

## НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ВНУТРИВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК

Г.И. Леонович, А.И. Данилин, К.Е. Воронов  
«Самарский национальный исследовательский университет имени  
академика С.П. Королёва», г. Самара

**Ключевые слова:** внутриволоконные брэгговские решетки, датчики и сенсорные системы, направления научных исследований.

Датчики и сенсорные системы на основе внутриволоконных Брэгговских решеток (ВБР) обладают рядом изученных и прогнозируемых свойств, которые требуют дальнейшего исследования с целью расширения сфер их применения. ВБР-датчики отличаются малыми габаритно-весовыми характеристиками, невосприимчивостью к электромагнитным полям, безопасностью, пассивным характером функционирования, высоким быстродействием, устойчивостью к жестким условиям эксплуатации, возможностью создания резервируемых сенсорных сетей со спектрально-временным мультиплексированием датчиков и измерительных каналов. Наиболее распространенные ВБР- датчики и системы построены на однородных дифракционных решетках с периодической модуляцией показателя преломления в сердцевине оптического волокна, которые чувствительны к температуре  $T$  и непосредственным деформирующим воздействиям  $\varepsilon$  (рис. 1) [1, 2].

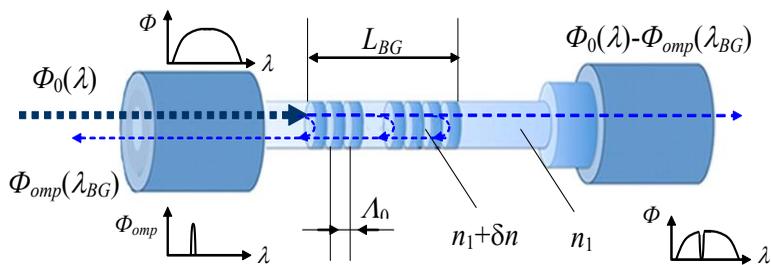


Рисунок 1 – Структура ВБР (с зачищенным сенсорным участком ОВ)

Такая ВБР представляет собой участок ОВ длиной  $L_{BG}=5,0-10,0$  мм, в котором показатель преломления сердцевины  $n_1$  промодулирован в

продольном направлении с пространственным периодом  $L=300\text{--}600$  нм и глубиной модуляции  $\delta n \approx 10^{-4}$ .

Связь между относительным изменением длины брэгговской волны  $\lambda_{BG}$ , изменением температуры  $\Delta T$ , осевым деформирующим воздействием  $\varepsilon$  и изменением показателя преломления определяется как [1]

$$\frac{\Delta \lambda_{BG}}{\lambda_{BG}} = \delta \lambda_{BG} = (1 - p_e) \varepsilon + (\alpha_A + \alpha_n) \Delta T,$$

где  $p_e$  – редуцированный деформационно-оптический коэффициент первого порядка;  $\alpha_A$  – коэффициент температурного расширения ОВ;  $\alpha_n$  – температурно-оптический коэффициент преломления.

По мере развития технологий изготовления ВБР появились возможности для формирования в сердцевине оптоволокна (ОВ) дифракционных решеток сложной конфигурации, а также вариантов сопряжения ВБР с сенсорно-актюаторными структурами (САС), существенно расширяющих спектр измеряемых физических и химических величин [1-5].

В настоящее время к актуальным темам исследований относятся, например, свойства аподизированных решеток, которые в отличие от однородных, имеют более высокое отклонение боковых лепестков спектра. Изучаются способы повышения чувствительности датчиков на основе решеток со сдвигом фазы отраженного света. Управление наклоном профиля решетки инициирует возбуждение мод оболочки, что позволяет использовать ВБР в качестве датчиков показателя преломления и биосенсоров. ВБР, вписанная в ОВ с высоким двулучепреломлением, способна совмещать функции измерения силовой и температурной деформации.

Варьированием периода модуляции показателя преломления по длине решетки формируется чирпированная ВБР (ЧВБР), в которой каждый из участков решетки отражает свою часть спектра, т.е. ЧВБР имеет более широкий спектр отражения, который может варьироваться от нескольких единиц до десятков нанометров. Исследуется девиация спектра, которая носит локально-переменный характер, соответствующий скорости и пространственному смещению источника изменения воздействия по длине ЧВБР. Оценивается возможность использования ЧВБР для обнаружения механических трещин в малогабаритных изделиях, локализации нагрева, измерения скорости детонации.

Одно из перспективных направлений применения сенсорных систем на ВБР – мультигетеродинная спектроскопия с двойной гребенкой. Формируемая источником излучения двойная спектральная гребенка формирует несколько точек спектра, которые чувствительны к изменениям длины волны Брэгга в оптической фазе. Спектральный анализ осуществляется интерферометром, десенсибилизированным к изменениям

амплитуды тонов гребенки. Характеристики сенсорной системы открывают возможности отслеживания быстрых явлений связанных с виброакустикой, детонационными явлениями, химико-биологическими реакциями.

Отдельное научное направление - гибридные ЧВБР-датчики и сенсорные системы. Их отличительная особенность – дополнительная сенсорно-актюаторная структура (САС), тем или иным образом сопряженная с сенсорным участком ЧВБР. САС может быть выполнена в форме пластины, тела сложной конфигурации или пленочного покрытия из материала со стрикционным или иным распределенным по длине ЧВБР динамическим эффектом, инициированным воздействием на нее физической или химической величиной.

1. Леонович Г.И., Олешкевич С.В. Гибридные датчики на волоконно-оптических брэгговских решетках/ Известия СамНЦ РАН, т. 18, № 4(7), 2016. С. 1240-1345.

2. Sahota J. K., N. Gupta, Dhawan D. Fiber Bragg grating sensors for monitoring of physical parameters: a comprehensive review/Optical Engineering, Vol. 59, Issue 6, 060901 (June 2020). <https://doi.org/10.1117/1.OE.59.6.060901>

3. Борисенков И.Л., Воронов К.Е., Леонович Г.И. и др. Применение радиофотонных методов опроса датчиков на основе ВБР // Всероссийская научно-техническая конференция «Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций». — 2022. — С. 15-20

4. Poiana D.A.; Posada-Roman J.E.; Garcia-Souto J.A. Compact interrogation system of fiber Bragg grating sensors based on multiheterodyne dispersion interferometry for dynamic strain measurements/ Sensors 2022, 22, 3561. <https://doi.org/10.3390/s22093561>

5. Tosi D. Review of Chirped Fiber Bragg Grating (CFBG) Fiber-Optic Sensors and Their Applications/ Sensors 2018, 18(7), 2147; <https://doi.org/10.3390/s18072147>

Леонович Георгий Иванович, д. т. н., профессор каф. радиотехники, [leogi1@mail.ru](mailto:leogi1@mail.ru).  
Данилин Александр Иванович, д. т. н., доцент, зав. каф. радиотехники, [aidan@ssau.ru](mailto:aidan@ssau.ru).

Воронов Константин Евгеньевич, к. т. н., директор института космического приборостроения, [voronov.ke@ssau.ru](mailto:voronov.ke@ssau.ru).