

УТВЕРЖДАЮ



Директор ИПФ РАН
член-корреспондент РАН

Г.Г. Денисов

2021 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации 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 А. А. Поносовой посвящена исследованию люминесцентных и лазерных свойств композитных световодов с кварцевой оболочкой и сердцевиной из фосфатного стекла, легированного ионами эрбия с высокой концентрацией, а также построению источников излучения в спектральном диапазоне 1.52-1.56 мкм на основе данных световодов.

Актуальность диссертационной работы. Тематика диссертации относится к актуальному направлению лазерной физики - исследованию новых типов активных волоконных световодов для построения волоконных источников излучения в области около 1.5 мкм. Актуальность тематики связана с востребованностью волоконных источников излучения в диапазоне длин волн около 1.5 мкм для различных приложений - импульсных и непрерывных лазеров, усилителей ультракоротких импульсов, суперлюминесцентных источников с малым временем когерентности. Для многих из этих приложений, в особенности для усилителей и лазеров ультракоротких импульсов, важно достижение высоких коэффициентов усиления на коротких отрезках световода, что требует создания высокой концентрации активных ионов. Световоды с сердцевиной из сильно легированного фосфатного стекла и кварцевой оболочкой перспективны для достижения высокой концентрации ионов эрбия и построения на их основе лазерных и люминесцентных источников. Важно, что данные световоды могут быть приварены по стандартной технологии к кварцевым световодам, что открывает возможности их использования в полностью волоконных схемах. В диссертационной работе впервые проведено систематическое экспериментальное исследование волоконных световодов с

высококонтрастной фосфатной сердцевиной и кварцевой оболочкой, а также продемонстрирован ряд источников излучения (суперлюминесцентные источники, непрерывные и импульсные лазеры и усилители) на основе данных световодов. Таким образом, работа обладает как научной новизной в области лазерной физики, так и практической значимостью для разработки современных волоконных лазерных систем.

Структурно диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, двух приложений, списка публикаций автора и списка литературы.

Во введении обосновывается актуальность и практическая значимость диссертации, формулируется ее цель и задачи, указывается научная новизна, приводятся положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведены общие сведения по данным литературы о люминесцентных и лазерных свойствах в диапазоне длин волн около 1.5 мкм различных стекол и световодов (включая фосфатные стекла), легированных эрбием и системой эрбий-иттербий. Приведен достаточно подробный обзор литературы в области источников спонтанного усиленного излучения, волоконных лазеров и усилителей на длинах волн около 1.5 мкм, в котором основное внимание уделено системам на основе световодов с высокой концентрацией активных ионов эрбия.

Во второй главе приведены сведения о технологии изготовления композитных световодов, использованных в данной работе, приведены исследования элементного состава их сердцевины, их оптических и спектрально-люминесцентных свойств. Выяснено, что, несмотря на значительное разбавление стекла сердцевины оксидом кремния в процессе изготовления композитного световода, концентрация ионов редкоземельных элементов остается на порядок выше, чем в традиционных кварцевых световодах. Приведены результаты измерения радиационного времени жизни ионов эрбия в данных световодах. Сделан вывод о том, что исследованные световоды обладают достоинствами как фосфатных, так и кварцевых световодов, и пригодны для создания и исследования волоконных источников излучения.

В главе 3 приведено исследование суперлюминесцентных источников излучения на основе световодов с сердцевиной из фосфатного стекла. Исследованы параметры усиленного спонтанного излучения (УСИ) в высококонцентрированных композитных световодах в различных конфигурациях. Продемонстрированы полностью волоконные источники УСИ на основе одномодовых композитных эрбиевых световодов с накачкой в сердцевину, а также световодов с фосфатной сердцевиной, легированной системой эрбий-иттербий, и двойной оболочкой с накачкой в оболочку. Показано, что благодаря высокой концентрации ионов редкоземельных элементов в сердцевине возможно получение высокой выходной мощности УСИ (порядка 30 мВт и более) при коротких длинах активной среды.

В главе 4 приведено исследование усилителей на основе композитных световодов: как работающих в режиме непрерывного излучения, так и в режиме усиления ультракоротких импульсов. Экспериментально исследованы коэффициенты усиления по слабому сигналу и зависимости усиления от мощности накачки. Полученный коэффициент усиления 3.1 дБ/см в световоде, легированном 3 вес.% ионов эрбия, является самым высоким среди волокон с аналогичной конструкцией. Исследовано усиление фемтосекундных импульсов в композитных световодах, проведены измерения нелинейных искажений спектра и формы импульса при усилении. Продемонстрирован усилитель импульсов с выходной пиковой мощностью 28 кВт и длительностью импульса 270 фс.

В главе 5 приведено исследование ряда схем непрерывных и импульсных лазеров с синхронизацией мод на основе данных световодов. В полностью волоконном лазере на основе одномодового композитного световода длиной всего лишь 15 см достигнута эффективность непрерывной лазерной генерации до 38% при выходной мощности 105 мВт. В лазере на основе эрбий-иттербиевого световода с накачкой в оболочку достигнута мощность непрерывной генерации 500 мВт с эффективностью 11%. В лазере на основе композитного световода длиной менее 15 см продемонстрирована генерация фемтосекундных импульсов длительностью около 500 фс в режиме синхронизации мод.

В заключении приведены основные результаты работы.

Диссертация представляет собой последовательное и целостное исследование, изложенное грамотным научным языком. Достоинством диссертации является проведение широкого круга экспериментальных исследований люминесцентных и лазерных свойств рассматриваемых волокон в различных схемах и при различных условиях. Также к достоинствам диссертации следует отнести широкий набор исследованных приложений композитных световодов - от суперлюминесцентных источников до лазеров с синхронизацией мод.

Научная и практическая значимость работы. Полученные результаты могут быть использованы в качестве основы для построения ряда перспективных компактных источников излучения в диапазоне 1.5 мкм. Представляется особенно перспективным использование исследованных световодов для построения как непрерывных, так и импульсных лазеров с предельно коротким резонатором. В случае непрерывных лазеров уменьшение длины резонатора упрощает достижение одномодовой узкополосной генерации. В импульсных лазерах с синхронизацией мод использование короткого резонатора позволяет повысить частоту повторения импульсов, что важно для многих приложений, например, в области телекоммуникаций и радиофотоники.

По диссертации имеются следующие замечания.

1. Основным результатом Главы 2 являются данные о спектральных профилях поглощения и усиления и временах жизни лазерного уровня в ионах эрбия в сердцевине исследуемых световодов. Для получения более общего представления об их лазерных свойствах (например, доле ионов, реально участвующих в лазерных процессах) было бы полезно провести оценку результатов измерений в сравнении с расчетными значениями. А именно: 1) в разделе 2.2.3 бы полезно осуществить сравнение измеренных величин поглощения по слабому сигналу с рассчитанными значениями на основе сечений поглощения и концентрации активных ионов; 2) в разделе 2.2.4, возможно, имело бы смысл поставить эксперимент по оценке мощности насыщения поглощения. Тогда, измеренное значение можно было бы сравнить со значением, рассчитанным на основе данных по времени жизни и сечения поглощения. Для полноты сведений о световодах с двойной оболочкой также нужно привести значение числовой апертуры второй оболочки.

2. Одним из преимуществ композитных световодов, как отмечается в диссертации, является возможность их сварки со стандартными кварцевыми световодами с относительно малыми потерями. В экспериментах (например, при исследовании источников УСИ, раздел 3.2.1) значения потерь на сварке одномодового композитного световода с кварцевым световодом варьируются от 0.3 дБ (что является очень хорошим результатом) до 2.1 дБ. Необходимо прокомментировать причину большого разброса данных значений.

3. В разделе 3.2.1 следовало бы нормировать приводимые на рисунках автокорреляционные функции первого порядка на единицу, что сделало бы возможным более наглядное сравнение длин когерентности при изменении мощности (например, на рис. 22а).

4. При обсуждении усиления ультракоротких импульсов (раздел 4.2.2) следовало привести спектр непосредственно после задающего источника, чтобы можно было достоверно судить о генерации новых частотных компонент. Следовало также учитывать, что в усилителе форма спектра может изменяться не только за счет эффектов керровской и рамановской нелинейностей, но также за счет спектральной неоднородности профиля усиления (который для редкоземельных ионов зависит от инверсии населенностей).

5. Приведенный в разделе 4.2.2 способ позволяет оценить коэффициент нелинейности световода лишь по порядку величины. Соответствует ли полученный в диссертации коэффициент нелинейности (на порядок больший, чем в стандартном световоде), оценкам на основе керровского коэффициента стекла и площади поля моды?

6. На рис. 56(б) измерения АКФ имеет форму нехарактерную для реальных импульсов (двугорбая структура огибающей минимумов АКФ). По-видимому, имела место систематическая погрешность в измерении.

7. На рис. 62 в подписи указано, что приведены автокорреляционные функции, хотя показанные кривые соответствуют временной форме импульсов.


8. Не ясно, учитывалась ли измеренная сложная форма импульса (и доля энергии в пьедестале) при расчете пиковой мощности 28 кВт в усилителе в разделе 4.3?

9. Остается не ясным, какими эффектами можно объяснить столь высокую величину дисперсии в композитном световоде (на порядок больше, чем в кварцевом стекле), полученную в разделе 5.2.2?

Указанные замечания не снижают общую очень высокую оценку работы. Диссертационная работа содержит оригинальные научные результаты, решающий вклад в получение которых принадлежит автору. Автореферат правильно отражает содержание диссертации. По материалам диссертации опубликованы 8 статей в рецензируемых журналах, в том числе 4 статьи в журналах, индексируемых в базе Web of Science и удовлетворяющих требованиям ВАК. Диссертационная работа А.А. Поносовой соответствует всем требованиям положения о присуждении ученых степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ей степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 - лазерная физика.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден и одобрен на заседании семинара отделения нелинейной динамики и оптики ИПФ РАН.

Заведующий лабораторией квантовой
и нелинейной оптики сильно
локализованных полей, к.ф.-м.н.


_____ Андрианов А.В.

Руководитель отделения нелинейной
динамики и оптики ИПФ РАН, заместитель
директора ИПФ РАН по научной работе,
академик РАН


_____ Хазанов Е.А.