

ОДНОВРЕМЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ 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 предлагается волоконно-оптический датчик на основе параллельного интерферометра Фабри-Перо с двумя полостями, заполненными полидиметилсилоксаном и полиимидом, для одновременного контроля температуры и влажности за счет использования эффекта Вернье.

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

Введение

Относительная влажность (ОВ) и температура являются двумя основными физическими величинами. Их раздельное измерение или одновременный мониторинг особенно важны в практических приложениях, таких как биохимическая инженерия, мониторинг окружающей среды и мониторинг солнечных панелей. Оптоволоконный интерферометр Фабри-Перо (ИФП) чувствителен к любой физической величине, которая вызывает изменение длины резонатора Фабри-Перо (РФП) или показателя преломления (ПП) среды в РФП. Более того, оптоволоконный ИФП также обладает преимуществами простой конструкции, высокой надёжности, стабильной работы и устойчивости к электромагнитным помехам. Он широко используется для измерения температуры [1] и относительной влажности [2]. Оптоволоконный ИФП также особенно подходит для точного одновременного измерения нескольких физических величин.

В последние годы широко применяется одновременное измерение относительной влажности и температуры с помощью оптоволоконного ИФП. Одна из схем заключается в объединении ИФП с волоконной решёткой Брэгга (ВБР); относительная влажность измеряется с помощью ИФП, а температура — с помощью ВБР, что реализует одновременное измерение относительной влажности и температуры.

Известен датчик на основе ИФП, покрытого полиимидной (ПИ) плёнкой, и каскадного соединения ВБР для одновременного измерения относительной влажности и температуры. Однако датчики с такими структурами обычно имеют низкую чувствительность.

Другая схема одновременного измерения относительной влажности и температуры с помощью оптоволоконного ИФП заключается в прямом использовании структуры РФП и влагочувствительных материалов или в методах повышения чувствительности датчика для построения измерительной матрицы. Известен датчик относительной влажности и температуры на основе двух каскадных ИФП, в которых один ИФП, покрытый тонким пористым SiO₂, измеряет относительную влажность, а другой ИФП, состоящий из стандартного одномодового волокна (SMF), измеряет температуру. Однако процесс

изготовления таких датчиков обычно относительно сложен, а чувствительность этих датчиков относительно низка, или же линейная аппроксимация отсутствует.

Для решения некоторых проблем ИФП, таких как низкая чувствительность, сложное производство, высокая стоимость и перекрестная чувствительность предложен датчик состоит из двух параллельных РФП, заполненных полидиметилсилоксаном (ПДМС) и ПИ, соответственно, образуя ИФП. В процессе изготовления спектральный диапазон разрешения двух РФП контролируется практически одинаковым для обеспечения эффекта Вернье.

Используя матрицу чувствительности, датчик может одновременно измерять относительную влажность и температуру. Благодаря эффекту Вернье чувствительность датчика к относительной влажности может достигать более высоких значений.

Структурная схема датчика и краткие результаты экспериментальных исследований

Параллельный ИФП представлен на рис. 1.

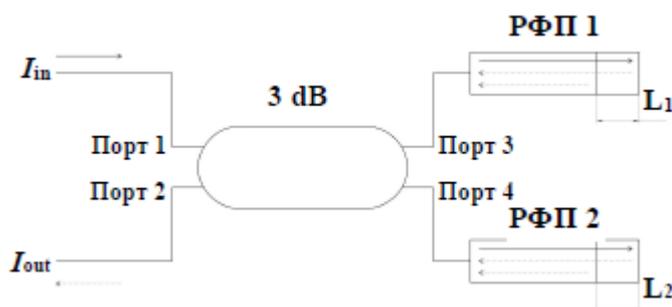


Рис. 1. Параллельный ИФП с двумя резонаторами Фабри-Перо РФП1 и РФП2

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

Краткие результаты экспериментальных исследований

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

Заключение

По сравнению с датчиками, изготовленными с помощью фотонно-кристаллического волокна или фемтосекундной лазерной микрообработки, используются только одномодовые волокна, поэтому предлагаемый датчик 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 в полевых условиях, где требуется измерение давления и влажности.

Благодарность

Авторы выражают благодарность профессору кафедры радиотоники 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 HUMIDITY 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

Abstract. This paper proposes a fiber-optic sensor based on a parallel Fabry-Perot interferometer with two cavities filled with polydimethylsiloxane and polyimide for simultaneous temperature and humidity monitoring by leveraging the Vernier effect.

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

Статья представлена в редакцию 23 декабря 2025 г.