

УДК 681.7.063

ЗАПИСЬ УЗКОПОЛОСНЫХ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ ОТРАЖАТЕЛЕЙ ОДИНОЧНЫМ ИМПУЛЬСОМ ЭКСИМЕРНОГО ЛАЗЕРА МЕТОДОМ ФАЗОВОЙ МАСКИ

С.В. Варжель, А.В. Куликов, В.А. Асеев, В.С. Брунов, В.Г. Калько, В.А. Артеев

Представлены результаты записи брэгговских решеток в двулучепреломляющем оптическом волокне с повышенной фоторефрактивностью одиночным импульсом КгF эксимерного лазера длительностью 20 нс на длине волны 248 нм. Экспериментально получены решетки Брэгга в двулучепреломляющем оптическом волокне с эллиптической напрягающей оболочкой с эффективностью более 10% и шириной спектра отражения на полувывоте около 0,1 нм. На основании экспериментально полученных данных вычислены длина биений и эффективный показатель преломления для каждой из выделенных осей двулучепреломляющего волокна.

Ключевые слова: волоконная брэгговская решетка, двулучепреломление, фоторефрактивность, фазовая маска, эксимерный лазер.

Введение

Брэгговские решетки в настоящее время широко используются в оптических волокнах (ОВ) и планарных волноводах для уплотнения каналов по длине волны (WDM-технология), оптической фильтрации сигналов, как резонаторные зеркала в волоконных и полупроводниковых лазерах, сглаживающие фильтры в оптических усилителях, для компенсации дисперсии в каналах связи. Другой областью применения волоконных брэгговских решеток (ВБР) является использование их в различных измерительных системах – датчиках для регистрации изменений условий окружающей среды, таких как температура, давление, деформация, присутствие или отсутствие химических соединений [1].

Широко применяемые на сегодняшний день методы записи ВБР позволяют изготавливать брэгговские решетки с эффективностью 0,1–99,9% и шириной полосы отражения 0,05–10 нм. Индуцирование решеток Брэгга в ОВ одиночным импульсом эксимерного лазера методом фазовой маски является наиболее простым и эффективным, так как позволяет исключить из схемы записи дорогостоящие виброизолирующие столы, развязанные фундаменты и основания, необходимые при многоимпульсной записи, и при этом получать решетки с требуемыми характеристиками.

В ходе настоящей работы для записи решеток Брэгга применялось оптическое волокно, легированное 16% диоксидом германия (GeO_2), полученное по технологии [2, 3]. Метод легирования заготовок для вытяжки оптического волокна GeO_2 является наиболее простым, эффективным и дает неизменяемый во времени коэффициент приращения фоточувствительности. Кроме того, увеличение фоторефрактивности на стадии формирования заготовок в перспективе позволяет осуществлять запись массивов ВБР в процессе вытяжки оптического волокна. К недостаткам выбранного метода относится увеличение линейных оптических потерь световода. Для используемого в работе двулучепреломляющего волокна с напрягающей эллиптической оболочкой с 16% содержанием GeO_2 потери составляют около 18 дБ/км на длине волны 1550 нм, при этом потери в двулучепреломляющем ОВ с эллиптической напрягающей оболочкой с 4% содержанием GeO_2 , изготовленном по той же технологии [2, 3], не превышают 1 дБ/км на длине волны 1550 нм. Оптические потери в применявшемся двулучепреломляющем ОВ с 16% содержанием GeO_2 приемлемы для волоконно-оптических измерительных систем на основе ВБР.

Характеристики лазера и схема записи ВБР

В работе применялся эксимерный лазер Lambda Physic Complex 102 с энергией в импульсе около 150 мДж при использовании газовой смеси КгF. Схема записи ВБР, представленная на рис. 1, аналогична схеме, использованной авторами для записи решеток Брэгга в кристалл ниобата лития [4].

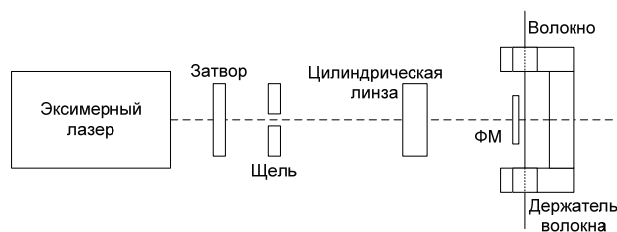


Рис. 1. Схема записи ВБР

Лазер генерирует импульсы длительностью 20 нс на длине волны 248 нм с частотой 1 Гц. Затвор позволяет выделить одиночный импульс из их последовательности, когда лазер уже выведен в стационарный режим работы. Щель отфильтровывает не используемую в процессе записи площадь лазерного пучка. Цилиндрическая линза фокусирует лазерный пучок по одной из осей для достижения требуемой плотности энергии.

Одиночный лазерный импульс, проходя через фазовую маску (ФМ) с периодом $\Lambda_{\text{ФМ}} = 1065,3$ нм, оптимизированную для длины волны 248 нм, дифрагирует на +1 и -1 порядки (рис. 2). Интерференционная картина +1 и -1 порядков осуществляет запись решетки показателя преломления (ПП) в сердцевине оптического волокна, закрепленного на расстоянии нескольких микрометров от ФМ в магнитном держателе.

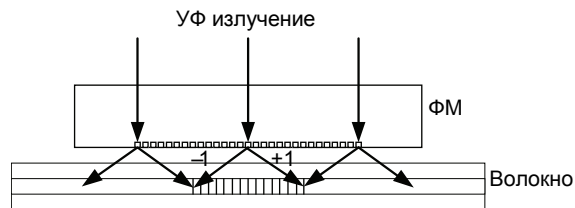


Рис. 2. Дифракция на фазовой маске

Лазерный пучок имеет прямоугольную форму с длинами сторон 22×8 мм. На рис. 3, а, б, продемонстрирована зависимость видности интерференционной картины от смещения относительно центра пучка по короткой и по длинной осям соответственно [5]. На рис. 3 видно, что при смещении по длинной оси отсутствует резкая зависимость видности интерференционной картины от смещения относительно центра пучка.

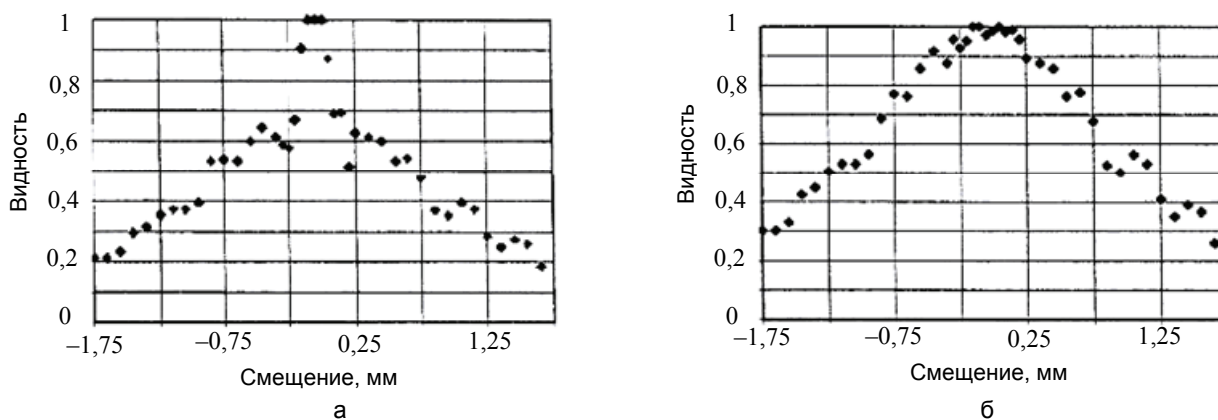


Рис. 3. Зависимость видности интерференционной картины от смещения относительно центра пучка: а) по короткой оси; б) по длинной оси

Таким образом, фокусировка пучка по короткой оси имеет ряд существенных преимуществ: более равномерное распределение энергии по площади пучка; плавная зависимость видности интерференционной картины от смещения относительно центра пучка; возможность записи ВБР длиной до 22 мм при наличии соответствующей ФМ.

Результаты исследования

На рис. 4 представлена схема измерения параметров ВБР по отражению с помощью узкополосного перестраиваемого лазера THORLABS INTUN TL 1550-B. Настоящий лазер позволяет осуществлять выбор длины волны в диапазоне 1510–1620 нм с шагом 0,005 нм. С помощью контроллера поляризации (КП) осуществляется ввод излучения в одну из выделенных осей двулучепреломляющего оптического волокна. Мощность френелевского отражения от сколотого торца волокна принимается за опорный уровень. Измерение уровня сигнала отражения брэгговской решетки производится при подавлении френелевского отражения за счет терминирования сколотого торца волокна с помощью иммерсии с соответствующим показателем преломления. Экспериментально установленный уровень шума в данной схеме соответствует отражению в 0,01%, что позволяет регистрировать ВБР с точностью до 0,1%.

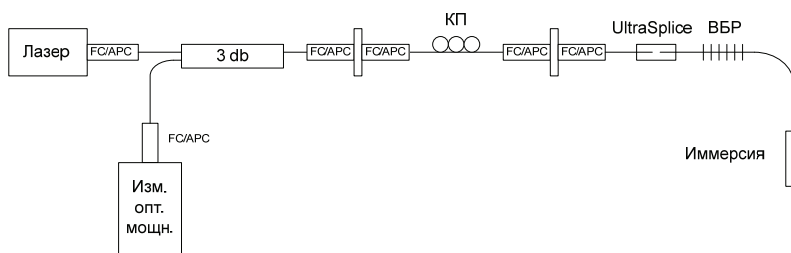


Рис. 4. Схема измерения параметров решеток

На рис. 5 представлены спектры отражения ВБР для двух ортогональных выделенных осей двулучепреломляющего волокна, поочередно выведенных на максимум с помощью КП. Решетка записана с одного импульса в волокно с напрягающей эллиптической оболочкой с 16% GeO₂. Представленная ВБР была записана при плотности энергии импульса эксимерного лазера на волокне около 950 мДж/см².

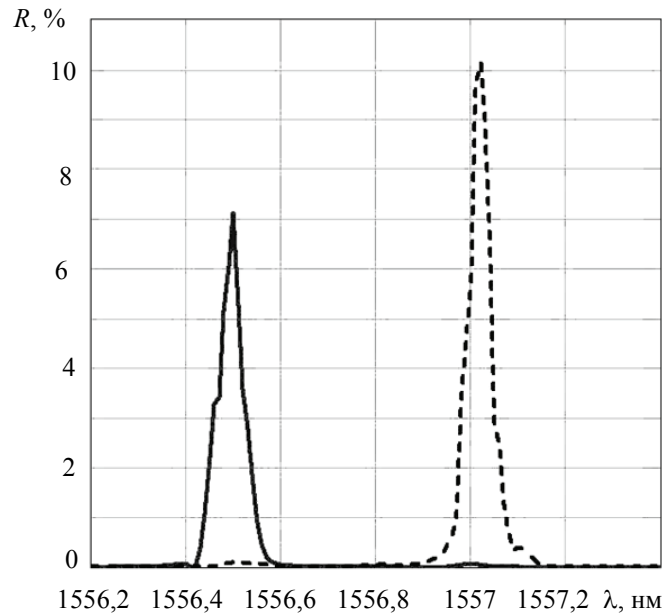


Рис. 5. Спектры отражения ВБР для двух ортогональных выделенных осей двулучепреломляющего волокна: сплошная линия – быстрая ось; пунктирная линия – медленная ось

Пик на длине волны 1556,50 нм имеет ширину на полувысоте, равную 0,08 нм, и эффективность $R=7,1\%$. Пик на длине волны 1557,02 нм имеет ширину на полувысоте, равную 0,09 нм, и эффективность $R=10,2\%$. Наличие неосновного пика на каждом из графиков (рис. 5) обусловлено неточностью ввода поляризованного излучения в выделенную ось двулучепреломляющего волокна. Достигнутый коэффициент отражения позволяет создавать волоконно-оптические датчики различных физических величин на основе ВБР.

Расстояние между двумя пиками отражения, соответствующими двум ортогональным поляризациям, составляет 0,52 нм и определяется коэффициентом двулучепреломления анизотропного волокна. Полученное значение центральной длины волны отражения ВБР ($\lambda_{\text{БР}}$) и известный период ФМ ($\Lambda_{\text{ФМ}}$) позволяют вычислить, в соответствии с условием Брэгга, эффективный показатель преломления ($n_{\text{эфф}}$) для каждой из двух ортогональных осей двулучепреломления:

$$n_{\text{эфф}} = \frac{\lambda_{\text{БР}}}{\Lambda_{\text{ФМ}}}.$$

Расчитанные значения $n_{\text{эфф}}$ для быстрой и медленной осей двулучепреломляющего волокна с эллиптической напрягающей оболочкой, использованного в работе, составили 1,46109 и 1,46158 соответственно. Полученные значения $n_{\text{эфф}}$ для каждой из ортогональных осей двулучепреломляющего ОВ позволяют вычислить длину биений [6]:

$$L_{\beta} = \frac{\lambda}{n_y - n_x},$$

где n_x, n_y – значения эффективного показателя преломления для быстрой и медленной осей двулучепреломляющего волокна.

Расчитанное значение L_{β} для двулучепреломляющего ОВ с эллиптической напрягающей оболочкой, использованного в работе, составило 3,163 мм на длине волны 1550 нм.

Заключение

В ходе работы был создан лабораторный стенд для записи ВБР одиночным импульсом эксимерного лазера длительностью 20 нс с длиной волны излучения 248 нм методом фазовой маски. Продемонстрирован образец решетки Брэгга в двулучепреломляющем оптическом волокне с эллиптической напрягающей оболочкой, полученный на настоящем стенде, с эффективностью более 10% и шириной спектра отражения на полувысоте около 0,1 нм. Полученные результаты подтверждают возможность применения данного метода для получения узкополосных волоконных брэгговских отражателей одиночным импуль-

сом эксимерного лазера. Также на основании экспериментальных данных вычислены длина биений и эффективный показатель преломления для каждой из выделенных осей двулучепреломляющего волокна.

Авторы выражают благодарность М.А. Ероньяну и К.В. Дукельскому за предоставленные образцы двулучепреломляющего оптического волокна с эллиптической напрягающей оболочкой, легированного 16% GeO₂, и полезные обсуждения в ходе выполнения настоящей работы.

Литература

1. Кукушкин С.А., Осипов А.В., Шлягин М.Г. Образование микропор в оптическом волокне под воздействием импульсного УФ света высокой интенсивности // Журнал технической физики. – 2006. – Т. 76. – № 8. – С. 73–84.
2. Дукельский К.В., Ероньян М.А., Комаров А.В., Кондратьев Ю.Н., Ромашова Е.И., Серков М.М., Хохлов А.В. Тонкие анизотропные одномодовые волоконные световоды с эллиптической напрягающей оболочкой // Оптический журнал. – 2000. – Т. 57. – № 10. – С. 104–106.
3. Буреев С.В., Дукельский К.В., Ероньян М.А., Злобин П.А., Комаров А.В., Левит Л.Г., Страхов В.И., Хохлов А.В. Технология крупногабаритных заготовок анизотропных одномодовых световодов с эллиптической оболочкой // Оптический журнал. – 2007. – Т. 74. – № 4. – С. 85–87.
4. Брунов В.С., Варжель С.В., Никоноров Н.В., Стригалева В.Е. Создание фотоиндуцированных брэгговских дифракционных структур в кристалле ниобата лития с помощью ультрафиолетового наносекундного эксимерного импульсного лазера // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2011. – № 74. – С. 26–29.
5. Mayer E., Gillett D., Govorkov S. Fiber Bragg Grating Writing by Interferometric or Phase-Mask Methods Using High-Power Excimer Lasers // Fiber and Integrated Optics. – 1999. – V. 18. – № 3. – P. 189–198.
6. Meltz G., Morey W.W. Bragg grating formation and germanosilicate fiber photosensitivity // Proc. SPIE. – 1991. – V. 1516. – P. 185–199.

<i>Варжель Сергей Владимирович</i>	– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, vsv187@gmail.com
<i>Куликов Андрей Владимирович</i>	– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, a.kulikov86@gmail.com
<i>Асеев Владимир Анатольевич</i>	– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, научный сотрудник, aseev@oi.ifmo.ru
<i>Брунов Вячеслав Сергеевич</i>	– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, студент, brunov@oi.ifmo.ru
<i>Калько Владимир Геннадьевич</i>	– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, студент, vovan-de-mort@mail.ru
<i>Артеев Виктор Александрович</i>	– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, студент, art-viktor@yandex.ru