

ИСКУССТВЕННЫЕ РЭЛЕЕВСКИЕ ВОЛОКНА ДЛЯ ЗАДАЧ ПРИКЛАДНОЙ ФОТОНИКИ

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, Рыбалтовский А.А.²
Фотиади А.А.^{3,4}, Li Xia⁵, Zhuoying Wang⁵, Чаморовский Ю.К.¹

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

²Институт Радиотехники и Электроники РАН г. Москва, Россия

³University of Mons г. Монс, Бельгия

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

⁵Хуачжунский университет науки и технологии, г. Ухань, Китай

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

Оптические волокна (ОВ) в данное время используются, как в качестве линий передачи информации, так и в сенсорных системах. В последнем случае для создания распределённых сенсорных систем часто требуются оптические волокна, которые должны иметь обратный сигнал, значительно превышающий уровень обратного рассеяния Рэлея. Актуальность задачи создания ОВ с повышенным обратным сигналом вызвано активным развитием таких новых направлений прикладной фотоники как [1-4]: случайные лазеры, когерентная рефлектометрия и 3D shape sensing.

Обычно для увеличения обратного сигнала применяются волоконные брэгговские решётки (ВБР). Запись таких решёток 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 [5]. 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 [6-7]. 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 (контраст) достигает примерно 50 дБ на $\lambda=1550$ нм. Типичная ширина спектра отражения массива ВБР составляет величину 0.3 нм. Используя chirpированную фазовую маску для записи массива ВБР возможно получить ширину спектра отражения массива 4 нм. Это необходимо для применения массивов ВБР в системах когерентной рефлектометрии работающих в широких диапазонах температур. Запись массива ВБР возможна как в ОВ, вытягиваемых из фоточувствительной заготовки, так и в обычном одномодовом телекоммуникационном ОВ типа SMF-28 (см. рис.1). В последнем случае контраст записи достигает величины 55 дБ на $\lambda=1550$ нм, что значительно превышает уровень рассеяния Рэлея и расширяет возможности применения такого ОВ в системах когерентной рефлектометрии [8-9].

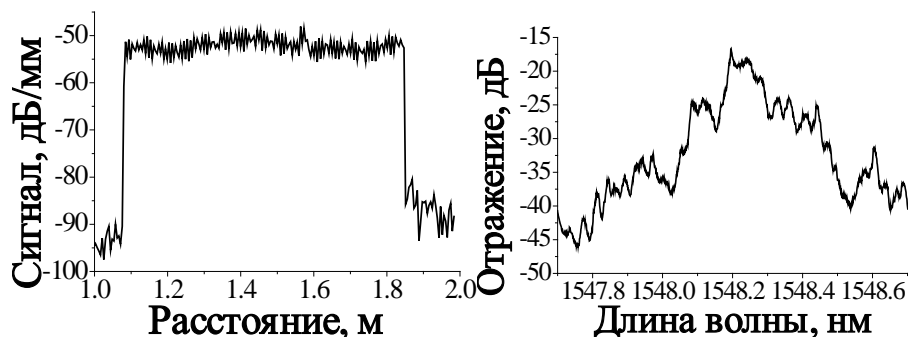


Рис. 1. Частотная рефлектограмма (слева) массива ВБР и спектр отражения массива длиной 1 метр, записанный во время вытяжки ОВ из заготовки типа SMF-28

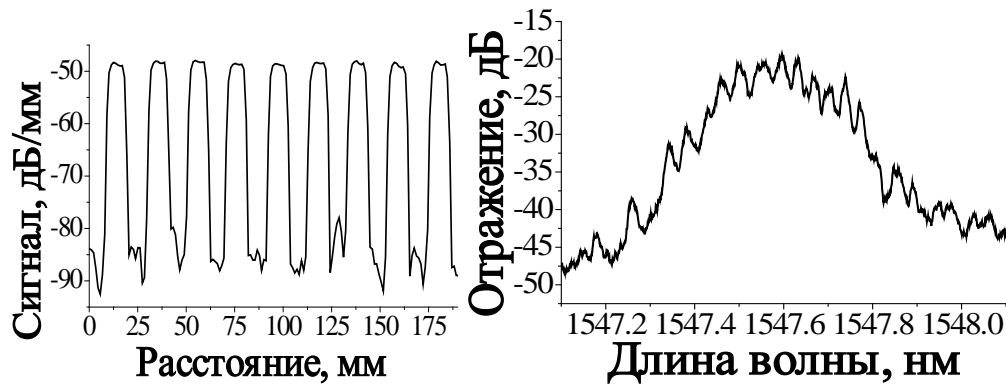


Рис. 2. Частотная рефлектограмма (слева) массива ВБР и спектр отражения массива длиной 1 м, записанный во время вытяжки ОВ из заготовки легированной ионами иттербия

Запись массивов ВБР также возможно производить во время вытяжки ОВ легированного ионами редкоземельных элементов (эрбия и иттербия). Это позволяет создать ОВ, совмещающие в себе как повышенную отражательную способность, так и возможность формирования динамических решёток, которые важны для спектральной селекции лазерного излучения [10-11].

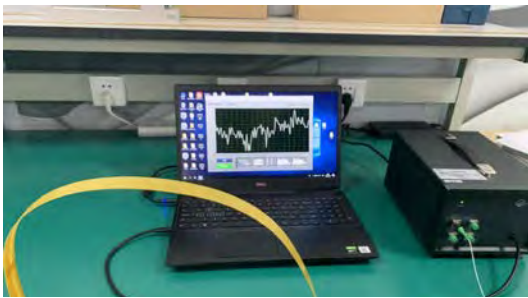


Рис. 3. Датчик растяжения на основе принципа СВЧ-демодуляции сигнала с использованием ОВ с массивом ВБР, записанным при вытяжке

Частотная рефлектограмма и спектр отражения массива ОВ, легированного ионами иттербия показаны на рис. 2. Контраст записи достигает величины 50 дБ на длине волны 1547.6 нм (период фазовой маски 1070 нм). При использовании фазовой маски с периодом 729.5 нм длина волны отражения массива ВБР уменьшается до 1060 нм, что позволяет использовать такие ОВ для получения случайной лазерной генерации на длине волны 1060 нм.

Кроме того, новым направлением использования ОВ с массивом ВБР является использование их в системах СВЧ демодуляции сигнала высокой пропускной способности [12]. На рис. 3 показан пример использования такого ОВ в датчике растяжения.

Работа выполнена в рамках государственного задания и при частичной поддержке гранта РФФИ и ГФЕН Китая № 20-57-53013. Работа Р.А.А. поддержана грантом РФФИ № 20-08-00822 А. Работа Ф.А.А. поддержана грантами Министерства Образования и науки РФ (программа Мегагрант № 2020-220-08-1369) и грантом РФФИ №18-12-00457.

Литература

1. S.Turitsyn, S.Babin, A.El-Taher et al., *Nature Photon* **4**, 231–235 (2010)
2. A.Fotiadi, *Nature Photon* **4**, 204–205 (2010)
3. Shatalin S.V., Treschikov V.N. and Rogers A.J. *Applied Optics* **37**, 5600-5604 (1998)
4. Jason P.Moore and Matthew D.Rogge, *Optics Express* **20**, 2967-2973 (2012)
5. 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)*
6. И.А.Зайцев и др. *Радиоотех. Эл.* **61**, 602-608 (2016)
7. Sergei M.Popov et al, *Optical Fibres with arrays of FBG: Properties and application Spring (PIERS), St. Petersburg, Russia, 22-25 May 2017, IEEE Xplore*, 1568 – 1573 (2017)
8. S.M.Popov et al., *Quantum Electron* **49**, 1127–1131 (2019)
9. D.R.Kharasov et al., *Quantum Electron* **50**, 510–513 (2020)
10. S.M.Popov et al., *Results in Physics* **16**, 102868 (2020)
11. S.M.Popov et al., *Proc. SPIE* **11357**, 113571Q (1 April 2020)
12. M.Zhang et al., *Opt. Comm.* **285**, 3082-3087 (2012)