

ТЕЙПЕРНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ВОЛОКНА С МАССИВОМ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЁТОК

**Попов С.М.^{1,*}, Бутов О. В.², Колосовский А.О.¹, Волошин В.В.¹,
Воробьёв И.Л.¹, Исаев В.А.¹, Вяткин М.Ю.¹, Фотиади А.А.^{3,4}, Чаморовский Ю.К.¹**

¹ Фрязинский филиал института Радиотехники и Электроники РАН г. Фрязино, Россия

² Институт Радиотехники и Электроники РАН г. Москва, Россия

³ Политехнический факультет университета г. Монс, Бельгия

⁴ Ульяновский Государственный университет ул. Льва Толстого 42, г. Ульяновск, Россия

*E-mail: sergei@popov.eu.org

DOI 10.24411/2308-6920-2019-16081

Оптические волокна (ОВ) в данное время, как для линий передачи связи, так и в сенсорных системах. В последнем случае для создания распределённых сенсорных систем требуются оптические волокна, которые должны иметь обратный сигнал, значительно превышающий уровень обратного рассеяния Рэлея. Обычно для увеличения обратного сигнала применяются волоконные брэгговские решётки (ВБР). Запись таких решёток обычно выполняется поточечно, шаг за шагом, когда сначала снимается покрытие ОВ, производится запись, осуществляется перепокрывание ОВ с переходом к следующему участку ОВ с повтором всей процедуры [1]. Такая процедура приводит к значительному увеличению обратного сигнала, но также приводит к уменьшению механической прочности массива ВБР. Это значительно сокращает область применения таких массивов ВБР. Кроме того, количество ВБР в таком массиве ограничено. Нами разработано ОВ с ВБР запись которого производится во время процесса вытяжки ОВ [2, 3]. Формирование массива ВБР в таком ОВ выполняется с помощью УФ-лазера через фазовую маску. Количество ВБР на 100 метрах такого ОВ может достигать 10000 штук. Увеличение обратного сигнала по сравнению с уровнем рассеяния Рэлея достигает примерно 50 дБ на $\lambda=1550$ нм. Типичная ширина спектра отражения массива ВБР составляет величину 0.3 нм. Используя чирпированную фазовую маску для записи массива ВБР возможно получить ширину спектра отражения массива 4 нм. Это крайне необходимо для применения массивов ВБР в системах когерентной рефлектометрии работающих в широких диапазонах температур.

Альтернативным вариантом расширения спектра отражения это запись массива ВБР в тейперном ОВ. Известно, что длина волны отражения ВБР λ определяется как $\lambda = n_{\text{eff}} \Lambda_{\text{pm}}$ [4], где Λ_{pm} - период фазовой маски, n_{eff} - эффективный показатель преломления. Изменение диаметра ОВ приводит к изменению эффективного показателя преломления и в свою очередь максимума длины волны отражения ВБР записанной в таком ОВ. При этом длина тейперного перехода определяется длиной вытягиваемого ОВ, т.е. может достигать нескольких километров, а коэффициент тейперирования ОВ может достигать 18 [5].

На рис. 1. представлены пространственные профили изменения диаметра и длины волны отражения образца №1 тейперного оптического волокна с массивом волоконных брэгговских решёток (ТОВМВБР) (а) и его интегральный спектр отражения (б).

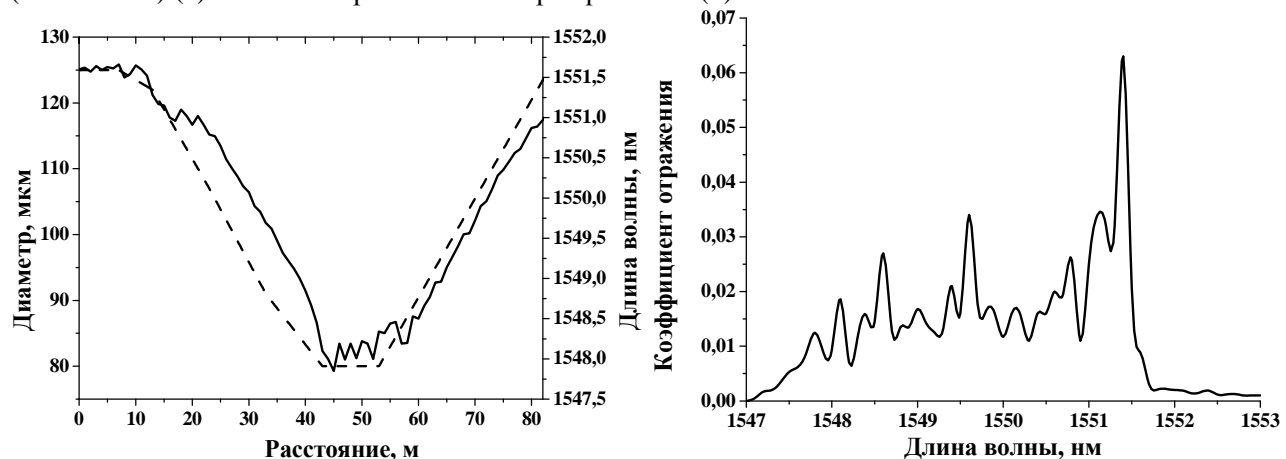


Рис. 1. Пространственный профиль ТОВМВБР №1 (а) и интегральный спектр отражения (б) измеренный спектральным методом. Пунктирная кривая соответствует изменению диаметра ОВ

Для записи ВБР использовалась фоточувствительная заготовка легированная бором с разницей п.п. сердцевина – оболочка 0.025. Диаметр ОВ менялся в диапазоне 80...125 мкм. Ширина спектра отражения достигал величины 4 нм. Коэффициент отражения на отдельных длинах волн достигает величины 6%. Длина волны отсечки - 1350 нм для диаметра ОВ 125 мкм. Пространственный профиль длины волны отражения ТОВМВБР измерен методом частотной рефлектометрии [6].

Данное ТОВМВБР было исследовано в работах [7, 8] в качестве резонатора случайного лазера с различной длиной волны накачки. Установлено, что длины обратной связи, рассчитанные из частот продольных мод лазерной генерации, в зависимости от длины волны накачки хорошо совпадают с пространственным профилем ТОВМВБР.

На рис. 2. представлены пространственные профили изменения диаметра и длины волны отражения образца №2 ТОВМВБР (а) и его интегральный спектр отражения (б). Для записи ВБР также использовалась фоточувствительная заготовка легированная бором с разницей п.п. сердцевина – оболочка 0.025. Длина волны отсечки - 1350 нм для диаметра ОВ 125 мкм. Диаметр ОВ менялся в диапазоне 125...225 мкм. Ширина спектра отражения достигает величины 4 нм. Коэффициент отражения на отдельных длинах волн достигает величины 5%.

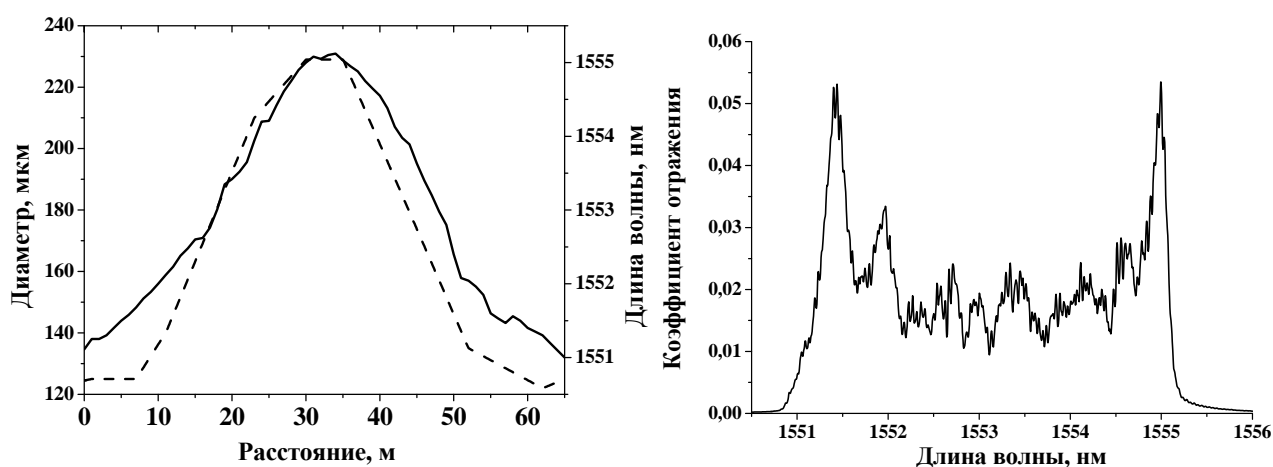


Рис. 2. Пространственный профиль ТОВМВБР №2 (а) и интегральный спектр отражения (б) измеренный спектральным методом. Пунктирная кривая соответствует изменению диаметра ОВ

Данное ТОВМВБР было исследовано в работе [9]. Показано, что данное ТОВМВБР может быть использовано в качестве простого датчика температуры. Качество пучка, измеренное методом M^2 на выходе данного образца в многомодовой части, имеет величину 1.03-1.05.

Авторы надеются, что разработанные ТОВМВБР найдут своё применение в качестве резонаторов волоконных лазеров и усилителей, сенсорных системах высокого пространственного разрешения и чувствительности, а также в оптических процессорах.

Работа выполнена в рамках государственного задания и при частичной поддержке грантов РФФИ 17-07-01388 А и РФФИ 18-42-732001 Р-МК.

Литература

1. O. V. Butov, et al, In-Fibre Bragg Gratings For Sensor Applications At High Temperatures in Optical Fibre Communication Conference on CD-ROM, The Optical Society of America, Washington, DC (2004)
2. И.А. Зайцев и др. Радиотех. Эл. 61, 602-608 (2016)
3. Sergei M. Popov, et al, Optical Fibres with arrays of FBG: Spring (PIERS), St. Petersburg, Russia, 22-25 May 2017, IEEE Xplore, pp. 1568 – 1573 (2017)
4. T. Osuch, Tapered and linearly chirped fiber Bragg gratings with co-directional and counter-directional resultant chirps, Opt. Comm. 366, 194–199 (2016)
5. J. Kerttula, et al, Mode evolution in long tapered fibers with high tapering ratio, Opt. Exp. 20, 25461–25470 (2012)
6. B. Soller, et al, Opt. Exp., 13, 666-674 (2005)
7. S. M. Popov, et al, Brillouin lasing in single-mode tapered optical fiber with inscribed Fiber Bragg Grating Array, Results in Physics, 9, 625-627 (2018)
8. S.M. Popov, et al, Short cavity Tunable Brillouin Random Laser, 18th International Conference, Laser Optics (ICLO) 2018, St. Petersburg, Russia 4–8 June 2018, IEEE Xplore, pp.299 (2018)
9. Yu.K. Chamorovskiy, et al, Long tapered fibre with array of FBG, Optical Fiber Technology, 50, 95-98 (2019)