

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени «доктора философии» (PhD) по специальности «6D071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

ТОЛЕГЕНОВА АКМАРАЛ АЛИБЕКОВНА

ОПТОВОЛОКОННЫЙ СЕНСОР ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ С НАКЛОННЫМИ БРЭГГОВСКИМИ РЕШЕТКАМИ

Диссертационная работа посвящена исследованию наклонных Брэгговских решеток (TFBG) с углами наклона 6° и 8° , спектров пропускания и спектральных параметров с линейной зависимостью от показателя преломления окружающей среды. Было показано, что некоторые характеристики, такие как сенсорная ширина и минимум спектра, могут линейно зависеть от показателя преломления окружающей среды. Линейная зависимость ширины спектра от показателя преломления расположена изолированно по углам наклона (графики зависимости не пересекаются). Линейная зависимость минимума спектра наблюдается только при угле наклона 8° , а уровень его линейности самый высокий. Результаты этой работы можно использовать для разработки датчика показателя преломления окружающей среды на основе оптического волокна.

Актуальность темы

Технологии использования оптических волокон в качестве датчиков были предложены с середины двадцатого века. С тех пор на международном рынке широко используются волоконно-оптические сенсоры (ВОС) для определения воздействия окружающей среды, изменения свойств и параметров. С внедрением автоматизированных систем управления, новых технологических процессов, ускоренным развитием хода перехода на эффективную автоматизированную систему управления растет спрос на датчики. Помимо высоких метрологических характеристик, датчики должны обладать высокой прочностью, стойкостью, стабильностью, малым размером, легкостью, энергоэффективностью и способностью обрабатывать информацию в соответствии с микроэлектронными устройствами. Волоконно-оптические сенсоры (ВОС) в значительной степени соответствуют этим требованиям.

Простые датчики могут измерять только физические параметры среды в точке пространства, в котором они находятся. В отличие от других датчиков, функция ВОС может охватывать широкий диапазон в пространстве.

Перечисленные волоконно-оптические датчики отличаются от традиционных датчиков тем, что они пассивны, т. е. не имеют активных элементов, требующих изоляции от влаги и электрической сети - транзистора,

резистора, конденсаторов, логических элементов. Кроме того, преимущества оптоволоконных датчиков перед активными датчиками:

1. электромагнитные поля не влияют на результаты измерений;
2. отсутствие посторонних электромагнитных излучений (в том числе радиации) ;
3. отсутствие перекрестных каналов;
4. отсутствие проблем с заземлением и напряжением сдвига в местах соединения различных проводников;
5. отсутствие проблем с электрической безопасностью и возникновением дуг и искр;
6. высокая устойчивость к вредным воздействиям среды;
7. легкое мультиплексирование сигналов;
8. возможность точной оценки пространственных физических величин по волокну;
9. высокая скорость передачи данных.

Кроме того, ВОС:

1. может использоваться во взрывоопасных средах из-за его взрывобезопасности;
2. обладает высокой механической прочностью, небольшими размерами, простой конструкцией и высокой прочностью;
3. химически инертный;
4. изготавливается из диэлектрических материалов, поэтому по ним не проходит электрический ток;
5. устойчив к воздействию высоких температур окружающей среды, механических ударов, вибраций и т. д.;
6. позволяет проводить дистанционные и бесконтактные измерения.

В тех случаях, когда не могут использоваться электронные устройства, или когда их использование вызывает серьезные проблемы и потери (например, измерение температуры в высоковольтных электрических аппаратах, таких как генераторы переменного тока, трансформаторы; измерение тока и напряжения в высоковольтных линиях электропередачи; быстрое измерение температуры небольшой поверхности в труднодоступных местах с низкой теплопроводностью и переменной отражательной способностью) может использоваться волоконно-оптические датчики. Преимуществом применения ВОС является возможность наблюдать за длиной и пространством, которое может охватывать длина волокна, из одной точки (за счет изменения, уменьшения давлений жидкостей и газов в магистральных трубопроводах, больших складов, заделки отверстий внутренних отделок судов, самолетов и т.д. транспортных средств).

Существуют типы ВОС построенные на нелинейных эффектах оптоволоконна, т. е. явлениях рассеяния света. Они с помощью рефлектометра, основанного на вынужденном рассеянии Мандельштама-Брюллиэна (ВРМБ), одном из нелинейных эффектов, могут обнаружить в какой точке изменяется температура или давление окружающей среды оптоволоконна. В дополнение к этим датчикам также используются ВОС на основе решеток Брэгга. Он

отличается от датчиков ВРМБ тем, что можно получить точные данные о том, на какое значение изменяется температура или давление вдоль оптоволокна.

Многочисленные научные исследования показали, что наклонная Брэгговская решетка (tilted fiber Bragg grating- TFBG) может более точно измерять показатель преломления окружающей среды, чем традиционная волоконная Брэгговская решетка (ВБР). По этой причине в настоящей исследовательской работе решетка Брэгга с наклонными решетками рассматривается как объект исследования для измерения показателя преломления окружающей среды. В произведенных до настоящего времени работах не предусмотрена зависимость ширины и минимума спектра от показателя преломления среды, а также не определены параметры, отражающие взаимную изоляцию между параметрами спектра наклонных Брэгговских решеток. Поэтому в данной исследовательской работе были поставлены следующие цели.

Цель работы. Основная цель работы-изучить проблемы разработки датчика параметров окружающей среды на основе выполняемых физических процессов в оптическом волокне.

Для достижения цели работы необходимо решить несколько задач:

- Экспериментальное исследование зависимости спектра света, проходящего через наклонную Брэгговскую решетку, от показателя преломления окружающей среды.

- Определение спектральных характеристик TFBG таким образом, чтобы линейно зависеть от показателя преломления окружающей среды.

- Определение спектральной характеристики таким образом, чтобы линейная зависимость показателя преломления обеспечивала взаимно изолированное расположение по углам наклона. Поиск спектральных характеристик, обеспечивающих изолированное расположение по углам наклона, необходим для того, чтобы иметь возможность записывать решетки Брэгга, расположенные под разными углами наклона вдоль одного волокна.

Объект исследования

Наклонная Брэгговская решетка с углами наклона 6^0 и 8^0

Предмет исследования

Изучение изменений в спектре светового луча, проходящего через наклонные Брэгговские решетки с углами наклона 6^0 и 8^0 , и определение величин, характеризующих эти изменения

Методы исследования

Запись на одномодовое оптоволокно наклонных Брэгговских решеток методом фазовой маски, экспериментальные и аналитические методы.

Новизна работы:

1. Впервые было обнаружено, что оптические волокна с наклонными Брэгговскими решетками с углами наклона 6^0 и 8^0 могут работать как сенсоры показателя преломления окружающей среды;

2. Впервые были обнаружены и предложены спектральные характеристики TFBG с наилучшей линейной зависимостью от показателя преломления окружающей среды;

3. Впервые определено спектральное свойство TFBG, линейность которого не зависит от угла наклона решетки Брэгга.

Положения, выносимые на защиту

1. Предложенная новая спектральная характеристика «сенсорная ширина спектра» уточняет, что оптические волокна с наклонными Брэгговскими решетками могут служить датчиками показателя преломления среды.

2. Функция зависимости от показателя преломления «сенсорной ширины спектра» совершенно линейна для Брэгговских решеток с углами наклона 6 и 8 градусов, причем диапазоны этих функций не пересекаются.

3. Ошибка определения коэффициента, описывающего линейность зависимости «сенсорной ширины спектра» от показателя преломления среды, составила 4,6% для наклонной Брэгговской решетки 6 градусов и 3,7% для 8-градусной. Это как минимум на 11,1 процентного пункта ниже известной ранее спектральной характеристики «локальное среднее значение». То есть характеристика «ширина спектра сенсоры» более точно описывает изменение показателя преломления среды.

Теоретическая и практическая значимость исследования

Результаты диссертационной работы позволяют подготовить датчик показателя преломления окружающей среды на основе оптоволокна, на которые записаны наклонные Брэгговские решетки. Предлагаются спектральные характеристики линейно зависящие от показателя преломления окружающей среды.

Достоверность и обоснованность полученных результатов

Достоверность результатов, достигнутых в диссертационной работе, подтверждается наличием публикаций в изданиях, рекомендованных КОКСОН МНВО РК, в зарубежных журналах, входящих в базу данных Scopus (Elsevier, Нидерланды), и в трудах международных конференций, также согласованностью с результатами других авторов.

Личный вклад автора

Автор участвовал в исследовательской работе на всех этапах диссертационной работы. В рамках учебного плана провела опытную работу в научной лаборатории Люблинского технического университета, в частности приняв участие в процессе записи TFBG на оптоволокно, получила спектры пропускания TFBG, рассчитала характеристики по полученным спектрам и провела анализ работы. Утверждение задач и плана работы, обсуждение результатов были выполнены совместно с научным руководителем.

Публикации

По теме диссертационной работы опубликовано 6 научных печатных работ, из них 2 работы опубликованы в виде тезисов международных конференций, 3 статьи в научных изданиях, рекомендованных КОКСОН МНВО РК, 1 статья в научных изданиях, входящих в международные информационные ресурсы Scopus (Elsevier, Нидерланды). По результатам работы имеется 1 авторское свидетельство.

Апробация диссертационной работы

Статья с высоким импакт-фактором в изданиях, входящих в международную научную базу данных Scopus:

Tolegenova A.A., Kisala P.A., Zhetpisbayeva A.T., Mamyrbayev O.Zh., Medetov B.Zh. Experimental determination of the characteristics of a transmission spectrum of tilted fiber Bragg gratings//Metrology and measurement systems. – 2019. – P. 6-12.

Статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных КОКСОН МНВО РК:

1. Толегенова А.А., Албанбай Н., Жетписбаева А.Т., Медетов Б.Ж., Исимова А.Т., Тайсариева Қ.Н. TFBG типтес оптогалшықтарды сенсор ретінде қолдану үшін қажетті спектралдық сипаттамаларды эксперимент жүзінде анықтау// Вестник КазНИТУ, серия Технические науки. – 2019. - №4

2. Липская М.А., Ерішова М.Ө., Толегенова А.А., Жетписбаев К. Талшықты Брэг торының негізіндегі оптикалық сенсорлар//ҚазККА хабаршысы. – 2020. – №4(115). – 311-317 б.

3. Tolegenova A., Yerishova M., Zhetpisbayeva A., Zhetpisbayev K., Tolegenova A. Investigation of the temperature dependence of TFBG with tilt angles of 2° and 4° // Торайғыров университетінің хабаршысы. – 2022. – №2

Публикации в сборниках тезисов международных конференций:

1. Narasim D., Tolegenova A., Tergeusizova A. The spectral properties of bended tilted fiber Bragg gratings //Optical Fibers and Their Applications 2018. – International Society for Optics and Photonics, 2019. – Т. 11045. – С. 110450В.

2. Толегенова А.А., Исимова А.А., Албанбай Н. TFBG спектралдық сипаттамаларының ортаның сыну көрсеткішіне тәуелділігін эксперимент жүзінде анықтау// "Фараби әлемі" атты Халықаралық жас ғалымдар мен студенттердің конференциясы". – 2019. – 288 б.

Авторское свидетельство:

Толегенова А.А., Медетов Б.Ж., Жетписбаева А.Т. Определение линейных зависимостей спектральных характеристик TFBG с углом наклона 6° и 8° от показателя преломления окружающей среды // Авторское свидетельство, 2023. №36971.

Объем и структура диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, 3 разделов, заключения, списка использованных источников из 101 наименований и трех приложений, содержит 106 страниц основного компьютерного текста, включая 126 рисунков, 11 формул и 4 таблиц.