

ОДНОВРЕМЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА ФАБРИ-ПЕРО

Д.С. Грабовецкий, Т.Р. Шагвалиев, Д.Н. Матвеев

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ

Российская Федерация, 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

Аннотация. В данной статье представлен волоконно-оптический датчик на основе параллельного интерферометра Фабри-Перо с двумя заполненными полимером полостями для одновременного измерения температуры и давления с использованием эффекта Вернье.

Ключевые слова: волоконно-оптические датчики; интерферометр Фабри-Перо; эффект Вернье; измерение температуры и давления.

Введение

Давление и температура являются двумя важными физическими параметрами в областях мониторинга окружающей среды и процессов фото-вольтаического преобразования солнечной энергии, а их измерение имеет решающее значение для вышеуказанных областей [1, 2].

Волоконно-оптические датчики на основе интерферометра Фабри-Перо (ИФП) привлекли значительное внимание в приложениях оптоволоконных датчиков благодаря гибкой конфигурации, хорошей стабильности, компактной структуре и защите от внешних помех. Для изготовления волоконно-оптических датчиков на основе ИФП существуют такие методы как лазерная микрообработка, химическое травление и нанесение плёночного покрытия.

В последние десятилетия был исследован широкий спектр волоконно-оптических датчиков на основе ИФП для контроля давления и температуры. Однако перекрёстная чувствительность, вызванная указанными физическими параметрами, является неизбежной проблемой, которую необходимо решить в практических приложениях.

К распространённым методам решения проблем перекрёстной чувствительности относится встроенная волоконная брэгговская решётка (ВБР) и применение волокон с различными параметрами, что позволяет реализовать температурную компенсацию и двухпараметрические одновременные измерения соответственно.

Для повышения чувствительности к температуре и давлению в волоконно-оптические ИФП вводят полимеры. Для измерения температуры полидиметилсилоксан (ПДМС) является превосходным термочувствительным материалом благодаря высокому коэффициенту теплового расширения, равному $9,6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, и высокому отрицательному термооптическому коэффициенту, равному $4,66 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. Для измерения давления используется прозрачная смола с ультрафиолетовым (УФ) отверждением, благодаря своим уникальным преимуществам: быстрому отверждению при малой мощности излучения УФ, низкой стоимости, устойчивостью к загрязнениям разной природы.

Для увеличения чувствительности волоконно-оптических датчиков на основе ИФП используют эффект Вернье. В последнее время волоконно-оптические датчики на основе эффекта Вернье, состоящие из двух параллельно или каскадно включенных ИФП с близким

диапазоном спектрального разрешения, используются для одновременного измерения давления и температуры. Чувствительность ИФП на основе эффекта Вернье может быть усилена путём измерения смещения длины волны огибающей спектра биений обоих ИФП, которое больше, чем смещение интерференционных полос каждого ИФП в отдельности.

Для решения указанных проблем двухпараметрического одновременного измерения, таких как низкая чувствительность, сложность изготовления, перекрёстная чувствительность и высокая стоимость, в данной работе предложен высокочувствительный волоконно-оптический датчик на основе ИФП, состоящий из параллельных резонаторов Фабри-Перо (РФП) с полимерно-воздушными полостями, работающий на эффекте Вернье, и предназначенный для одновременного измерения давления и температуры.

Структурная схема датчика

Волоконно-оптический датчик на основе ИФП представлен на рис. 1.

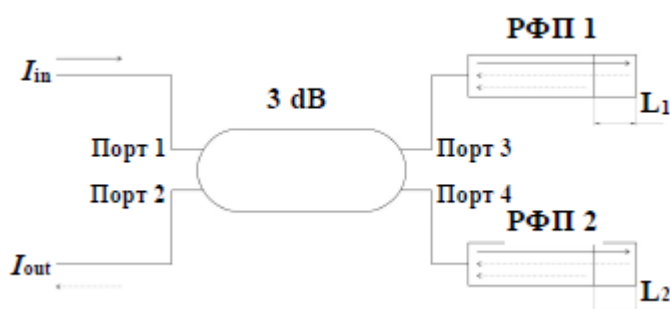


Рис. 1. Волоконно-оптический датчик на основе ИФП на основе параллельных РФП1 и РФП2

Датчик состоит из двух параллельных РФП, изготовленных путём формирования концевых полостей в одномодовом волокне по технологии катастрофического плавления [1]. Один заполнен ПДМС, а другой – тонким слоем УФ-смола. Чувствительные элементы на основе РФП аналогичны, что обеспечивает возникновение эффекта Вернье. Экспериментальные результаты показывают, что РФП1, заполненный ПДМС, чувствителен как к давлению, так и к температуре, тогда как РФП2, заполненный тонким слоем УФ-смола, чувствителен только к давлению.

Краткие результаты экспериментальных исследований

Датчик использовался для одновременного измерения изменения давления воздуха и температуры окружающей среды. В сочетании с эффектом Вернье датчик обеспечивает чувствительность по давлению ~ 400 пм/МПа и чувствительность по температуре ~ -500 пм/°C соответственно.

Заключение

По сравнению с датчиками, изготовленными с помощью фотонно-кристаллического волокна или фемтосекундной лазерной микрообработки, в предлагаемом датчике используются только одномодовые волокна, поэтому его изготовление не требует дорогостоящего оборудования и сложных процедур. Процесс изготовления включает только вырезание полости, сварку с волокном и заполнение полимером, что делает его относительно простым. Предлагаемый датчик потенциально применим не только в лабораторных, но и в полевых условиях, где требуется измерение давления и температуры.

Благодарность

Авторы выражают благодарность за научное руководство профессору кафедры радиофотоники и микроволновых технологий КНИТУ-КАИ Морозову О.Г.

Список литературы

1. Шагвалиев, Р.М. Постановка задач проектирования волоконно-оптического референсного датчика воздуха для качественного и количественного мониторинга его параметров / Р.М. Шагвалиев, О.Г. Морозов, А.Ж. Сахабутдинов и др. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2024. – № 3 (63). – С. 53-66.
2. Ходжанепесов, К.А. Концепция построения комплексированного волоконно-оптического датчика для мониторинга солнечных батарей / К.А. Ходжанепесов, А. Ниязгулыева, Д.Н. Матвеев и др. // Электроника, фотоника и киберфизические системы. – 2023. – Т. 3. – № 2. – С. 55-67.

SIMULTANEOUS MONITORING OF TEMPERATURE AND PRESSURE USING A PARALLEL FABRY-PEROT INTERFEROMETER

D.S. Grabovetsky, T.R. Shagvaliev, D.N. Matveev

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI
10, K. Marx St., Kazan, 420111, Russian Federation

Absrtact. This paper presents a fiber-optic sensor based on a parallel Fabry-Perot interferometer with two polymer-filled cavities for the simultaneous measurement of temperature and pressure utilizing the Vernier effect.

Keywords: fiber-optic sensors; Fabry-Perot interferometer; Vernier effect; temperature and pressure measurement.

Статья представлена в редакцию 02 декабря 2025 г.