

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента д.ф.-м.н. Иванова Олега Витальевича

на диссертацию работу Вольфа Алексея Анатольевича

### **«ПОТОЧЕЧНАЯ ФЕМТОСЕКУНДНАЯ ЗАПИСЬ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДАХ»**

на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

по специальности 01.04.05 – оптика

Диссертационная работа Вольфа Алексея Анатольевича посвящена разработке методов записи волоконных брэгговских решеток с помощью фемтосекундных лазерных импульсов инфракрасного диапазона, поточечно изменяющих показатель преломления материала, в специализированных волоконных световодах для сенсорных и лазерных применений. Исследуются возможности технологии поточечной записи решеток через защитное покрытие волоконного световода, а также факторы, влияющие на спектральные характеристики получаемых решеток. Разрабатывается метод формирования фазовых сдвигов в процессе поточечной записи и опробуется для волоконных световодах различных типов. Метод поточечной записи используется при создании однородных и неоднородных решеток в многосердцевинных и градиентных световодах.

#### **Актуальность**

В настоящее время волоконные брэгговские решетки находят широкое применение в системах волоконно-оптической связи, волоконных лазерах и в волоконно-оптических датчиках. Активно развивающимся методом создания волоконных брэгговских решеток является технология основанная на модификации показателя преломления оптического волокна с помощью фемтосекундных лазерных импульсов. Преимуществом этого метода является поточечный контроль периода и амплитуды решетки, возможность записи в нефоточувствительных материалах, а также прямую запись через защитное покрытие волоконного световода, что позволяет создавать решетки без нарушения изначальной структуры световода. Ограниченная в малом объеме модуляция

показателя преломления делает возможным запись решеток с заданным распределением возмущения по сечению волокна и формирование сложных пространственных структур, в частности, в многомодовых и многосердцевинных волоконных световодах. В связи с этим актуальным является разработка и исследование способов расширения возможностей указанного метода поточечной фемтосекундной записи волоконных брэгговских решеток.

### **Структура и содержание диссертационной работы**

В первой главе описаны физические основы процессов, лежащих в основе метода поточечной записи брэгговских решеток с помощью фемтосекундных импульсов инфракрасного диапазона. Приводится краткий обзор по расчету мод волоконных световодов, основы теории связанных мод, а также по методам фемтосекундной лазерной записи волоконных брэгговских решеток.

Во второй главе предложен новый метод поточечной записи волоконных брэгговских решеток пучком фемтосекундного лазера, который фокусируется через прозрачную стеклянную феррулу внутри оптического волокна, перемещаемого высокоточным линейным позиционером с использованием обратной связи между положением сердцевинки и точкой фокусировки. Исследован способ записи решеток с фазовыми сдвигами, которые формируются с помощью пьезоактюатора, производящего дополнительное продольное смещение волокна на заданную величину. С использованием предложенной техники были созданы образцы решеток с одним и двумя фазовыми сдвигами в пассивном и активном эрбиевом волоконных световодах. Решетка эрбиевом световоде была использована в качестве зеркала резонатора лазера с распределенной обратной связью.

В третьей главе приводятся результаты исследования поточечной записи решеток в 7-сердцевинных волоконных световодах. Представлены экспериментальные результаты по записи массивов решеток в световодах, имеющих как прямые, так и закрученные по спирали сердцевинки. Показано, что расположение решеток в волокне, а также их резонансные длины волн, могут быть заданы требуемым образом, как в продольном, так и в поперечном направлениях, при

этом модификация может быть произведена через защитное покрытие световода.

В четвертой главе рассмотрена поточечная запись брэгговских решеток в многомодовом волоконном световоде с градиентным профилем показателя преломления. Исследована возможность селектирования мод с помощью решеток, записанных с поперечным смещением области модификации относительно оси волокна. Образец слабоотражающей поточечной решетки был использован для селектирования основной поперечной моды в ВКР-лазере. Показано, что в такой конфигурации при ваттных уровнях выходной мощности качество пучка может быть существенно улучшено.

### **Научная новизна**

К наиболее важным новым результатам диссертационной работы можно отнести следующее:

- разработана новая техника поточечной фемтосекундной записи брэгговских решеток в световоде, протягиваемом через прозрачную феррулу, с компенсацией отклонения сердцевин относительно точки фокусировки излучения с помощью системы автоподстройки;

- предложен новый метод формирования фазовых сдвигов в процессе поточечной фемтосекундной записи решеток с использованием пьезоэлемента, который в определенный момент смещает волоконный на заданную величину и осуществлена запись решетки с фазовым сдвигом в активном  $\text{Er}^{3+}$  волокне;

- впервые продемонстрирована возможность записи неоднородных брэгговских решеток в каждой из сердцевин 7-сердцевинного волоконного световода с прямыми и закрученными по спирали сердцевинами;

- на основе многосердцевинного световода с тремя параллельными брэгговскими решетками создан датчик изгиба, позволяющий определять величину и направление изгиба волокна;

- впервые показана возможность селективного отражения различных поперечных мод в брэгговских решетках, записанных со смещением относительно оси волокна.

## **Общая оценка работы**

Научно-квалификационная работа Вольфа Алексея Анатольевича выполнена на высоком научном уровне, она содержит новые важные результаты в области волоконной оптики. Защищаемые положения полностью обоснованы, подтверждены экспериментально. Результаты, представленные в диссертации, опубликованы в ведущих российских и зарубежных журналах по оптике и могут найти применение при создании брэгговских решеток для систем волоконно-оптической связи, волоконных лазеров, и волоконно-оптических датчиков.

## **Замечания по диссертационной работе**

1. В работе недостает более глубокого анализа экспериментальных результатов. Автор ограничивается разработкой методов записи решеток. Хотелось бы увидеть исследования самого процесса записи: получить зависимость коэффициентов связи от параметров индуцирующих импульсов (энергии, длительности) и от порядка дифракции, рассчитать соответствующее изменение показателя преломления, исследовать распределение изменения показателя преломления в области фокусировки пучка.

2. Неясно, в чем преимущество использования дополнительного пьезоэлемента по сравнению с введением программируемого сдвига в заданном положении волокна.

3. На рисунках 2.8–2.10 показано сравнение экспериментальных и теоретических спектров решеток, но не указано какие параметры подгонялись для получения точного соответствия.

4. На рисунке 1.2 для мод  $LP_{m1}$  все графики распределения поля лежат выше нуля, однако в пространственном распределении поля присутствуют отрицательные области.

5. Не указано, каким образом получены два ортогональных линейно поляризованные состояния света на решетке для построения спектров пропускания, представленных на Рис. 2.19.



## Заключение

Указанные замечания не снижают общую научную значимость диссертационной работы Вольфа А.А. и не влияют на высокую положительную оценку проведенного исследования.

На основании вышесказанного считаю, что диссертационная работа Вольфа Алексея Анатольевича удовлетворяет всем необходимым требованиям, а Вольф Алексей Анатольевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика.

Официальный оппонент:  
ведущий научный сотрудник  
Ульяновского филиала Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
Института радиотехники и электроники  
им. В.А. Котельникова  
Российской академии наук,  
доктор физико-математических наук

Иванов Олег Витальевич

Почтовый адрес:  
Россия, , 432071 г. Ульяновск, ул. Гончарова 48/2  
Тел.: +7- 8422-442996  
e-mail: olegivvit@yandex.ru  
Специальность ВАК - 01.04.05 «Оптика»

