

АНДАТПА

6D071600 – Аспап жасау мамандығы бойынша философия докторы (PhD)
ғылыми дәрежесін алу үшін дайындалған диссертация

Хабай Анар

Температура мен ылғалдылықты бір уақытта өлшейтін датчикті зерттеу
және өңдеу

Жұмыстың жалпы сипаттамалары. Диссертациялық жұмыс кіріспеден, төрт бөлімнен, қорытындыдан және қосымшалардан тұрады.

Диссертациялық жұмыстың бірінші бөлімінде температура мен ылғалдылықты анықтаудың жалпы әдістері мен өлшеу датчиктері қарастрылды. Температураны анықтайтын кедергілі термометр, Кварц резонаторлар негізіндегі температура датчиктер, интегралды датчиктері, Сыйымдылықты термометрлер, температуралық және ылғалдылық сенсорларының сезімталдық анықтаулары, ылғалдылықты анықауға арналған датчик түрлері қарастырылды, сондай ақ, металл оксиды негізіндегі жартылай өткізгішті температурамен ылғалдылықты анықтауға арналған датчиктің схемасы қаралды, талдаулар жасалды.

Екінші бөлімінде оптикалық талшықты лазерлік сәулеленумен талшықты Брэгг торларының көмегімен қоршаған ортаның қатаң зондауду өндірісі саласындағы соңғы жасалған жұмыстар мен қолданылулар, сондай-ақ лазер мен материалдардың арасындағы өзара фемтосекундтық әрекеттесу теориясының кейбір алғышарттары қарастырылды. Фазалық маска немесе «нүктеден кейін нүкте» әдісін пайдаланып фемтосекундты инфрақызыл және көрінетін лазерлермен кремний диоксиді негізіндегі оптикалық талшықтарда жасалынған брэгг торына сәйкес әсер ету шарттары талданған. Талшықты Брэгг торлары мен талшықтардың ерекше геометриясын пайдаланып, жарықтың әр түрлі параметрлерін ескеруге мүмкіндік береді. Таза кремний диоксиді, радиацияға төзімді фторидты легирленген диоксиді немесе микрокернеуленген таза кремний диоксидімен фотонды-кристалл талшығы және шыны талшықтардан жасалған датчиктер мұнай және газ саласында пайдаланады, олар сутегінің өтуіне, радиациялық иондалуына ұшырамайды, оларды сондықтан ядролық өнеркәсіпте пайдалануға болады. Температура 1300°C-дан жоғары болғандасапфир оптикалық талшыққағы Брэгг торларының көмегімен анықталады. Сапфир ТБТ құрылғылар реактивті қозғалтқыштар, көмірді газдандыру реакторларында және электр энергиясын өндіруде, табиғи газ турбиналарында жанудың қатаң шарттары үшін жарамды. Кристалды талшыққа негізделген ылғалдылықты анықтауға арналған талшықтық датчиктердің көптеген түрлері ұсынылған.

Үшінші бөлімінде температурамен ылғалдылықты бір уақытта өлшеуге арналған оптикалық талшықты датчикке талдаулар жасалынды. Фабри -Перо интерференциясына негізделген оптикалық талшықтың сезімталдылығын Джордж Айидің ішкі резонансты күшейту әдісі негізіндегі талдаулары қарастырылды. Оптикалық талшықты Брэгг торларының (ОТБТ) белгілі бір

спектрлік кері шағылыстыру фемтосекундық эффектiсiне негiзделiп температураға байланысты талшықтың деформациялық өзгерiсi арқылы температураны анықтауға болады. Осы талдаулар негiзiнде температурамен ылғалдылықты бiр уақытта өлшейтiн оптикалық талшықты датчиктiң жұмысы ұсынылды.

Төртiншi бөлiмiнде температур мен ылғалдылықты бiр уақытта өлшейтiн датчиктiң эксперименттiк нәтижелер талданды. Тәжрибелiк қондырығы, оптикалық талшықты анализатор, оптикалық циркуляторды, оптикалық-талшықты оқшаулағыш, сезiмтал агрозоа гельiн қолдану технологиясын қарастырдық.

Диссертациялық жұмыстың қорытындысы бойынша ФПИ әдiсiне негiзделген оптикалық талшықты ылғалдыққа агрозалық шағылыструдың математикалық теңдеулерi құрылып тәжрибелiк тексерулер жүргiзiлдi. Талшықты Брэгг торларының керi шағылструдың фемтосекундық негiзгi заңдылықтарына сай температураны анықтау қарастырылды.

Жұмыстың өзектiлiгi. Температура мен ылғалдылық датчиктерi микроэлектроникалық өндiрiстi технологиялық бақылауда, химия, биология, метеорология, электроника, автомобильдер метеорологиясы, ауыл шаруашылығын бақылауда, жүйелердi энергиямен қамтуда және медициналық техниканың көптеген өлшеу және бақылау салаларында кеңiнен қолданылуда. Қазiргi уақытта түрлi физикалық принциптердi қолданатын көп сандық датчиктер бар. Дегенмен, датчиктердiң сезгiштiк, селективтiлiк, сенiмдiлiгiн және жауап беру уақыттарын одан әрi жетiлдiру қажет.

Ылғалды ортада жұмыс iстеуге арналған ағзаға имплантацияланған электронды құрылғылар ағзаға кiрген кезде интегралды схеманың белсендi аймағында ылғалдылық нәтижесiненен конденсация, коррозия пайда болады. Бұл құралдың эффективтiлiгiн жоғалтып құрылғының жұмыс iстемей қалуына алып келедi. Микропроцессорлық жүйелердiң құрғақ екендiгiн тексерудiң ең тiкелей жолы оның iшкi салыстырмалы ылғалдылығын өлшеуге арналған датчиктi пайдалану. Қазiргi кезде чипте орналасқан электроникасы бар қосымша металл-оксидтi жартылай өткiзгiш негiзiндегi ылғалдылық датчигi бар. Ол бейорганикалық пассивация қабатымен жабылған, полиимидтi пальпокпен қамтылған өзара бөлiнген конденсатор негiзiндегi жоғары сапалы ылғал сезгiш датчигтер бар. Алайда, ол кеңейтiлген өңдеу қадамдарын қажет етедi. Әрi датчик үшiн қажеттi аймақ өте үлкен (4~2мм). Мысалы, микроаппаратпен имплантацияланатын стимуляторларды кiшкентай датчиктi қамтамасыз ету керек. Бiздiң мақсатымыз температурамен ылғалдылықты бiр уақытта өлшейтiн датчик құрылымы жеңiлдетiлген және чиптiң қажеттi аймағы едәуiр азайтылған салыстрмалы ылғалдылықты пен температураны бiрге анықтайтын датчиктi қараструды талап етедi.

Темпераутраны және ылғалдылықты өлшеу әдiстерiне, температурамен ылғалдылықты өлшейтiн датчик түрлерiмен танысу және оларға талдау жасау. Қазiргi таңда қолданыстағы ылғалдылық пен температураны бiр уақытта өлшейтiн датчиктер көптеген түрi бар. Алайда оптикалық талшық негiзiндегi ылғалдылық пен температураны бiр уақытта өлшейтiн датчик жоғары

сезімталдыққа, тез жауап беруге, ықшамды көлеміне және анти-электромагниттік кедергі сияқты артықшылықтарына байланысты қызығушылығымен зерттелді.

Талшықты оптикалық датчиктер ішкі электромагниттік әсерлерді қабылдамайды. Талшықты оптикалық материалдар кең қолданылатын және арзан материалдардан дайындайды. Қазіргі таңда кварцтық талшықты оптиканың бағасы мыс сымның бағасынан арзан.

Соңғы жылдарда, оптикалық талшықты лазерінің ішкі сезімталдығына негізделген датчиктер кеңінен зерттелді, өйткені олардың спектрлі резонансының шыңның көрінуін жақсартты және өткізу қабілеттілігі 3-дБ-ге жетті. Оптикалық талшықты лазерлерге негізделген ішкі сезімталдылықты дамыту арқылы датчиктердің сигналдың шуылға қатынасы жақсартылды, ал тар диапозондағы 3 дБ өткізу сенсорлық желінің сыйымдылығын арттырды.

Жұмыстың мақсаты мен міндеттері. Оптикалық талшықты лазерінің ішкі сезімталдығына негізделген электромагнитке қарсылықты қасиетке ие, температура мен ылғалдылықты біріктіре анықтайтын датчикті талдау

Зерттеу барысында төмендегідей мәселелерді шешу қажет:

1. Оптикалық талшықты лазерге негізделген қоршаған ортаны зондауда қолданылған ғылыми жұмыстың тақырыбына сәйкес келетін негізгі ғылыми жұмыстарға шолу жасау;

2. Оптикалық бір бағытты режимдегі температураға байланысты функционалды өзгеру коэффициенті бар талшыққа орналастырылған Брэгг торларынан кері шағылатын фемтосекундтық лазердің фазалық ығысуына арқылы температура өзгерісін қадағалау.

3. ФПИ интерферометріне негізделген ылғалдылыққа сезімтал агроза гелінің әсерінен резонанстық күшейту нәтижесінде ылғалдылықты анықтау.

4. Температура мен ылғалдылықты бір уақытта өлшейтін оптикалық датчиктің математикалық теңдеулерін құру.

5. Оптикалық талшық негізінде температурамен ылғалдылықты өлшеу әдістері қарастырылып математикалық модельдері құрылып тәжірибе жүзінде тексерулер жүргізу.

6. Температурамен ылғалдылықты бір уақытта өлшейтін құрылымы жеңілдетілген және қажетті аймағы едәуір азайтылған, сезгіштік, селективтілік, сенімділігін және жауап беру уақыттарын одан әрі жетілдірілген датчиктің жұмысын ұсыну.

Қорғауға ұсынылатын жаңа тұжырымдар:

1. Оптикалық бір бағытты режимдегі талшық және оған Брэгг торлары орналастырылған, оның көлденең қимасы жарты-рефлексиялық шынымен жабылып ол ФПИ-ның вакуумдық қуысына жалғасады. ФПИ вакуумдық қуысында кремний диафрагмасына құйылып дайындалған ылғалдылыққа сезімтал агроза гелі бар. Ұзындығы h деп анықталған қуыстың алдыңғы және артқы екі шағылыстратын беті бар, екіншісі ылғалдылыққа сезімтал агроза гелі. Бұл екі беттен шағылысқан жарық арасында интерференция өзгерісі арқылы ылғалдылық өзгерісін анықтау.

2. Оптикалық бір бағытты режимдегі температураға байланысты функционалды өзгеретін талшыққа орналастырылған Брэгг торларынан кері шағылатын фемтосекундтық лазердің фазалық ығысуымен температураны анықтау әдісін қарастру.

3. Жоғарыдағы талдаулар негізінде жасалған тәжірибелік нәтижелерді негізге ала отырып температура мен ылғалдылық бір уақытта өлшейтін микроқұрылымды, ішкі электромагниттік әсерлерге иммунитетті датчиктің жұмысын ұсыну.

4. Тәжірибелік және нақты берілген мәндерге сүйене отырып температура мен ылғалдылықты өлшеу датчигінің өлшеу диапазонын анықтау.

Зерттеу нысаны. Оптикалық талшықты лазерінің ішкі сезімталдығына негізделген температура мен ылғалдылықты бір уақытта өлшейтін электромагниттік әсерлерге ұшырамайтын датчиктің жұмысын анықтау.

Оптикалық талшықты лазерлік сәулеленумен талшықты Брэгг торларының көмегімен қоршаған ортаның қатаң зондауда өндірісі саласындағы соңғы жасалған жұмыстар мен қолданылулар, сондай-ақ лазер мен материалдардың арасындағы өзара фемтосекундтық әрекеттесу теориясының кейбір алғышарттары қарастыру. Фазалық маска немесе «нүктеден кейін нүкте» әдісін пайдаланып фемтосекундты инфрақызыл және көрінетін лазерлермен кремний диоксиді негізіндегі оптикалық талшықтарда жасалынған Брэгг торына сәйкес әсер ету шарттары талданған. Талшықты Брэгг торлары мен талшықтардың ерекше геометриясын пайдаланып жарықтың әр түрлі параметрлерін ескеруге мүмкіндік береді. Таза кремний диоксиді, радиацияға төзімді фторидты легирленген диоксиді немесе микрокернеуленген таза кремний диоксидімен фотонды-кристалл талшығы және шыны талшықтардан жасалған датчиктер мұнай және газ саласында сутегінің өтуінен, радиациялық иондалуынан аз зықымдалады, содықтан ядролық өнеркәсіпте пайдалануға болады. Температура 1300°C-дан жоғары болғанда сапфир оптикалық талшықтағы Брэгг торларының көмегімен анықталады. Сапфир негізіндегі ТБТ құрылғылары реактивті қозғалтқыштарда, көмірді газдандыру реакторларында және электр энергиясын өндіруде, табиғи газ турбиналарында жанудың қатаң шарттары үшін жарамды болып табылады.

Кристалды талшыққа негізделген ылғалдылықты анықтауға арналған талшықтық датчиктердің көптеген түрлері ұсынылған. Оптикалық талшықты температураны өлшеу әдістеріне қолдану көрсетілген. Оптикалық талшықты Брэгг торлы шағылыструдың негізіндегі сезімталдықтар және Фабри-Перот интерферометрлері, біртекті оптикалық талшықтар басылымдарда талқыланған. Агроза гелінің шығыны төмен, дайындалуы оңай және тиісті есептерде жақсы көрсеткіштерге ие, содықтан салыстырмалы ылғалдылық үшін кеңінен қолданылады. Талшықты оптикалық сезімталдықты жақсарту үшін бұларды гигроскопиялық материалдардан жасайды, мысалы Агроза гелі, графен оксиді, поливинил спирті, SiO₂, WS₂ және SiO₂, WS₂ сияқты т.б. Қазіргі кезде көптеген оптикалық датчиктер пассивті және кең жолақты жарық көзімен жұмыс істейді. Соңғы жылдарда, оптикалық талшықты лазерінің ішкі сезімталдығына негізделген датчиктерде кеңінен зерттелді, өйткені олардың спектрлі

резонансының шыңның көрінуін жақсартылды және өткізу қабілеттілігі 3-дБ-ге жетті.

Зерттеуде мәні. Қазақстанда, сондайақ, дүние жүзілік техникалық процестердің үнемі жетілуі, өнім сапасын қамтамасыз етуге және энергия шығындарын үнемдеуге қатаң талаптар қойлуы, электроника, жұқа үлдірлі технология, материалтану саласындағы сандық және сапалық талаптардың артуына байланысты ауаның сапасы яғының дымқылдық пен температурасын қадағалау маңызды мәселенің біріне айналып отыр.

Зерттеу әдістері. Оптикалық бір бағытты режимдегі температураға байланысты функционалды өзгеретін талшыққа орналастырлған Брэгг торларынан кері шағылатын фемтосекундтық лазердің фазалық ығысуымен температураны анықтау әдісін қарастру.

ФПИ интерферометріне негізделген ылғалдылыққа сезімтал агроза гелінің әсерінен резонанстық күшейту нәтижесінде ылғалдылықты анықтау. Осы талдаулар негізінде диссертация жұмыста ұсынылған датчиктің жұмыс принципі екі негізгі сезімталдыққа негізделген: Фабри-перо интерферометрі әдісімен ылғалдылыққа сезімтал агрозалық шағылыстру. Температура өзгерісіне тәуелді талшықтың деформациялық өзгерісімен оптикалық талшықты Брэгг торларының (ОТБТ) белгілі бір спектрлерді кері шағылысу эффектісіне негізделген.

Жоғарыда келтірілген оптикалық датчиктер тәсілмен қашықтықтан мониторинг жүргізуге болады. фемтосекундтық инфрақызыл сәулелілік (фс-ИҚ) ТБТ лазерлік конструкция негізіндегі белсенді датчиктік құрылғыларды жасау үшін сирек сілтілік элементтермен легирленген активті талшықтар пайдалану керек. Белсенді талшық үшін ішкі өзекше болатын фс-ИҚ ТБТ талшықты лазерде резонаторлы айна ретінде қолданылуы мүмкін немесе Брэгг шағылдырғышынан таралған конфигурациясы (БШТК) немесе кері таралған байланыс БШТК ретінде қолдануға болады.

Фабри-Перот резонаторының спектрлік реакциясы, оған шығарылған жарыққа және резонатор арасындағы интерференцияға негізделген. Құрылымдық интерференцияда шағылған екі лазер фазалары резонатор ішіндегі жарықтың резонанстық жақсаруына алып келеді. Егер екі сәуленің фазасы қарамақарсы болса, іске қосылған жарық әлсіреп белгілі бір бөлігі резонатордың ішіне сақталады. Сақталған, әйнектен өтетін жарық көрсетілетін жарыққа қарағанда спектралды түрде өзгереді. Біз осы негізгі принципке сүйене отырып екінші айна орынына ылғалға сезімтал жұқа пленканы пайдаланып жарықтың өтімділігінің артуына сәйкес ылғалдылықты анықтау принципін пайдаландық.

Температурамен ылғалдылықты бір уақытта өлшеуге арналған оптикалық талшықты датчиктің математикалық молульдері құрылып тәжірибелік нәтижелерін талдау. Тәжірибе нәтижесіне сай датчиктің өлшеу диапозны қарастру.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы. Диссертациялық жұмыс нәтижелерінің ғылыми құндылығы – температура мен ылғалдылық бір уақытта өлшейтін оптикалық талшықтың ішкі сезімталдылығына негізделген микроқұрылымды электромагниттік әсерлерге иммунитетті датчиктің жұмысының ұсынлуы.

Зерттеу тәжірибелік құндылығы ылғалға сезімтал агрозалық гель негізінде ПФИ-ның шағылыстру резонанысынң ылғалдылыққа байланысты сызықты артуы және Брэгг торларының кері бағыттағы шағылыструу фемтосекундтық лазердің фазалық ығысу арқылы температураны анықтаудағы сенімділігі, сондай ақ, диссертацияда алынған нәтижелерді халқаралық басылымдарға беруге негізделеді.

Теориялық маңыздылығы. Фемтосекундты лазерлі ТБТ температураға байланысты ерекше қасиеттері, олар әртүрлі әдістермен өндіріледі, сонымен қатар, оларды қатаң жағдайларда әртүрлі зонттық қосымшалар үшін қолдануға болатындығы негізіндегі соңғы жылдарда қолданысқа енген жұмыстармен ғылыми басылымдардағы материалдар қарастырылды. Сондай ақ, ылғалдылыққа сезімтал Фабри-Перот интерференциясының спектрлік реакциясы талдаулары математик және астроном Джордж Бидделл Айидің талдауларына сүйене отырып анықталды.

Практикалық қолдану. Ылғалды ортада жұмыс істеуге арналған ағзаға имплантацияланған электронды құрылғылар ағзаға кірген кезде интегралды схеманың белсенді аймағында ылғалдылық нәтижесіненен конденсация, коррозия пайда болады. Бұл датчиктің эффективтілігін (тиімділігін) жоғалтып құрылғының жұмыс істемей қалуына алып келеді. Микрокабельді функционалдың құрғақ екендігін тексерудің ең тікелей жолы, оның ішкі салыстырмалы ылғалдылығын өлшеуге арналған датчикті пайдалану. Чипте орналасқан электроникасы бар қосымша металл-оксидті жартылай өткізгіш негізіндегі ылғалдылық датчигі бар. Ол бейорганикалық пассивация қабатымен жабылған, полиимидті пальпокпен қамтылған өзара бөлінген конденсатор, ылғал сезгіш датчигін құрайды. Ол кеңейтілген өңдеу қадамдарын қажет етеді. Әрі датчик үшін қажетті аймақ өте үлкен (4~2мм). Мысалы, микроаппаратпен имплантацияланатын стимуляторларды кішкентай датчикті қамтамасыз ету керек. Бұл температурамен ылғалдылықты бір уақытта өлшейтін датчик құрылымы жеңілдететін және чиптің қажетті аймағын едәуір азайтылған салыстырмалы ылғалдылық пен температураны бірге анықтайтын датчикті қарастыруды талап етеді.

Жұмыс апробациясы. Диссертацияның негізгі тұжырымдары мен зерттеу нәтижелері төменде көрсетілген конференцияларда баяндалды:

Сатпаев оқулары «Шахмардан Есеновтың ғылыми мұрасы» тақырыбындағы конференциясында жариаланды, Алматы, 2017 жылғы 12 сәуір.

«Жастар, Ғылым Инновациялар» XII халықаралық ғылыми-практикалық интернет-конференциясында жариаланды (Пенза 2016);

Қосымша кәсіби білім берудің мемлекеттік емес білім беру мекемесі. жобаларды басқару институты жариялаған конференциясында (Санкт-Петербург 2016);

«Зимові ғылыми оқулары» халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференция (Украина, Киев 2016)

«Білім беру, ғылыми практикалық заманауи ақпараттық-телекоммуникациялық технологиялар» атты халықаралық-ғылым техникалық конференция (Алматы, 2015);

Автордың жеке қосқан үлесі. Берлген тапсырмаларға сай теориялық талдаулар жасап теңдеулер құру, тәжірибелер жүргізу, алынған нәтижелерді синтездеу және түсіндіру. Осы алынған нәтижелер мен талдауларға негізделі отырып мақалалар мен есептер жазу.

Мақалалар. Диссертациялық жұмыстың тақырыбына сәйкес 10 мақала басып шығарылған, соның ішінде 4 – ҚР БҒМ білім және ғылым саласындағы бақылау Комитетімен ұсынылған ғылыми басылымдарда басылып шығарылған, 1 Scopus ақпараттық базасына енген басылымдарда, 5 халықаралық ғылыми конференция материалдарында.

Жұмыстың көлемі мен құрылымы. Диссертациялық жұмыс 126 парақтан тұрады, 70 сурет және 5 кесте бар. Жұмыс кіріспеден әдеби шолудан, зерттеу нәтижелерінен және оларды талдау мен қортындылаудан тұрады. Диссертациялық жұмыста 129 әдебиет қолданылған.

Нәтижелердің сенімділігі және негізділігі

Диссертациялық жұмыс нәтижелерінің сенімділігі және негізділігі - барлық алынған эксперименттік зерттеулер оптикалық талшықтың ішкі сезімталдығына негізделген заманға сай ғылыми теориялық әдістермен сәйкес келеді.

Диссертациялық зерттеудің нәтижелері бойынша келесі қорытындылар жасалды. Диссертациялық жұмыста негізгі мынадай ғылыми нәтижелер алынған: ФПИ әдісіне негізделген салыстырмалық ылғалдылық 20%-98% диапазонында құрайды. Қоршаған ортаның ылғалдылығы өзгерген кезде талшықты лазердің шығу спектрі -36.78 дБм-ден -22.61 дБм дейін артады. Салыстырмалы ылғалдылық 10% бойынша өзгергенде. Тиісінше сенсордың сигналдың шуылға қатынасы 30 дБ-ден 45 дБ-ға дейін артқан және өткізу қабілеті 3-дБ, ол 0,05 nm кем болған. Ылғалдылық сезімталдығы 0.202 дБ/%, температура сезімталдығы $0.117 \times 10^{-4} / C^0$ деп өлшенеді. Тәжірибеде датчиктің жақсы сызықты екенін көрсетілген. Агрозаның сыну индексі 1,45-ден 1,48-ге дейін. Тәжірибе нәтижесі сенсордың ылғалдылыққа сызықты жауап беретінін көрсетті. Температураға байланысты талшықты Брэгг торларының t өзгерісі $-50 C^0$ дан $130 C^0$ сәйкесінше ξ деформация 8.75×10^{-4} м ден - 0.00122 дейін өзгереді.

Датчиктің болжамды жауап беру уақыты 72 ms тез болған. Қалпына келтіру уақыты шамамен 357 ms.

Датчиктің тұрақтылығын талдау үшін толқын ұзындығы мен шығу қуаты қоршаған ортаны салыстырмалы ылғалдылығы 65% және 95% деңгейінде белгілеу арқылы 180 минут ішінде өлшейді.

Толқын ұзындығы мен қуат ауытқуының стандартты тиісінше 65% салыстырмалы ылғалдылық кезінде 0.101 nm және 0.129 дБм болған, ал стандартты ауытқулар 95% салыстырмалы ылғалдылық кезінде тиісінше 0.046 nm және 0.137 дБм құрайды. Нәтижелер датчиктің жақсы тұрақтылыққа ие екендігін көрсетеді. Датчикте процесс жақсы қайталанатындығын көрсетеді, ылғалдылыққа сезімталдығы мен нақты ауытқуы шамасы $\pm 2\%$ -данда аз, ал температураға байланысты $\pm 1 C^0$ шамасында боғаны анықталған.