

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ ПРОПУСКАНИЯ ДЛИННОПЕРИОДНЫХ ВОЛОКОННЫХ РЕШЕТОК ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

© 2012 А.В. Беринцев¹, И.В. Злодеев¹, О.В. Иванов^{2,1}, С.Г. Новиков¹

¹Ульяновский государственный университет

²Ульяновский филиал института радиоэлектроники им. В.А. Котельникова РАН

Поступила в редакцию 20.11.2012

В статье описывается метод создания длиннопериодных волоконнооптических решеток (ДПВР) модификацией волокна в электрической дуге. Исследуется температурная зависимость спектра пропускания ДПВР на базе SMF-28. Показана возможность применения подобных волоконных структур в качестве датчиков температуры.

Ключевые слова: оптическое волокно, длиннопериодная волоконная решетка, волоконный датчик температуры.

1. ВВЕДЕНИЕ

В связи с развитием автоматизированных систем контроля и управления, внедрением новых технологических процессов, переходом к гибким автоматизированным производствам постоянно растет потребность в различного вида датчиках и сенсорных системах. Кроме высоких метрологических характеристик датчики должны обладать высокой надежностью, долговечностью, стабильностью, малыми габаритами, массой и энергопотреблением, совместимостью с микроэлектронными устройствами обработки информации. Этим требованиям удовлетворяют волоконно-оптические датчики (ВОД).

Существующие волоконно-оптические датчики позволяют детектировать температуру, механические напряжения, а также смещения, вибраций, давление, ускорения, вращения и концентрации химических веществ. Общий принцип работы таких устройств заключается в том, что свет от лазера или суперлюминесцентного оптического источника передается через оптическое волокно или оптоволоконную структуру, испытывая при прохождении некоторое изменение своих параметров под воздействием внешнего

фактора и, затем, достигает схемы детектирования, которая оценивает эти изменения [1, 2].

Существенный интерес для использования в качестве сенсорных элементов в ВОД, в связи с простотой их изготовления, представляют волоконные структуры, основанные на взаимодействии и преобразовании оболочечных мод [3]. К таким структурам относятся длиннопериодные решетки, связывающие однонаправленные моды; брэгговские решетки, возбуждающие встречно направленные моды; интерферометры, основанные на интерференции основной моды сердцевин с одной или несколькими модами оболочки [4]; и другие. Перечисленные волоконные структуры могут быть использованы в качестве датчиков различных физических параметров, в частности, натяжения [5, 6], температуры [7], давления, изгиба [8], показателя преломления внешней среды [9].

Среди приоритетных задач в области разработки датчиков особое место занимают задачи мониторинга среды на объектах атомной энергетики. В связи с условиями эксплуатации датчиков на данных объектах возникают сложности с применением наиболее распространенного решения ВОД на основе брэгговских волоконных решеток. Альтернативой брэгговским датчикам для предприятий атомной энергетики представляются датчики на основе длиннопериодных волоконных решеток.

Основным отличием ДПВР от решеток Брэгга является период изменения показателя преломления в оптическом волокне. Для брэгговских волоконных решеток значение периода имеет тот же порядок, что и длина волны, в то время как для ДПВР значение периода составляет несколько сотен микрометров. В связи с этой физической особенностью ДПВР отличаются простотой изготовления, а также более высокой стойко-

Беринцев Алексей Валентинович, инженер лаборатории твердотельной электроники НИТИ.

E-mail: berints@mail.ru

Злодеев Иван Владимирович, аспирант, инженер лаборатории твердотельной электроники НИТИ.

E-mail: stygwaar@yandex.ru

Иванов Олег Витальевич, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник УФ ИРЭ РАН, старший научный сотрудник НИТИ.

E-mail: olegivvit@yandex.ru

Новиков Сергей Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры радиоп физики и электроники, начальник лаборатории твердотельной электроники НИТИ.

E-mail: novikovsg@ulsu.ru

стью к внешним воздействиям, в частности высоких температур (свыше 300 °С) и ионизирующим излучениям.

2. ЗАПИСЬ ДЛИННОПЕРИОДНОЙ РЕШЕТКИ

Длиннопериодные волоконные решетки могут быть созданы различными способами [10], в частности изменением показателя преломления волокна в электрической дуге. Для создания ДПВР с помощью электрической дуги нами создана установка на базе комплекса КСС-111. Схема установки представлена на рис. 1.

На аппарат для сварки оптоволокна КСС-111 была закреплена неподвижная платформа, по которой перемещается каретка с оптоволоконном. Другой конец оптоволокна проходит между электродами сварочного аппарата и шкив. Для обеспечения натяжения оптоволокна к нему подвешен груз. Управление двигателем каретки и временем модификации осуществляется с компьютера через процессорный модуль. Процессорный модуль собран на микроконтроллере ATmega8L.

Связь с компьютером происходит через преобразователь USB-RS232 с помощью программы, интерфейс которой показан на рис. 2.

Запись ДПВР проводилась на оптическом волокне SMF-28.

На качество записи ДПВР и вид их спектра пропускания оказывают влияние множество различных параметров, таких как ток на источнике питания электрической дуги, время модификации волокна, масса груза, шаг. В процессе использования (рис. 3) установки были подобраны оптимальные параметры для тока (10 мА), времени прожига (0,6 с) и массы груза (8,9 г). При этом установлено, что чем меньше значение тока, тем качественнее получается спектр, удастся избежать дополнительных осцилляций, пики и сам спектр деформируется медленнее, в как следствие, при недостаточной величине тока в условиях ограниченной длины участка деформации спектр не успевает прийти к нужному виду. При высоких значениях тока наблюдается резкая динамика изменений спектра, большое падение общего уровня сигнала и возникновение дополнительных осцилляций. Также существенным стало вве-

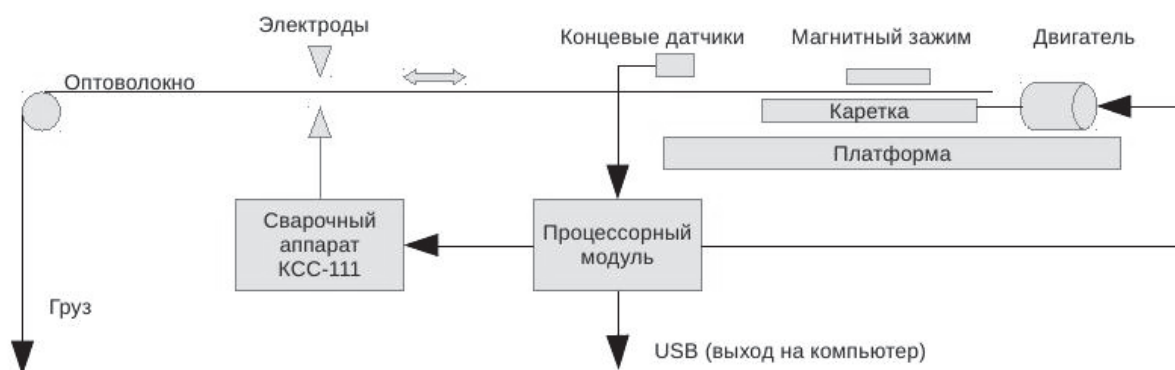


Рис. 1. Схема установки

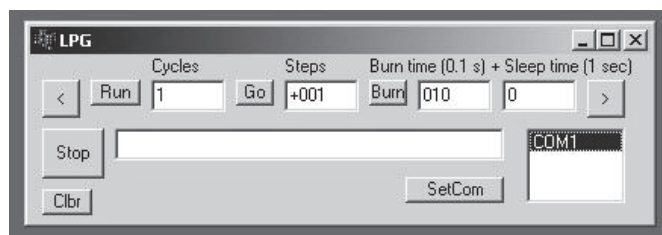


Рис. 2. Интерфейс программы

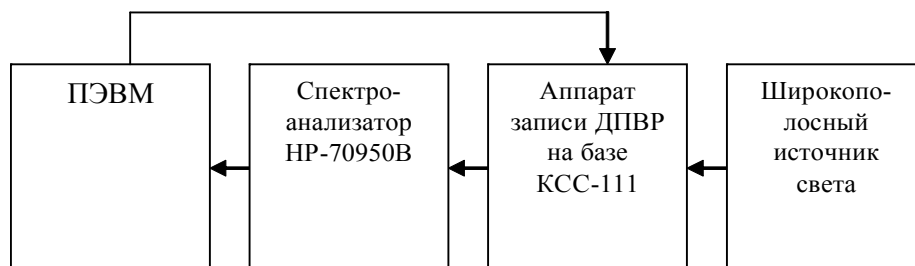


Рис. 3. Комплекс для записи длиннопериодных волоконных решеток

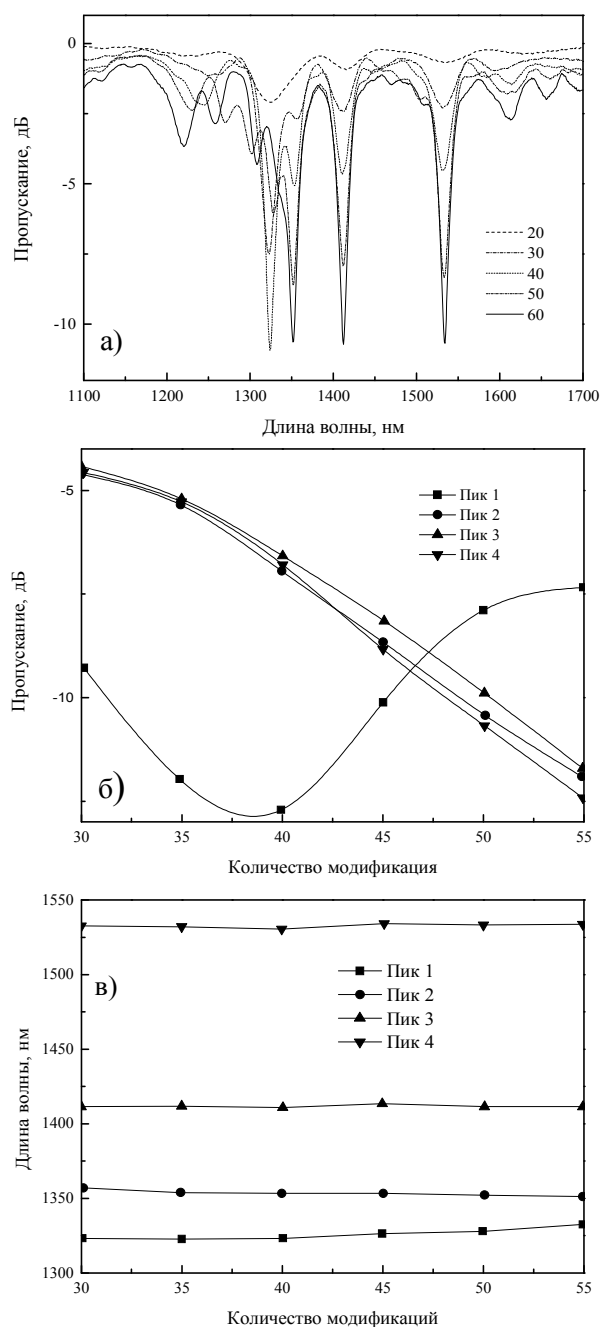


Рис. 4. Спектр пропускания в зависимости от длины волны (а) и зависимость глубины провалов (б) и длины волн провалов (в) от числа периодов ДПВР с периодом 525 мкм

дение в программу записи параметра времени задержки (5 с), что позволило обеспечить качественную запись ДПВР.

Типичный спектр пропускания записываемых решеток можно видеть на рис. 4а. Зависимость глубины провалов от количества модификаций представлена на рис. 4б. При увеличении числа прожогов сами провалы не сдвигаются по длине волны, что можно видеть на рис. 4в.

Определяющим параметром ДПВР является период волоконной структуры (рис 5). Как можно видеть на рис. 6, при увеличении периода

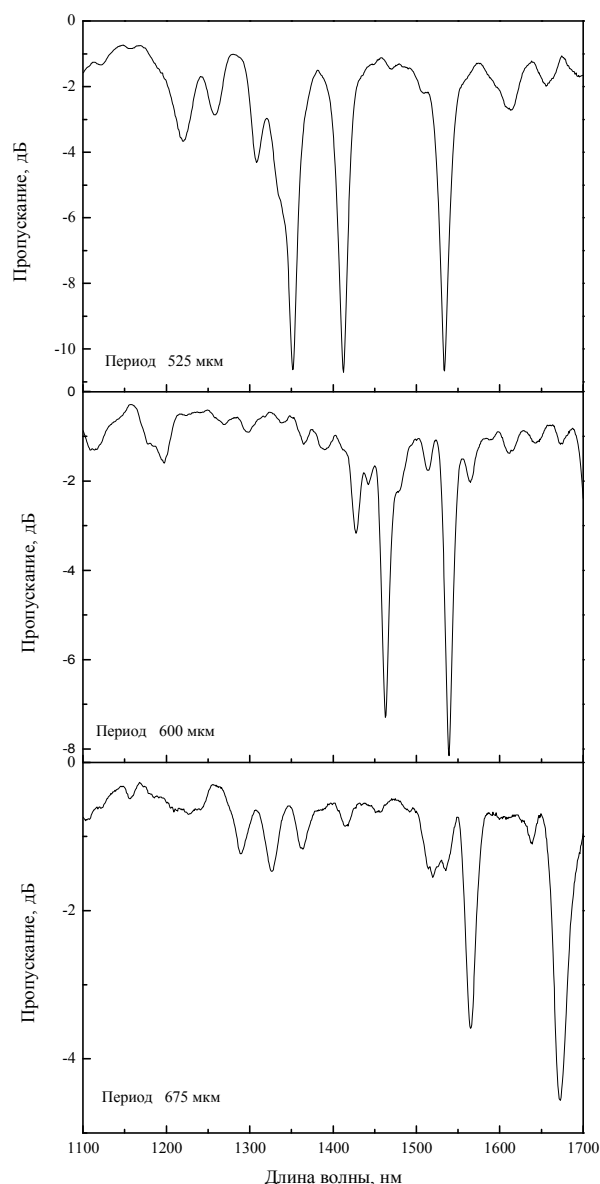


Рис. 5. Спектры пропускания ДПВР с различными периодами

пики пропускание сдвигаются в длинноволновую область. Так же стоит отметить, что при увеличении периода в решетках, записанных при прочих одинаковых условиях, уменьшается общий уровень падения сигнала.

3. ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДПВР

Для определения температурной зависимости спектра пропускания ДПВР был проведен следующий эксперимент. Волокно с записанной длиннопериодной решеткой, проходящее через нагреватель, было закреплено в натянутом состоянии между двумя держателями, таким образом, что сама ДПВР находилась непосредственно в нагревателе. При этом максимально возможно были исключены деформации волоконной структуры, такие, например, как скрутка вдоль оси

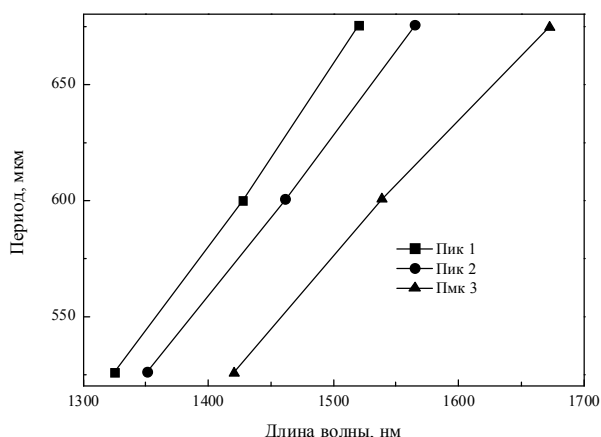


Рис. 6. Зависимости провалов в спектрах пропускания от периода решетки

волокна, что могло привести к деформации спектра пропускания и внести дополнительную погрешность в эксперимент. Один из концов волокна был подведен к широкополосному источнику света, второй – к входу спектроанализатора. Измерение температуры в нагревателе проводилось при помощи термпары.

В процессе эксперимента при повышении

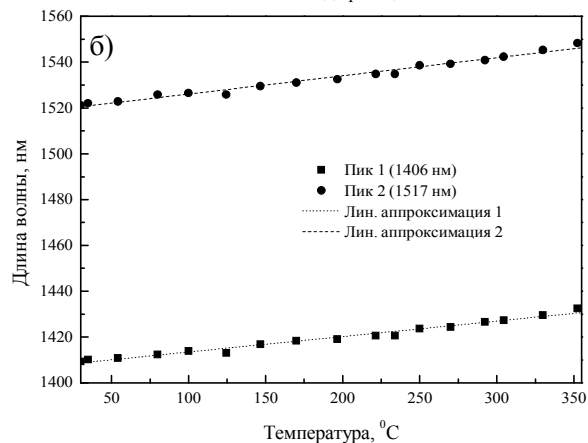
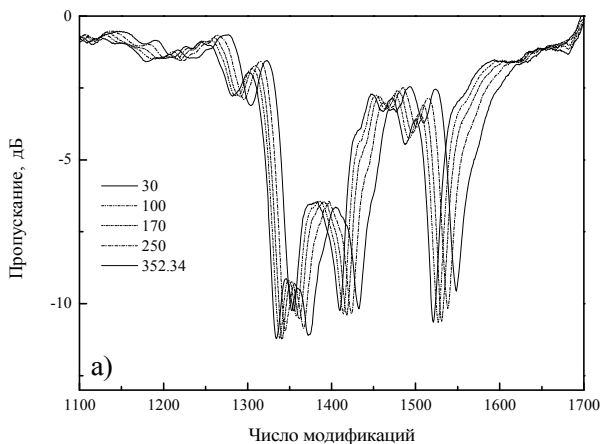


Рис. 7. Температурная зависимость спектра пропускания ДПВР(а) и изменение положения двух пиков спектра пропускания при нагреве волокна(б)

температуры в нагревателе наблюдался сдвиг спектра в длинноволновую область (рис. 7а). При этом зависимость положения провалов от температуры имеет линейный характер (рис 7б), что позволяет рассматривать применение подобных ДПВР в качестве сенсорных элементов волоконно-оптических датчиков температуры.

В проведенном эксперименте по определению температурной зависимости положения резонансных пиков по длине волны ДПВР нагревались до 350°С, причем ограничение по температуре нагрева определялось возможностью имеющегося в наличие нагревателя, а не стойкостью самих записанных решеток. Каких-либо изменений в структуре ДПВР в ходе эксперимента не наблюдалось, что говорит о том, что температуры до 350°С не является предельными для исследуемых ДПВР.

Коэффициенты наклона функций положения провалов в зависимости от температуры составили 0,098 и 0,086 нм/°С соответственно для первого и второго детектируемых пиков. Поскольку в исследуемой волоконной структуре смещение провалов при нагревании происходит неоднородно, можно предположить, что оптоволоконный датчик на основе подобного сенсорного элемента позволит измерять одновременно несколько параметров среды, к примеру, температуры и давления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье показан способ создания длиннопериодных решеток модификацией волокна в электрической дуге. Представлены параметры записи ДПВР. Изучено изменение их спектров пропускания при нагревании. Результаты измерений предполагают возможность использования длиннопериодных решеток в качестве сенсорного элемента волоконно-оптического датчика температуры

В перспективе авторы рассматривают возможность исследования ДПВР под воздействием ионизирующих излучений для оценки возможности применения предложенных сенсорных элементов на объектах атомной энергетики. В данной перспективе также интересно исследование ДПВР записанных на специальных радиационностойких волокнах, что позволит значительно увеличить стойкость датчика к радиации.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках федеральных целевых программ «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 - 2013 годы» и «Исследования

и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Окоси Т., Окамото К., Оцу М. и др.* Волоконно-оптические датчики. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-е, 1990.
2. Волоконно-оптические датчики. Вводный курс для инженеров и научных работников [под ред. Э. Удда]. Москва: Техносфера, 2008
3. *Иванов О.В., Никитов С.А., Гуляев Ю.В.* Оболочечные моды волоконных световодов и их применение // Успехи физических наук. 2006. Т. 176. №2. С. 175-202.
4. *Дианов Е.М., Васильев С.А., Медведков О.И., Фролов А.А.* Динамика наведения показателя преломления при облучении германосиликатных световодов различными типами УФ излучения // Квантовая электроника, 1997. Т. 24. №9. С. 805-808.
5. *Liu Y. and Wei L.* Low-cost high-sensitivity strain and temperature sensing using graded-index multimode fibers // Applied Optics. 2007. V.46. P. 2516-2519.
6. *Kumar D., Sengupta S., Ghorai S.K.* Distributed strain measurement using modal interference in a birefringent optical fiber // Measurements Science and Technology. 2008. V.19. Art. no. 065201.
7. *Chen T.-J.* Use of liquid-crystal-clad fiber as modal filter for a two-mode fiber-optic interferometer // Optics Letters. 2004. V.29. P. 2852-2854.
8. *Frazzo O., et al.* Optical inclinometer based on a single long-period fiber grating combined with a fused taper // Optics Letters. 2006. V.31. P. 2960-2962.
9. *Кульчин Ю.Н., Витрик О.Б., Гурбатов С.О.* Спектр изогнутого волоконного интерферометра Фабри - Перо при малых вариациях показателя преломления внешней среды // Квантовая электроника, 2011. Т. 41. № 9. С. 821-823.
10. *Иванов О.В.* Распространение электромагнитных волн в анизотропных и бианизотропных слоистых структурах. Ульяновск: УЛГТУ, 2010.

INVESTIGATION OF TRANSMISSION SPECTRA IN LONG-PERIOD FIBER GRATINGS UNDER HIGH TEMPERATURES

© 2012 A.V.Berintsev¹, S.G.Novikov¹, I.V. Zlodeev¹, O.V. Ivanov^{1,2}

¹Ulyanovsk State University

²Ulyanovsk branch of Kotelnikov Institute of Radio-engineering and Electronics RAS

This paper describes a method to create long-period fiber gratings (LPFG) by fiber modification in an electric arc. The temperature dependence of transmission spectrum of an LPFG written in SMF-28 fiber is investigated. It is shown that these fiber structures could be used as fiber temperature sensors.

Key words: optical fiber, long-period fiber grating, temperature fiber sensor

Alexei Berintsev, Engineer at the Solid Electronics Laboratory, Research Institute of Technology. E-mail: berints@mail.ru

Ivan Zlodeev, Graduate Student, Engineer at the Solid Electronics Laboratory, Research Institute of Technology. E-mail: stygwaar@yandex.ru

Oleg Ivanov, Doctor of Physics and Mathematics, Senior Research Fellow at the Research Institute of Technology, Senior Research Fellow at the Ulyanovsk Branch of IRE RAS. E-mail: olegivvit@yandex.ru

Sergey Novikov, Candidate of Technics, Associate Professor at the Radiophysics and Electronics Department, Ulyanovsk State University. E-mail: novikovsg@ulsu.ru