

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР ФАБРИ-ПЕРО КАК ДАТЧИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИНЫ

Н.А. Петров, И.Ю. Муравьев

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ
Российская Федерация, 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

Аннотация. Рассмотрены внешние волоконно-оптические интерферометры Фабри–Перо (ИФП) для измерения глубины водной среды. Предложена волоконно-оптическая сенсорная система для определения глубины, включающая адресную волоконную брэгговскую структуру (АВБС) для компенсации температурной перекрёстной чувствительности и обеспечивающая практическое детектирование сигнала без использования громоздких оптических анализаторов.

Ключевые слова: волоконно-оптические датчики, интерферометр Фабри-Перо, адресная волоконная брэгговская структура, измерение глубины.

Введение

На метрологические характеристики датчиков влияет множество факторов, среди которых наиболее значимыми являются параметры мембраны. Кварцевое стекло представляет интерес в качестве мембранного материала благодаря своей химической стойкости и коэффициенту теплового расширения, которые аналогичны параметрам оптического волокна [1]. Однако изготовление ультратонких мембран сопряжено с технологическими трудностями, что ограничивает чувствительность датчиков. Для изготовления мембран ИФП также используются различные полимерные материалы, такие как полиуретан и полистирол [2]. Общим недостатком полимерных материалов является необходимость их предварительной стабилизации.

Материалы и методы

Был предложен альтернативный подход, основанный на эффекте катастрофического плавления одномодового волокна мощным источником [3]. В результате этого эффекта в сердцевине волокна образуются множественные периодические пустоты с периодом в несколько микрометров. Для получения резонатора такое волокно расщепляется и сращивается с неповрежденным одномодовым волокном, в результате чего в месте соединения образуется каплеобразная полость длиной около ста микрон, формирующая ИФП. Такая полость, сужающаяся к концу, может служить датчиком давления без диафрагмы. Ранее был разработан волоконно-оптический датчик акустических волн на основе торцевого ИФП с открытым резонатором [4].

Кроме того, при проектировании и эксплуатации датчиков давления на основе ИФП необходимо учитывать их перекрестную чувствительность к температуре, возникающую из-за теплового расширения компонентов ИФП. Для учета температурного дрейфа ранее было предложено использовать волоконную брэгговскую решетку (ВБР), расположенную вблизи ИФП, в качестве датчика температуры [5]. Позднее был предложен метод с использованием адресных волоконных брэгговских структур (АВБС) [6], которые включают в себя две узкополосные ВБР-компоненты. Частотный интервал между ними

находится в радиочастотном диапазоне, что позволяет использовать фотодетекторы (ФД) вместо громоздких оптических спектральных анализаторов.

Структурная схема системы измерения глубины

Предлагается волоконно-оптическая сенсорная система для определения глубины, состоящая из широкополосного лазерного диода (ШЛД), циркулятора, АВБС, ИФП, ФД, блока аналого-цифрового преобразования (АЦП) и блока цифровой обработки (Рис.1).

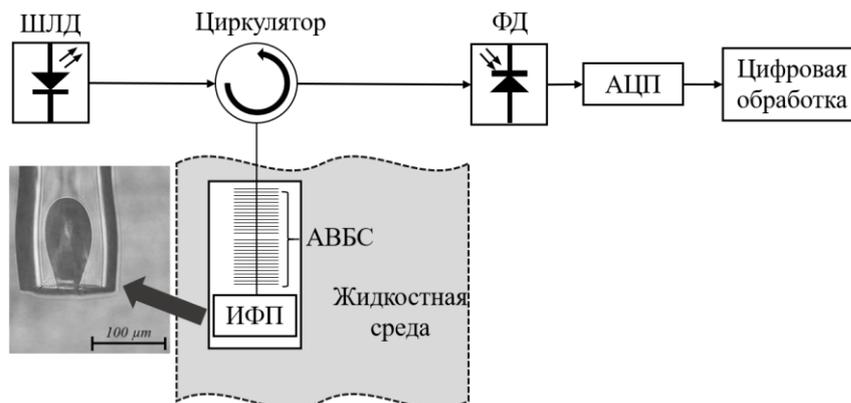


Рис. 2. Структурная схема предложенной системы

Широкополосное лазерное излучение через циркулятор попадает в измерительный зонд, состоящий из АВБС и ИФП, который находится в жидкостной среде. Результирующий оптический сигнал преобразуется в аналоговый электрический сигнал в ФД, после чего преобразуется в цифровой в АЦП. Итоговый сигнал обрабатывается в блоке цифровой обработки.

Заключение

Предложена усовершенствованная волоконно-оптическая система для измерения глубины на основе интерферометра Фабри-Перо. Интеграция ИФП с адресной волоконной брэгговской структурой позволяет эффективно компенсировать температурную поперекрёстную чувствительность и упростить аппаратную часть системы за счёт использования радиочастотного детектирования.

Благодарность

Авторы выражают благодарность за научное руководство профессору кафедры радиофоники и микроволновой технологии КНИТУ-КАИ Морозову О.Г.

Список литературы

1. Duraibabu, D.B. An Optical Fibre Depth (Pressure) Sensor for Remote Operated Vehicles in Underwater Applications / D.B. Duraibabu, S. Poeggel, E. Omerdic et al. // Sensors. – 2017. – Vol. 17, – no. 406. – P. 1-12.
2. Cibula, E. Miniature Fiber-Optic Pressure Sensor with a Polymer Diaphragm / E. Cibula, D. Đonlagić. // Applied Optics. – 2005. – Vol. 441. – P. 2736-2744.

3. Domingues, M.F. Hydrostatic Pressure Sensor Based on Micro-Cavities Developed by the Catastrophic Fuse Effect / M.F. Domingues, T. Paixão, E. Mesquita et al. // SPIE. – 2015. – Vol. 9634. – P. 737–740.
4. Morozov O.G. Fiber-Optic Hydraulic Sensor Based on an End-Face Fabry–Perot Interferometer with an Open Cavity / O.G. Morozov, T.A. Agliullin, A.Zh. Sakhabutdinov et al. // Photonics. – 2024. – Vol. 11, no. 22. – P. 1-16.
5. Ferreira, L.A. Simultaneous Measurement of Displacement and Temperature Using a Low Finesse Cavity and a Fiber Bragg Grating / L.A. Ferreira, A.B. Lobo Ribeiro, J.L. Santos et al. // IEEE Photonics Technol. Lett. – 1996. – Vol. 8. – P. 1519-1521.
6. Morozov, O.G. Addressed fiber Bragg structures in quasi-distributed microwave-photonics sensor systems / O.G. Morozov, A.Zh. Sakhabutdinov // Computer Optics. – 2019. – Vol. 43. – Iss. 4. – P. 535-543.

FIBER-OPTIC FABRY-PEROT INTERFEROMETER AS A DEPTH DETECTION SENSOR

N.A. Petrov, I.Yu. Muravev

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

Abstract. This paper reviews extrinsic fiber-optic Fabry-Perot interferometers (FPI) for water depth measurement. A fiber-optic sensor system for depth detection is proposed, incorporating an addressed fiber Bragg structure (AFBS) for temperature cross-sensitivity and enabling practical signal detection without bulky optical spectrum analyzers.

Keywords: fiber-optic sensors, Fabry-Perot interferometer, addressable fiber Bragg structure, depth measurement.

Статья представлена в редакцию 25 декабря 2025г.