

Многопараметрические внутриволоконные датчики давления, температуры и относительной влажности атмосферного воздуха для контроля протекания суффляционных процессов в ходе эндоскопических операций

**Т.А. Аглиуллин¹, О.Г. Морозов^{*1}, А.Ж. Сахабутдинов¹, Д.С. Грабовецкий¹
Д.И. Нурмухаметов², А.С. Луценко³, Р.С. Пономарев³, В.П. Первадчук²,
А.Ф. Аглиуллин⁴, И.И. Нуреев⁵, Р.А. Юсупов⁶, Д.Н. Матвеев¹**

¹ Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ

² Пермский государственный национальный исследовательский университет

³ Пермский национальный исследовательский политехнический университет

⁴ ООО «МФС»

⁵ НИИ Прикладной электродинамики, фотоники и живых систем

⁶ НИИ Медикобиологической и спортивной инженерии

* E-mail: OGMorozov@kai.ru

DOI:10.31868/RFL.2024.227-228

Контроль концентраций газов, сопутствующих определению состояния оперируемого больного, а также контроль протекания суффляционных процессов являются весьма актуальной задачей. Многопараметрические датчики давления, температуры и концентрации газов, требуемые в приложениях малоинвазивной хирургии МИХ, могут быть реализованы в первом варианте на многослойных концевых датчиках на интерферометрах Фабри-Перо ДФП. Во втором варианте применение ДФП с записанными в них адресных волоконных брэгговских структур АВБС даст возможность знать с какого ДФП поступает информация, снизить сложность и стоимость оптико-электронного интеррогатора ДФП на более простом и дешевым радиофотонном интеррогаторе, воспользоваться преимуществами радиофотонной обработки и повысить чувствительность и динамический диапазон измерения давления, температуры и концентрации газов в ходе эндоскопии желудочно-кишечного тракта ЭЖКТ. В данной работе анализируются новые технологии построения комплексированных волоконно-оптических датчиков (КВОД), состоящих из серии ДФП, перед которой записана АВБС, на примере контроля температуры, давления и относительной влажности атмосферного воздуха, используемого в качестве суффляционного газа.

Проведенный нами анализ принципов построения КВОД для медицинских приложений показал необходимость решения существенной задачи – разрешения компромисса между чувствительностью и механической прочностью. В отличие от составных КВОД из стеклянных капилляров, бессердцевинных волокон и т.п., хорошим кандидатом на решение этой задачи являются ДФП на основе полостей, в которых резонатор изготовлен внутри единого оптического волокна. Полости внутри оптического волокна обычно изготавливаются с помощью сфокусированного ионного луча, фемтосекундной лазерной абляции и химического травления. Однако эти методы требуют либо длительного времени изготовления, либо сложных производственных процессов. Проанализируем для этого новую технологию катастрофического плавления [1].

В этой технологии используются два процесса. На первом этапе внутри оптического волокна SMF-28 за счет эффекта катастрофического плазменного плавления создается квазипериодический массив микрорезонаторов. На втором

этапе производства фрагмент оптического волокна SMF-28 с микрорезонаторами скалывается и сплавляется с неповрежденным одномодовым волокном СМФ-28. Электрическая дуга размягчает кварцевое стекло, а газ внутри микрорезонаторов расширяется. Это приводит к слиянию нескольких микрорезонаторов в одну макрополость диаметром от 30 до 100 мкм. Варьирование силы тока и продолжительности горения дуги, а также количества микрорезонаторов в заготовке позволяет регулировать диаметр и форму макрополости [2].

На рис. 1 представлен эскиз ДФП секции КВОД, которая состоит из трех макрополостей сваренных последовательно. Первая макрополость заполнена поликарбонатом ПК или полиметилметакрилатом ПММА и заварена отрезком волокна, вторая – поливинилацетатом ПВА и также заварена, третья открыта для доступа воздуха или заварена с воздухом внутри. Вторая полость имеет структурированные отверстия для проникновения в нее воздуха. На конце структуры приварена заглушка из отрезка волокна, в котором изготавливались макрополости. Использовано волокно с макрополостями, изготовленное и обработанное в лабораториях Пермского НИПУ и ГНИУ.

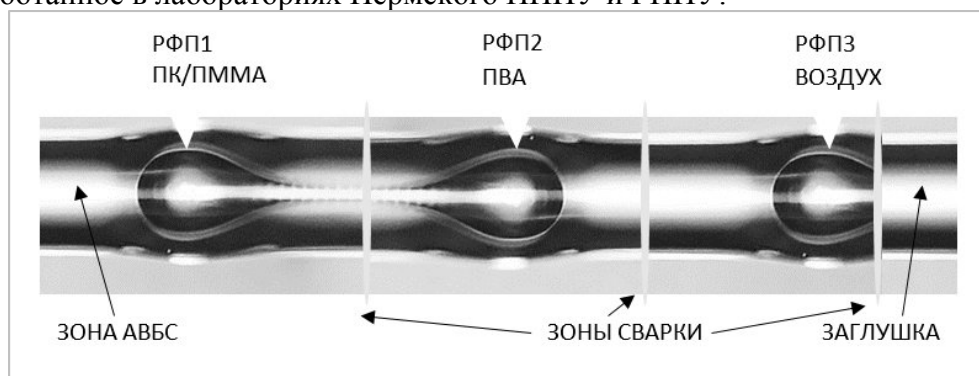


Рис. 1. РФП секции РКВОД

Для дальнейших исследований необходимо применить метод, представленный Лиокумовичем и др. в [3], для оценки отклика многослойного волоконного ДФП, включая случай трехслойного при его спектральном опросе, что будет выполнено в следующих наших работах.

Таким образом, в части повышения надежности работы КВОД в условиях внутриполостных медицинских приложений предложена новая технология изготовления их РФП в структуре единого волокна, основанная на явления катастрофического плавления. Оценки показали [4,5], что такая конструкция КВОД позволит измерять температуру окружающей среды в диапазоне $-60...+300$ °С с чувствительностью ~ 13 пм/°С по АВБС, а также в диапазоне $+10...+60$ °С с чувствительностью ~ -500 пм/°С по последовательной схеме ДФП. При этом относительная влажность по указанной схеме ДФП может измеряться с чувствительностью ~ 400 пм/%RH в диапазоне 20...90%RH, а давление воздуха по параллельной схеме ДФП ~ 400 пм/МПа в диапазоне до 0,5 Мпа.

Литература

- [1] P.F.C. Antunes, M.F.F. Domingues et al, *IEEE Photonics Technol. Lett.* **26**, 78-81 (2014)
- [2] Y.A. Konin, V.A. Scherbakova et al, *J. Opt. Technol.* **88**, 672 (2021)
- [3] L.B. Liokumovich, N.A. Ushakov et al, *St. Petersburg Polytechnic University Journal: physics and mathematics* **15**, 129-146 (2022)
- [4] T. Agliullin, A. Sakhabutdinov et al, *Photonics* **11**, 22 (2024)
- [5] O. Morozov, T. Agliullin et al, *Science and Technology - Recent Updates and Future Prospects* **6**, В Р International (2024), 184 p.