201-Телекоммуникация

Тақырыбы: Айналарды қолдана отырып, торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорды зерттеу

Орындалды:

а) графикалық бөлімі 32 бет;
б) түсіндірме жазбасы 5 бет.

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ ЖАСАУ

Омиралиева Алинаның дипломдық жұмысы талшықты оптикалық лазерлік сенсорларды айнаны қолдана отырып зерттеуге арналады. Дипломдық жұмыс төмендегі бөлімдерден тұрады:

Бірінші бөлімде айналарды пайдаланатын торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорларға шолу жасалынған. Талшықты оптикалық сенсорлардың шығу тарихы мен негізгі сипаттамасы, құрылымы мен соңғы әзірлемелеріне талдау жүргізілді. Дипломдық жұмысқа байланысты әдеби шолу жасалынды.

Екінші бөлімде сенсорды жобалау мен өндіру технологияларына талдау жүргізілді. Соның ішінде сенсордың материалын таңдау, құрастыру және тестілеу мен тексеру нәтижелерін алу қарастырылған.

Үшінші бөлімде жүргізілген тәжірибелік жұмыстардың барысында қажетті нәтижелер алынып, талдаулар жасалынды. MATLAB қолданбасы арқылы торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсордың өнімділігін модельдеу және нәтижелер алу.

Бұл дипломдық жұмыс жоғарғы оқу орындарының талаптарына сай жеткілікті жоғары дәрежеде жазылған.

Жұмыс бағасы

Жалпы, дипломдық жұмысқа “96/A/ өте жақсы” деген бағаға, ал студент Омиралиева Алина 6B06201-«Телекоммуникация» мамандығы бойынша техника және технологиялар «бакалавр» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

Рецензия беруші

Алматы энергетика және байланыс университеті

т.ғ.д., профессор

Якубова М.З

«2» сентябрь 2023 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: Омиралиева Алина Сабыржановна

Тақырыбы: Айналарды қолдана отырып, торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорды зерттеу

Жетекшісі: Нуржигит Смайлов

1-ұқсастық коэффициенті (30): 4.6

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0.7

Дәйексөз (35): 1.6

Әріптерді ауыстыру: 0

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 1

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:

2023-06-02

Күні 02.06.23

Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Омиралиева Алина Сабыржановна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Айналарды қолдана отырып, торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорды зерттеу

Научный руководитель: Нуржигит Смайлов

Коэффициент Подобия 1: 4.6

Коэффициент Подобия 2: 0.7

Микропробелы: 1

Знаки из других алфавитов: 0

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:

2023-06-02

Дата 02.06.23

Заведующий кафедрой



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Омиралиева Алина Сабыржановна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Айналарды қолдана отырып, торлы резонаторы бар талшықты-оптикалық лазерлік сенсорды зерттеу

Научный руководитель: Нуржигит Смайлов

Коэффициент Подобия 1: 4.6

Коэффициент Подобия 2: 0.7

Микропробелы: 1

Знаки из других алфавитов: 0

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:

2023-06-02

Дата 02.06.23

Сұңғат Марксұлы



проверяющий эксперт