

способность измерений, используя при этом преимущества многочастотного зондирования датчиков для проведения измерений на радиочастоте огибающей биений между двумя или несколькими составляющими зондирующего излучения. Скорость опроса может быть увеличена до десятков МГц, разрешающая способность до единиц Гц. Мультипликативность измерений может быть достигнута за счет применения ВРБ со специальной формой спектра (асимметричной треугольной, чирпированной, с фазовым π -сдвигом, трапецеидальной и т.д.) и их зондирования симметричными по спектру излучениями или многочастотными излучениями с различными разностными частотами на разных участках спектра ВРБ.

В докладе рассмотрены принципы построения, методы анализа и синтеза интеррогаторов комплексированных ВОД, основанных на радиофотонных методах многочастотного зондирования датчиков и обработке полученной измерительной информации по радиочастотным огибающим сигнала биений между его компонентами для определения спектральных характеристик ВОД, как основных характеристик измерительного преобразования, включая создание новых типов датчиков со специальной формой спектра, адаптированных к указанным радиофотонным методам интеррогации, для получения от них раздельного отклика на воздействия физических полей различной природы с высокими разрешением и скоростью опроса.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках проектной части госзадания на оказание услуг по организации научных исследований, выполняемых ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ» на кафедре радиофотоники и микроволновых технологий и в научно-исследовательском институте прикладной электродинамики, фотоники и живых систем (программа «Радиофотоника», задание 3.1962.2014К).

1. Касимова Д.И., Кузнецов А.А., Крыницкий П.П. и др. Оценка возможностей применения волоконных решеток Брэгга с гауссовым профилем отражения в качестве датчика температуры // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2013. – № 2 (18). – С. 73-81.
2. Morozov O.G., Nureev I.I., Sakhabutdinov A.Zh. et al. Software defined down-hole telemetric systems: training course // Proc. of SPIE. – 2014. – V. 9533. – P. 953311.
3. Морозов О.Г., Нуреев И.И., Феофилактов С.В. и др. Вопросы применения концепции программно-определяемых сетей для систем внутрискважинной волоконно-оптической телеметрии // Нелинейный мир. – 2014. – Т. 12. – № 10. – С. 83-90.
4. Нуреев И.И. Постановка задач калибровки совмещенных датчиков давления и температуры // Нелинейный мир. 2015. Т. 13. № 8. С. 26-31.
5. Сахабутдинов А.Ж., Салахов Д.Ф., Нуреев И.И., Морозов О.Г. Процедура решения задач калибровки совмещенных датчиков давления и температуры // Нелинейный мир. 2015. Т. 13. № 8. С. 32-38.

OF-TD РЕФЛЕКТОМЕТРИЯ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН С РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ОТРАЖАТЕЛЕМ БРЭГГОВСКОГО ТИПА

Попов С.М., Бутов О.В., Волошин В.В., Воробьев И.Л., Вяткин М.Ю.,
Колосовский А.О., Чаморовский Ю.К.

Институт радиотехники и электроники РАН, Московская обл., Фрязино

Оптические волокна (ОВ) находят своё применение как в области оптической связи, так и в области сенсорики (температуры, механического натяжения). Одной из проблем при создании распределенных волоконных датчиков является низкий коэффициент обратного рассеяния (отражения). Обычно увеличение этого коэффициента достигается с помощью точечной записи волоконных брэгговских решеток (ВБР). Однако для задач распределённого мониторинга необходимо заполнение ВБР по всей длине ОВ, т.е. создание ОВ с распределёнными ВБР. Мы значительно упростили технологию записи ВБР в процессе вытяжки ОВ, применив стандартный способ записи решеток УФ лазером (CL-5100 с длиной волны генерации 248 нм), через фазовую маску (с периодом 1070 нм). При этом ОВ

заполняются очень большим массивом слабых ВБР (до 10000 штук в одном ОВ и эта величина может быть существенно увеличена) [1-3]. Скважность расположения таких решеток и спектр отражения может изменяться параметрами режимов вытяжки и генерации эксимерного лазера. Максимально достигнутый уровень отражения составляет ВБР 50 дБ на $\lambda=1.55$ мкм от уровня рассеяния Рэля (см. рис. 1,2 – 30..35 дБ на $\lambda=1552$ нм). Следует отметить, что в предложенном методе сохраняется возможность изменения резонансной длины волны ВБР по длине вытягиваемого ОВ за счет изменения режимов вытяжки или параметров вытягиваемого ОВ, которые могут быть «заложены» в специальных заготовках для таких ОВ. Кроме того, такой способ позволяет записывать решетки со специальным профилем спектра отражения, например chirпированные решетки. В качестве покрытий ОВ с записанными ВБР используется как обычное полимерное покрытие, так и покрытие из алюминия. Использование в качестве покрытия ОВ с ВБР алюминия позволяет создать такие ОВ герметичными и эксплуатировать их при температурах до примерно 550⁰С и высоких давлениях.

Для исследования оптических свойств полученных образцов ОВ была использована техника OFTD рефлектометрии [4], которая реализована в серийно выпускаемом приборе Luna 4600 (компания Luna Technologies). Принцип работы прибора основан на методике частотной интерферометрии. В данном интерферометре в одно из плеч включается (через ответвитель на отражение) исследуемое ОВ. Источником излучения является перестраиваемый узкополосный лазер. Сигнал с интерферометра (с помощью фотоприёмника) оцифровывается синхронно для каждой длины волны лазерного источника. Таким образом, получается массив интерферограмм. Затем происходит математическая обработка полученного массива - обратное преобразование Фурье «частота – координата». В результате получают рефлектограммы с высоким пространственным разрешением (теоретический предел ~20 мкм) и значительным динамическим диапазоном - до 97 дБ. Кроме того, из полученного массива данных можно выделить другую полезную информацию (спектр отражения исследуемого ОВ, состояние поляризации на выходе, фазы сигнала в каждой точке ОВ). Время проведения измерения с последующей математической обработкой – менее 10 сек.

На рис. 1. представлен образец рефлектограммы ОВ изготовленного в ИРЭ РАН и спектр (рис. 2), отражения данного ОВ с ВБР.

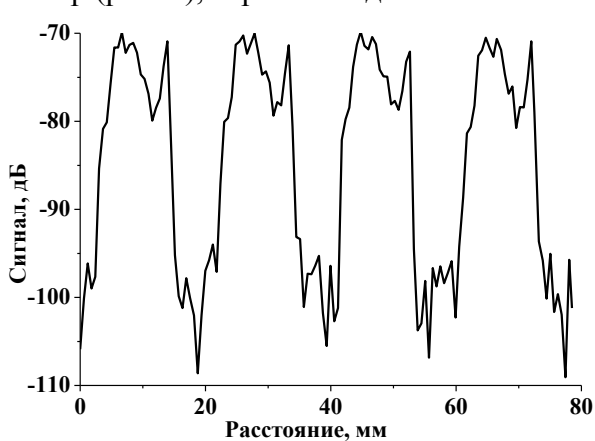


Рис. 1. OFOTD рефлектограмма рефлекторного ОВ

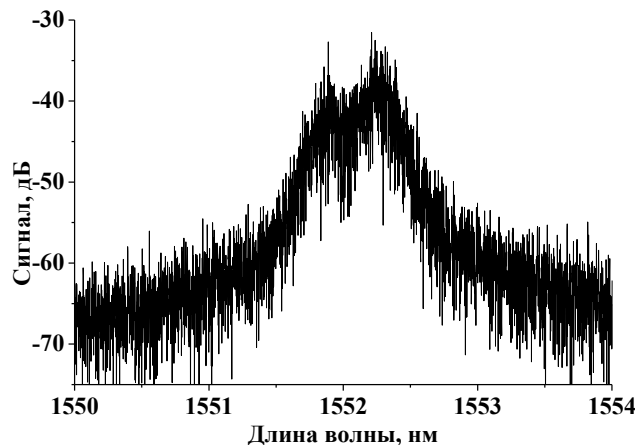


Рис. 2. Спектр отражения рефлекторного ОВ

ОВ с покрытием из алюминия подвергались как нагреву до 6000С, так и охлаждению до криогенных температур (жидкий азот -1950С). Спектральная чувствительность полученных ОВ с ВБР была постоянна и составила величину ~0.014 нм/⁰С на $\lambda=1.55$ нм. Полученные образцы в полимерном покрытии подвергались растяжению. Коэффициент сдвига резонансной частоты 0.013 нм/г на $\lambda=1.55$ нм. Также выполнялось исследование прочности полученных металлизированных ОВ с ВБР подвергнутых нагреву при температурах 470-5500С методом слома по двум точкам. Полученные распределения

Вейбулла ОВ с ВБР практически не отличаются от ОВ с покрытием из алюминия, но без решеток.

Авторы надеются, что полученные ОВ с непрерывными ВБР с измерением методикой частотной рефлектометрии найдут своё применение в сенсорных системах. Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 14-29-08195 и РФФИ № 16-32-60109 мол_a_дк.

1. S. M. Popov, Yu. K. Chamorovsky, P. Mégret, I. O. Zolotovskii, A. A. Fotiadi «Brillouin Random Lasing in Artifice Rayleigh Fiber», *Optical Communication (ECOC), 2015 European Conference on Year: 2015 Valencia, Spain 27 September - 1 October 2015. Pages: 1 - 3, DOI: 10.1109/ECOC.2015.7341709*
2. Попов С.М., Чаморовский Ю.К. «Оптические волокна с отражателем брэгговского типа», *Нелинейный мир, 2016, №1*
3. И.А. Зайцев, О.В. Бутов, В.В. Волошин, И.Л. Воробьев, М.Ю. Вяткин, А.О. Колосовский, С.М. Попов, Ю.К. Чаморовский «Оптическое волокно с распределенным отражателем брэгговского типа», *«Радиотехника и Электроника», 2016, том 61, № 6*
4. B. Soller, D. Gifford, M. Wolfe and M. Froggatt, "High resolution optical frequency domain reflectometry for characterization of components and assemblies," *Optics Express, Jan. 2005, 13:666-674*

ПОДАВЛЕНИЕ МОДУЛЯЦИОННОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ В ВОЛОКНЕ С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ДИСПЕРСИЕЙ КАК СПОСОБ УВЕЛИЧЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ РАБОТЫ КОГЕРЕНТНОГО ОПТИЧЕСКОГО РЕФЛЕКТОМЕТРА

¹Улановский Ф.И., ^{1,2}Кузьменков А.И., ^{1,2}Наний О.Е., ²Никитин С.П., ²Трещиков В.Н.

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

²Научно-технический центр Т8, Москва

Когерентная рефлектометрия является перспективным методом мониторинга протяженных объектов [1]. В современных коммерческих когерентных рефлектометрах максимальная дальность измерений обычно не превышает 40 - 45 километров (при затухании ~0,2 дБ/км и без дополнительного усиления). Увеличение дальности может быть достигнуто увеличением энергии зондирующих импульсов, что на практике ограничено развитием нелинейных эффектов в волокне. Для импульсов длительностью ~100 нс модуляционная неустойчивость (МН) развивается раньше других нелинейных эффектов и ведёт к ухудшению статистической видимости когерентных рефлектограмм [2]. Этот эффект ограничивает мощность зондирующих импульсов, посылаемых в волокно, на уровне ~ 100 мВт [2].

В настоящей работе экспериментально и теоретически изучено развитие МН в волокнах трех разных типов: TrueWave RS LWP (с ненулевой смещенной дисперсией), SMF-28 ULL (с затуханием <0,17 дБ/км) и MetroCore (с отрицательной дисперсией). Когерентный рефлектометр «Дунай» компании «Т8» генерировал прямоугольные импульсы 200 нс на длине волны 1550 нм. Оптический спектр на выходе из волокон, регистрировался анализатором спектра. Рефлектограммы регистрировалась фотоприёмником с осциллографом, обеспечивающими полосу приема ~2 ГГц. Численный анализ статистических свойств рефлектограмм использовался для изучения динамики развития МН в разных типах волокон, результаты сравнения трёх типов волокон представлены на рис. 1.

В волокнах с положительной дисперсией экспериментально наблюдались периодические изменения интенсивности рефлектограмм [3], связанных с рекурсией Ферми–Паста–Улама [4].