

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

Кудряшова Сергея Ивановича,

на диссертационную работу Пржиялковского Дмитрия Владимировича  
«Особенности формирования волоконных брэгговских решёток методом  
многопроходной фемтосекундной поточечной записи»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-  
математических наук по специальности  
1.3.8 – «Физика конденсированного состояния»

### **Общая характеристика работы**

Диссертационная работа Пржиялковского Дмитрия Владимировича посвящена изучению поточечных методов записи волоконных брэгговских решёток (ВБР). Фундаментальная часть исследований связана исследованием особенностей физических процессов взаимодействия фемтосекундного излучения с кварцевыми стёклами при создании волоконных брэгговских решёток, а также изучению процесса регенерации ВБР. Прикладная часть работы посвящена совершенствованию поточечных методов записи брэгговских структур и определению эксплуатационных характеристик для полученных образцов волоконных решёток. В работе предложен новый метод поточечной записи, использующий многопроходный принцип.

Структура диссертации включает в себя введение, список условных обозначений и сокращений, 4 главы основного содержания, заключение и список используемой литературы, насчитывающий 198 источников. Общий объём диссертации составляет 111 страниц, 2 таблицы, 26 рисунков и 17 формул.

Во введении обосновывается актуальность выбранного направления исследования, обозначены основные цели и задачи диссертационной работы. Сформулированы положения, выносимые на защиту, приведены данные об апробации работы и личном вкладе автора.

В первой главе приводится обзор литературы по теме диссертации. Дается краткая справка об истории возникновения самих волоконных брэгговских решёток, а также о пионерских работах по наблюдению процесса регенерации ВБР. Приводятся теоретические основы моделей физических процессов, лежащих в основе записи ВБР и термического



распада решёток. Показаны устоявшиеся типы брэгговских решёток, особенности их создания и параметры.

Вторая глава содержит описание экспериментальных установок и методов исследования, с помощью которых были получены ключевые результаты данной работы. Важнейшим пунктом является описание нового многопроходного метода записи ВБР с помощью лазерного источника ультракоротких импульсов. Приведена схема экспериментальной установки для записи ВБР, описывается принцип синхронизации лазера с работой микропозиционеров. Приведены схемы установок для изотермического отжига образцов ВБР, описана установка для исследования механической прочности волоконных решёток.

Третья глава содержит результаты многопроходной записи волоконных брэгговских решёток. Отмечается, что при многопроходной записи решёток имеется тенденция к уменьшению брэгговской дины волны с каждым последующим проходом. Наблюдаемое явление описывается с помощью неоднородного распределения плотности стекла вокруг точки воздействия лазерного излучения.

Четвёртая глава посвящена исследованиям термической устойчивости и механической прочности брэгговских решеток. Впервые описывается явление регенерации ВБР в низколегированном германием волокне без присутствия водорода. Процесс регенерации автор связывает с локальным образованием кристаллической фазы вещества в экспонированных частях сформированных решёток под воздействием высокой (порядка 650 °С) температуры. Исследования механических свойств брэгговских решёток показали наличие линейной зависимости их прочности от корня четвертой степени из значения энергии лазерных импульсов, используемых при формировании ВБР.

В заключении обобщаются основные результаты данной работы.

### **Актуальность и практическая значимость работы**

Волоконно-оптические технологии составляют основу современной телекоммуникации, широко используются и активно развиваются волоконные сенсорные системы, волоконная лазерная техника. Неотъемлемой частью большинства волоконных систем является волоконная брэгговская решетка, свойства которой являются критическими параметрами для целого ряда применений. На сегодняшний день существующие методы создания волоконных брэгговских решёток имеют ряд существенных



недостатков. Диссертационная работа Пржиялковского Дмитрия Владимировича направлена на решение данной проблемы. В работе предлагается оптимизация технологических основ создания волоконных решеток под действием фемтосекундного лазерного излучения, анализируются базовые механизмы, ответственные за их формирование. Особо следует отметить, что запись ВБР с помощью лазерных источников ультракоротких импульсов обеспечивают решение проблемы низкой фоточувствительности материала оптических волокон и позволяют создавать внутриволоконные структуры самых различных конфигураций. Таким образом, работа Пржиялковского Д.В. направлена на решение актуальных задач, а ее результаты имеют большую практическую значимость.

### **Научная новизна**

В диссертационной работе представлен ряд важных научных результатов, имеющих также прикладное значение:

1. Предложен и реализован на практике новый многопроходный метод записи волоконных брэгговских решёток. Данный метод является не только технологическим новшеством, но и предоставляет новые возможности исследования локальных изменений показателя преломления материала стекла под воздействием записывающего излучения.
2. Впервые наблюдается явление регенерации ВБР, записанных в низколегированном германосиликатном волокне без присутствия молекулярного водорода в его структуре. Предлагается качественная модель наблюдаемого явления, постулаты которой могут обобщить довольно разрозненные литературные данные по регенерации ВБР в других типах оптических волокон.
3. Показаны реальные эксплуатационные характеристики волоконных брэгговских решёток, записанных предложенным методом, в отношении воздействия самых распространённых фундаментальных внешних воздействий – температуры и механической деформации.

### **Достоверность результатов и апробация работы**

В работе использованы известные, хорошо зарекомендовавшие себя методы исследования, используются теоретические основы и модели не



противоречащие литературным данным и современным представлениям о природе явлений. Присутствующие расчёты сделаны с применением актуальных математических моделей.

Основные результаты работы были широко представлены научной общественности. Автор выступал основным докладчиком на 5 российских и международных конференциях по теме диссертации, имеет 10 публикаций по теме исследования, включая статьи в высокорейтинговых международных журналах первого квартиля (Web of Science).

В связи с вышеизложенным, достоверность результатов представленной Пржиялковским Д.В. диссертационной работы не вызывает сомнений.

### Замечания

1. Параметры лазерной записи – характеристики фокусировки, стабильность мощности излучения, точные значения частоты следования и скорости сканирования для конкретных брэгговских решёток, оценки люфта нанопозиционеров при многопроходной записи – приведены недостаточно детально.
2. Механизмы вложения энергии фемтосекундных лазерных импульсов в сердцевине использованных типов волокон – многофотонное поглощение и поглощение электрон-дырочной плазмы – рассматриваются, но экспериментально практически не изучены.
3. Экспериментальная верификация предложенной модели записи волоконных брэгговских решёток с помощью фемтосекундных лазерных импульсов представлена недостаточно – отсутствует электронно-микроскопическая или зондовая визуализация предполагаемой области разрежения (совокупности нанопор) в сердцевине волокна и соответствующая характеристика плотности, люминесценции, сигнала комбинационного рассеяния для этой области.
4. В литературном обзоре недостаточное место уделено рассмотрению механизмов и анализу условий формирования в диэлектриках под действием фемтосекундных лазерных импульсов различных наноструктур – нанопор, наноштрихов, нанорешеток, потенциально имеющих отношение к данной работе,
5. Имеются мелкие недочеты – опечатки, неточные или отсутствующие обозначения.



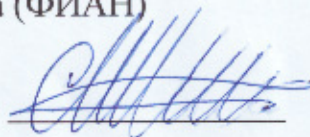
Данные замечания не являются критическими и носят рекомендательный характер, а сама работа заслуживает самой высокой оценки.

Считаю, что работа Пржиялковского Д.В. «Особенности формирования волоконных брэгговских решёток методом многопроходной фемтосекундной поточечной записи» является законченным научным исследованием и по объёму результатов, достоверности, научной и практической значимости выводов удовлетворяет требованиям пп. 9-14. «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ № 842 от 24.09.2013, с изменениями от 25 января 2024 г. предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Пржиялковский Дмитрий Владимирович, заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния».

**Официальный оппонент,**

доктор физико-математических наук (специальность 01.04.21 – лазерная физика), ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией лазерной нанофизики и биомедицины, Центр лазерных и нелинейно-оптических технологий, Отделение квантовой радиофизики им. Н.Г. Басова, Физический институт им. П.Н. Лебедева (ФИАН)

«03» декабря 2024 г.



Кудряшов Сергей Иванович

Подпись Кудряшова С.И. заверяю:

И/о ученого секретаря ФИАН

к.ф.-м.н.



Бежанов Станислав Георгиевич

Контактная информация:

Физический институт им. П.Н. Лебедева (ФИАН).

Адрес: 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинский пр., 53

Телефон: +7(499)1326083

e-mail: sikudr@lebedev.ru