

## ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертационную работу Егоровой Ольги Николаевны «Структуры волоконных световодов, образованные элементами из стекла различного состава», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика.**

Диссертация работа Егоровой Ольги Николаевны посвящена управлению оптическими и механическими свойствами волоконных световодов методом изменения состава стекла элементов оболочки и сердцевины. В диссертации рассматриваются вопросы, связанные с увеличением диаметра поля моды, с увеличением концентрации активных редкоземельных ионов при сохранении малых оптических потерь и хорошей механической прочности световодов, а также со снижением перекрестных оптических потерь в многосердцевинных световодах.

Логика развития мощных волоконных лазеров, работающих на световодах, активированных редкоземельными ионами, приводит к необходимости уменьшения нелинейных эффектов, что в свою очередь требует разработки световодов как с большим полем моды, так и с высокой концентрацией редкоземельных ионов. Исследователям световодов с дырчатой оболочкой удалось добиться существенного увеличения поля моды, но механическая прочность этих световодов не очень высока. Световоды с фотонной запрещенной зоной были исследованы существенно меньше, но они существенно проще в изготовлении и обладают лучшей механической прочностью. В диссертационной работе проведен подробный численный анализ световодов, в которых оболочка является двумерным фотонным кристаллом, состоящим из элементов (цилиндров) с повышенным показателем преломления при относительно малом заполнении оболочки (отношение диаметра элемента к расстоянию между ними  $< 0.4$ ) и значительном расстоянии между центрами соседних элементов (10-12 мкм). Показано, что в этом случае световод образованный отсутствием одного элемента оболочки является одномодовым в пределах всего спектрального диапазона фундаментальной запрещенной зоны. В ходе экспериментальной проверки была изготовлена серия световодов, среди которых были световоды с диаметром поля моды 18 мкм как с кварцевой сердцевиной, так и легированной ионами иттербия. Практическая значимость данных исследований подтверждается дальнейшим развитием этой работы в

других исследовательских группах, в результате которого поле моды было увеличено до 40 мкм.

В диссертации удалось существенно увеличить концентрацию редкоземельных ионов, изготавливая композитный световод методом «стержень в трубке» с сердцевиной из фосфатного, а оболочкой из кварцевого стекла. Наряду с высокой степенью легирования получен приемлемый уровень оптических потерь (1-2 дБ/м) и высокая механическая прочность на уровне обычных кварцевых световодов. С использованием разработанных композитных световодов продемонстрированы эффективные лазеры длиной всего несколько сантиметров. Кроме того, в них продемонстрирована возможность записи волоконных брэгговских решеток излучением с длиной волны 248 нм.

Другим направлением исследований стала разработка многосердцевинных волоконных световодов с уменьшенными перекрестными оптическими помехами. Теоретически предсказан и экспериментально реализован подход к снижению перекрестных оптических помех методом введения барьерного слоя с пониженным показателем преломления между сердцевинами. Кроме того, экспериментально реализована структура гетерогенного многосердцевинного волоконного световода прямоугольного поперечного сечения с сердцевинами, расположенными в один ряд. Данная структура позволяет избежать изгибного увеличения перекрестных помех за счет наличия преимущественного направления изгиба световода.

Диссертационная работа изложена на 231 странице и состоит из введения, 5 глав, заключения и списка цитируемой литературы (262 наименования), включая 112 рисунков и 9 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы работы, определены цели и задачи исследований, отмечена научная новизна и научно-практическая ценность полученных результатов, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, а также приведены сведения об апробации и о публикациях.

Первая глава содержит обзор литературы, посвященный различным структурам волоконных световодов. В ней рассмотрены световоды с большим диаметром поля моды, световоды с локализацией излучения за счет фотонной запрещенной зоны, композитные световоды с сердцевиной из фосфатного стекла и оболочкой из кварцевого, многосердцевинные световоды, а также способы снижения перекрестных потерь в них и устройства ввода-вывода. Кроме того, в главе описываются волоконно-оптические линии задержки и их применение.

Вторая глава содержит результаты исследований световодов с сердцевинной из стекла, локализирующих излучение за счет образования фотонной запрещенной зоны. Существенная часть главы посвящена вопросам возможности применения их для создания световодов с большим диаметром поля моды.

Третья глава посвящена созданию и исследованию композитных световодов с сердцевинной, изготовленной из фосфатного стекла, и оболочкой из кварцевого стекла.

Четвертая глава посвящена проблеме снижения перекрестных оптических помех в многосердцевинных волоконных световодах.

В пятой главе описаны результаты разработки элементов функциональных устройств с использованием новых структур волоконных световодов.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы. Конец каждой главы также сопровождается выводами, где кратко отражены ключевые результаты проведенных исследований.

Практическое значение работы демонстрировалась на примере изготовления иттербиевых и эрбиевых лазеров, а также волоконных устройств для создания линий задержки на базе многосердцевинных световодов.

Работа Егоровой Ольги Николаевны выполнена на высоком научном уровне, оформлена в соответствии с требованиями и подтверждает высокую квалификацию автора. Задачи, поставленные в работе, выполнены полностью, выводы соответствуют полученным результатам. Однако работа не лишена некоторых недостатков:

1. Как во введении диссертации, так и в автореферате присутствует спорное утверждение: «При этом вся область прозрачности, в которой целесообразно использование световодов на основе кварцевого стекла, составляет примерно от 600 до 1700 нм.» С этим утверждением сложно согласиться, поскольку целый ряд производителей (например, Nufern) изготавливает тулиевые световоды на основе кварцевого стекла для получения генерации в области 1900-2100 нм.
2. На Рис. 3.12 представлена зависимость дифференциальной эффективности от введенной мощности накачки при различных длинах активного световода. Там указано, что центральная длина волны спектра излучения диодов накачки – 973 нм. Измерение дифференциальной эффективности представляет довольно сложную задачу, если длина волны диода накачки не стабилизирована (изменяется с ростом мощности) и, кроме того, попадает на край линии поглощения. Процедуру получения такой зависимости следовало описать в тексте диссертации.

3. Из текста диссертации не ясно, каким образом в экспериментах с многосердцевинными световодами с линейным расположением сердцевин фиксировались номера сердцевин для разных радиусов намотки световода. В соответствующем разделе 4.2.4 при описании измерений идет отсылка к разделу 4.1.4.3, в котором излучение заводилось в центральную сердцевину световода с иной симметрией расположения сердцевин. Контролировался ли в эти экспериментах тип сердцевины («большая» - «маленькая») или только номер от какого-то края? Данная неопределенность влияет на относительное положение точек на рисунке 4.15.
4. Диссертация содержит также недочеты технического характера. Например, в главе 2 описываются измерения распределения интенсивности мод на торце световодов, а тип используемых для регистрации камер указан только в главе 5. Кроме того, в списке литературы встречаются дублирования источников. Например, источники [21-23] дублируются источниками [93-95].

Несмотря на представленные замечания, работа заслуживает общую положительную оценку. Результаты, полученные соискателем, имеют научно-практическую значимость, а выводы работы хорошо обоснованы. Тема диссертации соответствует специальности 01.04.21 «Лазерная физика». Основные результаты изложены в 3 патентах и 48 публикациях в профильных российских и зарубежных рецензируемых изданиях, в том числе в 22 публикациях в изданиях из списка ВАК. Результаты работы неоднократно представлялись на Всероссийских и Международных конференциях.

Считаю, что содержание диссертационной работы Егоровой Ольги Николаевны и форма ее представления полностью соответствуют требованиям пунктов 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК Минобрнауки России в редакции Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 г. за № 842, предъявляемым к докторским диссертациям. Автор обладает высокой квалификацией и достоин присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика. Автореферат и опубликованные работы полностью и точно отражают содержание диссертации.

Официальный оппонент

главный научный сотрудник

лаборатории оптических сенсорных систем

ИАиЭ СО РАН

доктор физ.-мат. наук, профессор РАН



Каблуков Сергей Иванович

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт автоматизации и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук»

Почтовый адрес:

проспект Академика Коптюга, д. 1, г. Новосибирск, Россия, 630090

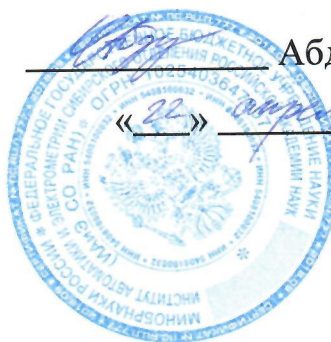
Рабочий тел. +7 (383) 330-68-32

E-mail: kab@iae.nsk.su

Подпись Каблукова С.И. удостоверяю:

И.о. ученого секретаря ИАиЭ СО РАН

к.ф.-м.н



Абдуллина С.Р.

« 22 »

2021 г.