

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию
Поносовой Анастасии Александровны
«Источники излучения на основе высококонцентрированных эрбиевых
композитных световодов»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.21 – «Лазерная физика»

Диссертационная работа Поносовой Анастасии Александровны направлена на исследование и создание источников излучения в спектральной области 1525-1565 нм на основе высококонцентрированных эрбиевых композитных световодов. Такие источники излучения нашли применение в научном приборостроении, для интерферометрических датчиков, а также для передачи информации по волоконным световодам.

Необходимость создания одночастотных лазеров с высокой средней мощностью и импульсных лазеров с высокой частотой повторения импульсов требует использования активных волоконных элементов с большой концентрацией активных ионов в волоконной матрице. В кварцевых световодах, которые традиционно используются для создания волоконных источников излучения, существует принципиальное ограничение на концентрацию ионов редкоземельных элементов, в частности, ионов эрбия. Именно потребность в активных волоконных средах с высокими концентрациями ионов редкоземельных элементов для создания источников излучения в диапазоне 1525-1565 нм и определяет актуальность полученных результатов.

Автор диссертационной работы проводит исследование высококонцентрированных композитных волокон с фосфатной сердцевиной в кварцевой оболочке, разработанных в Институте общей физики РАН совместно с Научным центром волоконной оптики РАН. В фосфатную сердцевину таких волокон можно вводить редкоземельные элементы в концентрациях на порядок больше по сравнению с кварцевыми. В тоже время, такая конструкция оптического волокна благодаря кварцевой оболочке позволяет сваривать их с традиционными кварцевыми волокнами. Исследование спектрально-люминесцентных и генерационных характеристик высококонцентрированных эрбиевых композитных световодов и создание на их основе компактных полностью волоконных источников излучения 1,5 мкм диапазона определяет новизну, научную и практическую значимость полученных результатов. Значимость результатов связана также с потенциальной возможностью улучшения параметров волоконных источников излучения за счет сокращения длины активного элемента.

Диссертационная работа состоит из Введения, 5-ти глав, заключения и списка цитируемой литературы. Общий объем работы составляет 162 страницы, включая 84 рисунка, 5 таблиц, и библиографию из 200 наименований.

Во *Введении* обоснована актуальность выбранной темы диссертации, сформулированы цель и основные задачи исследований, приведены основные защищаемые положения, подчеркнута научная новизна работы, ее научная и практическая значимость, представлен вклад автора в решение поставленных задач.

В *первой главе* содержится обзор современного состояния проблемы, последовательно и логично обосновывается необходимость проводимых исследований. Рассмотрены новые перспективные активные среды в волоконной оптике для спектрального диапазона 1525 – 1565 нм. Приведены основные характеристики активных световодов для спектрального диапазона 1525 – 1565 нм, описаны спектрально-люминесцентные свойства эрбиевых и эрбий-иттербиевых световодов. Проанализированы суперлюминесцентные волоконные источники излучения, их основные конфигурации, суперлюминесцентные волоконные источники излучения на основе кварцевых эрбиевых световодов и на основе высококонцентрированных эрбиевых световодов. Описаны свойства эрбиевых волоконных усилителей, усиление слабого сигнала и импульсного лазерного излучения в высококонцентрированных фосфатных световодах. Рассмотрены основные свойства эрбиевых волоконных лазеров, как непрерывных, так и импульсных.

Вторая глава посвящена исследованию свойств композитных световодов с высококонцентрированной фосфатной сердцевиной в кварцевой оболочке. Представлены результаты исследования свойств композитных световодов, легированные ионами эрбия, а именно, элементный состав сердцевины, оптические свойства, спектры поглощения и усиления. Установлено, что из-за диффузии компонентов через границу сердцевина-оболочка элементный состав сердцевины вытянутых световодов существенно отличается от состава исходного стекла, концентрация ионов редкоземельных элементов остается на порядок выше, чем в традиционных кварцевых световодах. Описан разработанный метод определения радиационного времени жизни ионов эрбия в световодах, время жизни в эрбиевых световодах составило 6.63 мс, а в эрбий-иттербиевых - 7.5 мс. Показано, что благодаря специальной конструкции световодов для воспроизводимости сварки между композитными и кварцевыми волокнами достаточно использования стандартного сварочного аппарата для телекоммуникационных волокон. Проведенные исследования показали, что данные световоды пригодны для дальнейшего создания и исследования волоконных источников излучения.

В *третьей главе* приводятся результаты исследования суперлюминесцентных волоконных источников излучения. Рассмотрены требования к параметрам источников излучения для низкокогерентной

интерферометрии, характеристики суперлюминесцентных волоконных источников излучения на основе композитных световодов, включая Er^{3+} композитных световодов, а также на основе $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ композитных световодов с накачкой в оболочку.

Впервые исследованы параметры усиленного спонтанного излучения высококонцентрированных композитных световодов в различных конфигурациях суперлюминесцентных волоконных источников излучения. Реализованы полностью волоконные источники излучения благодаря кварцевой оболочке экспериментальных световодов. Высокая концентрация ионов редкоземельных элементов в сердцевине позволяет получить высокую выходную мощность порядка 30 мВт при коротких длинах активной среды. Использование композитных световодов, легированных совместно ионами эрбия и иттербия, и накачки в оболочку дает возможность существенно увеличить спектральную плотность мощности усиления спонтанного излучения без негативного вклада излучения от ионов иттербия.

Четвертая глава посвящена эрбиевым волоконным усилителям. Рассмотрены волоконные усилители с накачкой в сердцевину и в оболочку, результаты исследования усиления импульсного излучения в одномодовых композитных световодах, изменения фазовой модуляции ультракоротких импульсов при усилении. Представлены результаты создания и исследования полностью волоконных компактных усилителей сигнала на основе композитных волокон с высококонцентрированной фосфатной сердцевиной и кварцевой оболочкой. Высокая концентрация ионов эрбия позволила значительно сократить длину активной среды по сравнению с длинами, характерными для аналогичных схем на основе кварцевых волокон. Достигнуты коэффициенты усиления слабого сигнала 1536 нм оптимизированных однопроходных EDFA около 38-39 дБ. Экспериментально получено нелинейное сжатие импульсов в активном световоде. Получена пиковая мощность 1,024 кВт при частоте следования импульсов 83 МГц, и 245,7 Вт – для 256 МГц.

В *пятой главе* приведены результаты исследования непрерывной и импульсной лазерной генерации композитных световодов, как с накачкой в сердцевину, так и с накачкой по оболочке. Показано, что использование одномодового композитного световода, легированного 3 вес.% эрбия, а также высококонцентрированного эрбий-иттербиевого композитного световода дает возможность получить эффективную лазерную генерацию и реализовать полностью волоконные схемы лазеров. Обнаружено, что импульсная лазерная генерация возможна при длине активной среды на несколько порядков меньшей в сравнении с традиционными световодами, получена генерация фемтосекундных импульсов в лазере с пассивной синхронизацией мод за счет нелинейного вращения плоскости поляризации.

В *Заключении* сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Основные результаты диссертации А.А.Поносовой опубликованы в 8 статьях рецензируемых научных журналов, 4 из которых удовлетворяют

требованиям ВАК и входят в базу Web of Science. Результаты работы широко обсуждались на различных конференциях, включая зарубежные. Опубликованные работы, которые известны специалистам, содержат основные результаты диссертации А.А. Поносовой.

Текст диссертации логически выстроен и написан хорошим языком. Автореферат соответствует содержанию и отражает структуру диссертации.

В диссертационной работе можно отметить следующие недостатки:

1. На рисунке 7 приведены фотографии поперечного распределения интенсивностей возбужденных мод в световодах, легированных 1 вес.% Er^{3+} : для случая фундаментальной моды, второй моды и гибридной моды. Из подписи к рисунку и текста диссертации не ясно, в каких условиях получены изображения. Изображения получены в одном волокне при разном возбуждении или в волокнах с разными диаметрами внешней оболочки? При описании эксперимента указывается, что положение пучка на входном торце исследуемых световодов смещалось относительно центральной оси световодов, но не приведены диаметр пучка и его расходимость, а также величина смещения. Более того, чтобы возбудить только моды более высокого порядка, не возбуждая фундаментальную моду, необходимо пучок наклонять по отношению к оптической оси, а не смещать, а результат будет зависеть от величины расходимости пучка, падающего на торец волокна.

2. Большой интерес вызывает изображение, представленное на рис. 7в. Поскольку в центре изображения интенсивность нулевая, то вполне возможно, что в волокне сформировалась вихревая мода, для определения ее характера необходимо было бы получить картину интерференции данной моды с пучком, падающим на торец волокна.

3. В проводимых исследованиях использовались только световоды, одномодовые в диапазоне излучения ионов эрбия, а именно световод, легированный 1 вес.% Er^{3+} , с диаметром внешней оболочки 125 мкм и световод, легированный 3 вес.% Er^{3+} , с диаметром внешней оболочки 100 мкм. Хотя основной упор в диссертации был сделан на исследование одномодовых световодов, было бы интересно привести данные по элементному составу в других световодах, сравнить с измерениями распределения показателя преломления в сердцевине и числом возбуждаемых мод.

Небольшие замечания можно сделать по тексту работы. Так, используется неоднократно выражение «Кинетика затухания инфракрасной люминесценции». На протяжении всей диссертации десятичные дроби пишутся с точкой, хотя в русскоязычной литературе дроби пишутся с запятой.

Указанные замечания, без сомнения, не снижают общую высокую оценку представленной диссертационной работы.

Тема исследования соответствует специальности 01.04.21 – Лазерная физика. Диссертационная работа А.А. Поносовой на тему «Источники излучения на основе высококонцентрированных эрбиевых композитных

световодов» удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (ред. от 10.06.2017)», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Анастасия Александровна Поносова заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – «Лазерная физика».

Официальный оппонент
 Главный научный сотрудник
 Института электрофизики Уральского отделения РАН,
 доктор физико-математических наук, профессор



Кундикова Наталия Дмитриевна
 28 ноября 2021 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук (620016, Екатеринбург, ул. Амундсена, 106, тел.: +7(343) 267-87-96, e-mail: admin@iep.uran.ru, <http://www.iep.uran.ru>)
 тел.: +7 (351) 267-91-37,
 e-mail: kundikovand@susu.ru

Подпись главного научного сотрудника,
 доктора физико-математических наук
 Наталии Дмитриевны Кундиковой подтверждаю:

Ученый секретарь ИЭФ УрО РАН



Е.Е. Кокорина