

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на диссертацию Вольфа Алексей Анатольевич
«ПОТОЧЕЧНАЯ ФЕМТОСЕКУНДНАЯ ЗАПИСЬ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК В
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДАХ»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.05 – оптика

Диссертация А.А.Вольфа посвящена моделированию, экспериментальной реализации и исследованию свойств периодических структур (волоконных решеток) в специализированных кварцевых световодах, в том числе многомодовых и многосердцевинных, создаваемых фемтосекундным излучением иттербиевого лазера с длиной волны ~ 1030 нм. Данное направление исследований является актуальным и значимым в связи с тем, что многомодовые и многосердцевинные световоды начинают активно применяться в телекоммуникационных, сенсорных и лазерных системах, а фемтосекундная (фс) модификация является практически единственным способом создания волоконных брэгговских решеток (ВБР) в них. Диссертационная работа А.А.Вольфа представляет собой комплексное теоретическое и экспериментальное исследование физических основ технологии и параметров решеток, получаемых при поточечной фемтосекундной модификации кварцевых световодов излучением иттербиевого лазера через пластиковую оболочку (в т.ч. полиимидную), как одномодовых, так и многомодовых, многосердцевинных, в результате чего создан ряд практических устройств фотоники.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка цитируемой литературы, а также списка обозначений и сокращений.

Во введении описывается область исследований и ее состояние на момент начала работы, определяются цели и задачи, обосновываются актуальность, значимость и научная новизна работы. Приводится изложение основного содержания работы по главам и данные о публикациях по теме диссертации, в конце формулируются защищаемые положения.

Первая глава носит обзорный характер и посвящена рассмотрению поперечных мод в волоконных световодах, а также основам теории связанных мод, дающей представление о спектральных свойствах ВБР, а также параметрах, влияющих на эти свойства. Также приведен обзор методов фс лазерной записи ВБР, позволяющий получить представление о существующих технологических ограничениях, связанных с тем или иным методом записи ВБР и обоснован выбор метода поточечной записи.

Вторая глава посвящена разработке нового метода поточечной записи ВБР путем протяжки покрытого полиимидом волоконного световода через прозрачную стеклянную феррулу с помощью высокоточного линейного позиционера. Для уменьшения влияния ошибок позиционирования в поперечном направлении в методе используется обратная связь между положением сердцевинки световода и точкой фокусировки фс пучка., что позволило формировать качественные ВБР длиной от 0.1 мкм до 50 мм. Для полученных образцов изучены спектральные характеристики и проведено их сравнение с расчетными, продемонстрировавшее хорошее согласие между собой. Далее производится доработка уже созданной экспериментальной схемы с целью записи ВБР с фазовыми сдвигами в структуре с добавлением пьезоактюатора. По предложенной методике созданы образцы ВБР с одним и двумя фазовыми сдвигами на полпериода в пассивном волоконном световоде без сохранения поляризации и активном эрбиевом волоконном световоде с сохранением поляризации, который затем был впервые успешно применен в качестве резонатора РОС-лазера.

Третья глава посвящена исследованию возможностей поточечной фс записи ВБР в 7-сердцевинных волоконных световодах разного типа: как с прямыми, так и закрученными по спирали сердцевинами. Будет показано, что расположение ВБР в массиве, а также их резонансные длины волн, могут быть заданы требуемым образом, как в продольном, так и в поперечном направлениях МВС, при этом модификация может быть произведена через защитное покрытие световода. Данная возможность имеет важное значение для сенсорных

применений, в которых волокно испытывает механическое воздействие. Причем запись ВБР в выбранной сердцевине МВС с закрученными боковыми сердцевинами реализована впервые.

Четвертая глава посвящена исследованию возможностей поточечной фс записи ВБР в многомодовом волоконном световоде с градиентным профилем показателя преломления с целью селекции основной и высших поперечных мод с помощью ВБР, записанных непосредственно в центре и при поперечном сдвиге области модификации относительно центра сердцевины. Проанализированы особенности спектральных характеристик таких ВБР. Применение записанных ВБР в качестве выходного зеркала ВКР-лазера на основе градиентного световода с прямой диодной накачкой показало, что в такой конфигурации качество пучка может быть существенно улучшено по сравнению с другими работами по ВКР-лазерам с прямой диодной накачкой, вплоть до селекции основной поперечной моды. В диссертации А.А.Вольфа получены следующие основные результаты:

- Продемонстрирован новый метод фс поточечной записи ВБР через защитное покрытие путем протяжки волоконного световода через феррулу, который позволяет записывать как короткие (0.1 мм), так и длинные (50 мм) ВБР. Отклонения сердцевины, возникающие в процессе протяжки через феррулу, компенсируются с помощью системы автоподстройки.

В результате в одномодовом пассивном световоде с полиимидным защитным покрытием созданы образцы ВБР, чьи спектральные характеристики имеют хорошее соответствие с расчетными. В случае длинной ВБР (50 мм) ширина резонанса составила 16.5 пм.

2. Предложен новый метод введения фазовых сдвигов в структуре ВБР при фс поточечной записи. Задание фазового сдвига осуществляется в процессе записи ВБР при помощи пьезоэлемента. Для демонстрации работоспособности метода, в пассивном одномодовом волокне были записаны ВБР длиной до 34 мм с одним и двумя фазовыми π -сдвигами. Экспериментально измеренная ширина окна пропускания ВБР с одним сдвигом составила 0.55 пм, что является минимальным известным значением, полученным для метода фс поточечной записи. Показано, что 37-мм ВБР с фазовым π -сдвигом, записанная в активном эрбиевом световоде, позволяет получить одночастотную генерацию лазера с распределенной обратной связью на ее основе с шириной линии 20 кГц, и отношением сигнал-шум выходной мощности 71 дБ.

3. Предложен способ поточечной фс записи однородных и неоднородных ВБР в каждой из сердцевин 7-сердцевинного ВС с прямыми и с закрученными по спирали сердцевинами. На основе точечного массива ВБР в 7-сердцевинном ВС с закрученными по спирали сердцевинами продемонстрирован векторный датчик изгиба, позволяющий измерять направление и радиус кривизны изгиба световода с помощью одноканальной схемы опроса с точностью 3%.

4. Изучена возможность селекции поперечных мод в многомодовом волоконном световоде с помощью ВБР, созданных методом фемтосекундной поточечной записи. Запись ВБР в волокне с градиентным профилем показателя преломления Corning 62.5/125 показала, что пространственное положение ВБР в поперечном сечении волокна определяет количество и эффективность отражения поперечных мод многомодового световода. Наиболее эффективная селекция основной моды LP_{01} происходит при модификации центральной части сердцевины, а смещение в поперечном направлении ВБР приводит к увеличению отраженной мощности кольцевых мод. Использование слабоотражающей поточечной ВБР, записанной в центральной области световода, в качестве выходного зеркала резонатора ВКР-лазера с прямой диодной накачкой позволило получить рекордное для данного типа лазера качество выходного пучка $M2 = 1.2$.

Хотел бы отметить, что многие из экспериментальных подходов, предложенных в работе, реализованы впервые, при этом они доведены до практического использования, что подтверждается дальнейшим развитием этих подходов и большим количеством не вошедших в диссертацию работ, выполненных в соавторстве с другими группами, в том числе зарубежными.

Содержание диссертационной работы соответствует указанной специальности, а автореферат полностью отражает ее содержание. По материалам диссертации автором опубликованы 5 статей в ведущих профильных рецензируемых журналах, сделано большое количество докладов на российских и международных конференциях.

Таким образом, диссертация Вольфа Алексей Анатольевич является законченной научной работой, в которой проведено всестороннее исследование процессов поточечной фемтосекундной записи ВБР специализированных кварцевых световодов, в том числе многомодовых и многосердцевинных. По объему и уровню проведенных исследований, научной новизне результатов, их научной и практической значимости диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Вольф А. А. несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика.

Научный руководитель -
Заведующий лабораторией волоконной оптики,
директор ИАиЭ СО РАН,
член-корреспондент РАН,
доктор физико-математических наук

Подпись Бабина С.А. заверяю:
И.о. ученого секретаря ИАиЭ СО РАН,
кандидат физ.-мат. наук

