

«Сейфуллин окулары – 16: Жаңа формациядағы жастар ғылыми – Қазақстанның болашағы» атты халықаралық ғылыми-теориялық конференциясының материалдары = Материалы Международной научно-теоретической конференции «Сейфуллинские чтения – 16: Молодежная наука новой формации – будущее Казахстана». - 2020. - Т.І, Ч.3 - С.137-140

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ИЗГОТОВЛЕННЫХ НА ОСНОВЕ РЕШЕТОК БРЭГГА

Иманмадилов Д., Кусаинова К.Т.

Большинство сетей коммуникаций в настоящее время используют волоконные световоды как среду для передачи информации. Использование волоконных световодов позволяет удовлетворить потребность в высокоскоростных линиях передачи данных, а также в обеспечении долговременного запаса прочности на будущее; стремление достигнуть максимальной защищенности от помех и от несанкционированного доступа извне.

Волоконные световоды применяются не только в системах связи. Их можно разделить на две категории: специальные и телекоммуникационные. Телекоммуникационные световоды применяются в различных системах связи. Специальные оптические волокна нашли иное применение. В настоящее время активно развивается направление создания устройств и приборов на основе спецволокон. Оптические волокна применяются в датчиках различных физических параметров (температуры, давления, механических напряжений и т.д), системах мониторинга протяженных объектов, волоконных лазерах, навигационных устройствах, медицинских приборах.

Эти устройства делятся на различные типы в зависимости от принципа их действия и особенностей конструкции. Довольно часто, для создания приборов на основе специальных оптических волокон применяются волоконные решетки Брэгга. Как правило, на их основе реализуются чувствительные элементы датчиков физических параметров и систем мониторинга, резонаторы волоконных лазеров, спектральные фильтры телекоммуникационных систем с уплотнением каналов и т.д

Исследование свойств волоконно-оптических датчиков на основе решеток Брэгга позволяет изменять геометрические параметры материала путем внешних воздействий на него (температуры, механического напряжения, давления и т.д). Анализируя данные изменения можно судить о характере внешних воздействий на оптическое волокно. Данные явления положены в основу многих приборов и устройств на основе специальных волоконных световодов [1].

Как и измерительные приборы, волоконно-оптические датчики изготовленные на основе решеток Брэгга можно использоваться для создания преобразователей для измерения множества различных величин. Преимущества датчиков:

- хорошая сочетаемость с новыми композитными материалами, такими как стекло, армированное углеродными волокнами, которые широко

используются в современных конструкциях, таких как новые самолеты или электростанции;

- измерение очень высокой деформации (больше 10000 $\mu\text{m}/\text{m}$) и поэтому очень хорошо подходит для высоконапряженных композитных конструкций;

- небольшие размеры и легкий вес;

- невосприимчивость к электромагнитным помехам (даже к помехам при освещении);

- пассивны по своей природе (нет необходимости в электрической энергии) и следовательно может быть расположен в зонах с высоким напряжением и потенциально взрывоопасной атмосферой;

- сигналы не зависят от расстояния (возможна длина соединения больше 50 км);

- на одном волокне может быть расположено много волоконных брэгговских решеток до 20 штук;

- высокая долгосрочная стабильность;

- хорошая коррозионная стойкость;

- специальные версии датчиков могут использоваться при очень высоких температурах до 700° C;

- выгодное использование в криогенной среде из-за низкой теплопроводности одного волокна, питающего многие датчики, и их стабильных оптических свойств с очень низкими остаточными температурными зависимостями вблизи температур жидкого гелия;

- простота монтажа (время, прокладка кабеля, тестирование) [2].

Волоконно-оптический датчик представляет собой датчик физической величины, в конструкции которого в качестве чувствительного элемента используется волоконно-оптический волновод. Волоконно-оптическое измерение температуры - это применение оптоэлектронных устройств для измерения температуры, при которых стеклянные волокна используются в качестве линейных датчиков. Волоконно-оптические датчики температуры используются в областях, связанных с безопасностью. Например, они используются для контроля температуры в химических процессах, контроля температуры силовых кабелей для оптимизации производственных отношений, обеспечения пожарной безопасности в железнодорожных туннелях и в вагонах, а также для обнаружения утечек в трубопроводах. Рассмотренные датчики могут быть использованы для повышения эффективности нефтяных и газовых скважин.

Общий принцип работы волоконно-оптического датчика заключается в следующем: свет от источника излучения пропускается через оптическое волокно, и в результате это приводит к изменению параметров в волокне. После прохождения оптического волокна спектры и интенсивности сравниваются с исходным излучением. Результат оценки измеренных значений не зависит от характеристик волокна. Измерительная информация передается такими феноменами, как прерывание светового потока, отражение света, изменение энергии излучения. Датчики, использующие прерывание света, очень распространены и просты в использовании [2].

Волоконно-оптический датчик изготовленный на основе решеток Брэгга представляет собой периодическую фазу возмущения показателя преломления вдоль волокна, генерируемого в сердечнике под воздействием интенсивного интерференционного света. Это возмущение индекса функционирует как фильтр полосы световой волны, который позволяет отражать конкретную узкую полосу от падающего оптического сигнала с длиной волны. Центральная длина волны отраженной узкой полосы, называемая длиной волны Брэгга (λ_B), определяется уравнением Брэгга как:

$$\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda, \quad (1)$$

где n_{eff} – эффективный показатель преломления ядра, а Λ – период решетки.

Основной принцип фильтрации света с помощью волоконной брэгговской решетки показан на рисунке 1. n_{eff} и Λ чувствительны к параметрам окружающей сред, включая температуру и напряжение. Изменение температуры n_{eff} обусловлено термооптическим эффектом, а Λ – тепловым расширением. Напряжение в волокне также изменяет n_{eff} – изменение за счет упруго-оптического эффекта, а Λ изменяется при растяжении. Таким образом, длина волны Брэгга сдвигается с изменением температуры и деформации, и отношение может быть выражено так:

$$\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda [(1-P_e) \varepsilon + (\alpha + \xi) \Delta T], \quad (2)$$

где ε – деформация в волокне, P_e – эффективный коэффициент Поккеля (для сердцевины волокна, $P_e \approx 0,22$), α - коэффициент теплового расширения, ξ - термооптический коэффициент, показывающий скорость изменения n_{eff} с температурой (для ядро из диоксида кремния, $\xi = 6,67e-6 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), а ΔT - изменение температуры.

Вторая формула выражает линейную зависимость между длиной волны Брэгга и температурой (деформацией), когда деформация (температура) постоянна. В этих условиях Волоконная Брэгговская решетка очень подходит и удобна для использования при измерении температуры (деформации) после калибровки длины волны Брэгга с температурой (деформацией) [3].

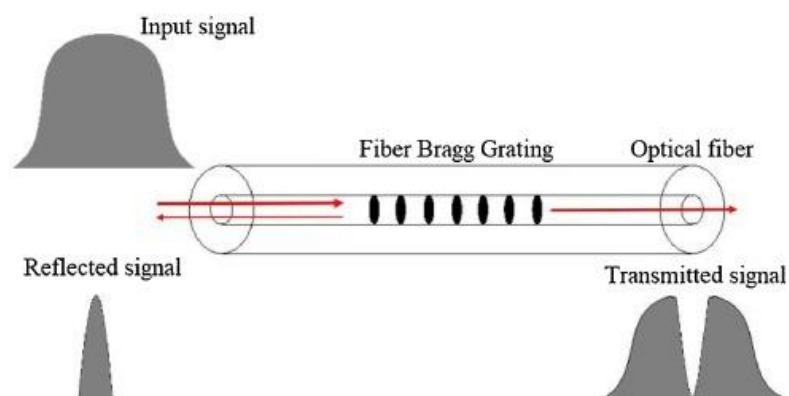


Рисунок 1. Модель волоконной Брэгговской решетки

Оптические датчики на основе волоконных Брэгговских решеток приобрели большую долю рынка благодаря ряду преимуществ: небольшой форм-фактор, легкий вес, отсутствие необходимости в электрических соединениях и совместимость для дистанционного зондирования. Особенности волоконных Брэгговских решеток показывают высокую чувствительность, высокое разрешение и широкий динамический диапазон, а также их собственная устойчивость к радиочастотам помехи (RFI) и электромагнитные помехи (EMI), а также возможность их взаимодействия. Системы передачи данных способствовали их широкому применению во многих сенсорных приложениях. Из-за высокой чувствительности к различным параметрам окружающей среды, включая физические, химические, биомедицинские и электрические параметр, они используются для структурного мониторинга здоровья в гражданской инфраструктуре, аэрокосмической, энергетической и морской областях, где информация, связанная с измеряемыми величинами обычно кодируется сдвигом длины волны Брэгга [4].

В настоящее время волоконно - оптические датчики изготовлены на основе решеток Брэгга зарекомендовали себя в различных областях. Развитие коммерческого рынка свидетельствует о росте интереса к этим датчикам.

Список литературы

1. Волоконные Брэгговские решетки. [электронный ресурс]. Дата обращения: 15.03.2020 URL: http://sf.ifmo.ru/ru/projects/bragg_gratings
2. M. Kreuzer. Strain measurement with fiber Bragg grating sensors. HBM,
3. Xingli Wang, Zhen Chen, Wanjing Wang, Yuping Xu, Qiang Li, Chunyi Xie, Jichao Wang, Zhongshi Yang, Guang-Nan Luo. Fibre Bragg grating sensors for fusion diagnostics: Temperature monitoring of a tungsten mono-block mock-up under high heat flux. Journal: Fusion Engineering and Design, Volume 150, January 2020, Article 111378.
4. Carlo Edoardo Campanella, Antonello Cuccovillo, Clarissa Campanella, Abdulkadir Yurt, Vittorio M. N. Passaro. Fibre Bragg Grating based strain sensors: Review of Technology and Applications. Published: 15 September 2018.