

ДАТЧИКИ СОЛЁНОСТИ ВОДЫ НА ОСНОВЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕРОМЕТРОВ ФАБРИ-ПЕРО

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. Представлен обзор волоконно-оптических датчиков солёности воды на основе интерферометров Фабри-Перо. Рассмотрены три типа сенсорных структур: композитная полость Фабри-Перо с воздушным зазором и кварцевым элементом, открытая полость, созданная фемтосекундным лазерным излучением, и полость, сформированная методом катастрофического плавления с последующим созданием канала для доступа жидкости.

Ключевые слова: волоконно-оптические датчики, интерферометр Фабри-Перо, метод катастрофического плавления, солёность воды.

Введение

Измерение солёности воды является важной задачей в океанографии, гидрологии и промышленных процессах. Традиционные методы измерения обладают ограничениями, связанными с коррозионной стойкостью, электромагнитной совместимостью и возможностью дистанционного контроля. Волоконно-оптические датчики на основе интерферометров Фабри-Перо предлагают альтернативное решение, обеспечивая высокую точность, компактность и возможность работы в агрессивных средах.

Материалы и методы

В работе рассмотрены три типа волоконно-оптических датчиков солёности воды на основе интерферометров Фабри-Перо.

Первый датчик содержит композитную полость ФП, состоящую из воздушной полости длиной $L_{\text{п}}$, за которой следует полость из кварца длиной $L_{\text{кв}}$ (Рис. 1) [1]. Конструкция была реализована методом фрезерования сфокусированным ионным пучком для формирования воздушного зазора в торце одномодового волокна. Повышение солесодержания в воде приводит к сдвигу интерференционного спектра, вызванного зависимостью эффективного показателя преломления в открытой полости от рефрактометрических свойств анализируемой воды.

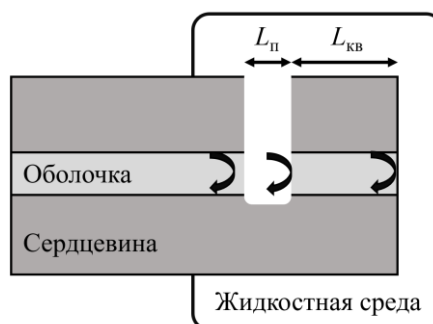


Рис. 1. Структурная схема композитного интерферометра Фабри-Перо

Второй датчик представляет собой открытую полость ФП, созданную с применением фемтосекундного лазерного излучения, что обеспечивает прямой доступ жидкости (Рис. 2) [2]. Принцип действия этого датчика аналогичен описанному выше для первого датчика.

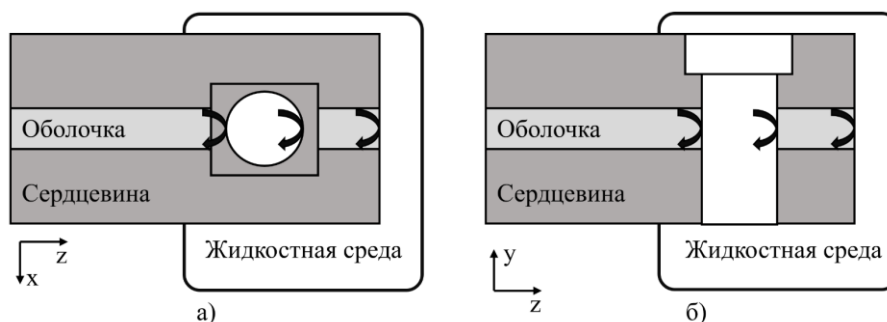


Рис. 2. Структурная схема сквозной полости Фабри-Перо: а) вид сверху б) вид справа

Третий датчик ФП реализован по технологии катастрофического плавления (Рис. 3) [3, 4]. Эта технология включает в себя два этапа: сначала в оптическом волокне формируется квазипериодическая структура микрорезонаторов, которая скалывается и спаивается с неповреждённым одномодовым волокном. Затем кварцевое стекло подвергается термообработке в дуговом разряде, что приводит к слиянию микрорезонаторов в единую макрополость, чьи геометрические параметры контролируются режимами обработки [5]. Для доступа жидкости в макрополость фемтосекундным лазером создаётся канал. Солёность определяется путем рефрактометрического измерения показателя преломления водной среды, заполняющей полость.



Рис. 2. Структурная схема открытой полости Фабри-Перо, сформированной путем катастрофического плавления

Заключение

Все представленные датчики основаны на рефрактометрическом принципе измерения: изменение солёности воды приводит к изменению показателя преломления среды, заполняющей интерферометрическую полость, что вызывает сдвиг интерференционного спектра. Композитная полость Фабри-Перо демонстрирует возможность выбора чувствительности за счёт использования двухслойной структуры. Открытая полость, созданная фемтосекундным лазером, обеспечивает прямой и быстрый доступ жидкости к чувствительному элементу. Датчик на основе катастрофического плавления характеризуется высокой механической прочностью и контролируемыми геометрическими параметрами полости.

Благодарность

Авторы выражают благодарность за научное руководство профессору кафедры РФМТ КНИТУ-КАИ Морозову О.Г.

Список литературы

1. Nguyen, L.V. Water salinity fiber sensor with selectable sensitivity using a liquid-fillable composite in-fiber Fabry-Perot cavity / L.V. Nguyen, M. Vasiliev, K. Alameh // 7th International Symposium on High-capacity Optical Networks and Enabling Technologies, Cairo, Egypt. – 2010. – P. 161-165.
2. Li, C. Fiber Optic Micro-Hole Salinity Sensor Based on Femtosecond Laser Processing / C. Li, C. Fan, H. Wu et al. // Nanomaterials. – 2025. – Vol. 15, – no. 60. – P. 1-13.
3. Antunes, P.F.C. Optical Fiber Microcavity Strain Sensors Produced by the Catastrophic Fuse Effect / P.F.C. Antunes, M. F. F. Domingues, N. J. Alberto et al. // IEEE Photonics Technology Letters. – 2014. – Vol. 26, – no. 1. – P. 78-81.
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.

WATER SALINITY SENSORS BASED ON FIBER-OPTIC FABRY-PEROT INTERFEROMETERS

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. An overview of fiber-optic water salinity sensors based on Fabry-Perot interferometers is presented. Three types of sensor structures are considered: a Fabry-Perot composite cavity with an air gap and a quartz element, an open cavity created by femtosecond laser radiation, and a cavity formed by catastrophic melting followed by the creation of a channel for liquid access.

Keywords: fiber-optic sensors, Fabry-Perot interferometer, catastrophic melting method, salinity of water.

Статья представлена в редакцию 22 декабря 2025 г.