

ОТЗЫВ

Отзыв официального оппонента, к.ф.-м.н. Ивана Борисовича Мухина на диссертацию Гайнова Владимира Владимировича «Оптическая интерферометрия кварцевого волоконного световода легированного редкоземельными ионами в условиях генерации лазерного излучения», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.21 — «Лазерная физика».

Актуальность темы.

Диссертационная работа Гайнова В.В. посвящена исследованию изменения показателя преломления в активной среде мощного волоконного лазера в условиях оптической накачки и лазерной генерации. Данное исследование является, безусловно, актуальным, поскольку искажение профиля показателя преломления влияет на модовый состав световода и является прямым аналогом тепловой линзы при описании термоиндуцированного искажения лазерного пучка в технологии объёмных активных сред. До настоящего времени в мировой литературе представлено немного экспериментальных исследований данного вопроса применительно к волоконным лазерам, вследствие чего явно выражена новизна представляемых к защите результатов. Разработанные и описанные в работе интерференционные методы измерения изменения показателя преломления в оптических волокнах в условиях генерации открывают новые возможности экспериментального исследования тепловых и лазерных эффектов в волоконных лазерах.

Структура и содержание работы

Представленная диссертационная работа, выполненная на кафедре фотоники ФФКЭ МФТИ и лаборатории «Исследования материалов для квантовой электроники» ФИРЭ РАН, изложена на 156 страницах, содержит 58 рисунков, 117 формул, 11 таблиц, библиографический список, включающий 117 наименований.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка публикаций и списка цитированной литературы, списков сокращений, иллюстраций и таблиц.

Первая глава посвящена обзору литературы по тематике диссертации, описанию спектроскопии активной среды и современного уровня технологии волоконных лазеров, обзору тепловых эффектов в физике твердотельных, в том числе, и волоконных лазеров, а также методов измерения температуры в объёмных и волоконных активных средах. Приведено также описание основного формализма для расчёта резонансной нелинейности показателя преломления активной среды при оптической накачки.

Во второй главе приведено подробное описание экспериментальных стендов, а также способов автоматизации и калибровки. Рассмотрены две основные интерферометрические схемы, используемые в диссертационной работе:

схема на основе волоконного интерферометра Маха-Цандера используется для измерения особенностей разогрева активного волокна при малых мощностях накачки вблизи порога лазерной генерации. В связи с необходимостью монотонного изменения температуры для однозначной интерпретации результатов измерения проводятся в виброизолированном термостате достаточно большого объёма. Для адаптации стенда к произвольным условиям теплоотвода и высоким мощностям накачки используется схема измерения на основе интерферометра Майкельсона с использованием синхронного детектирования. Использование раздельной амплитудной и фазовой модуляции на разных частотах позволяет выделить обе квадратурные компоненты интерференционного сигнала и определить знак изменения фазы, учитывая, таким образом, все внешние флуктуации.

В третьей главе изложены результаты измерений с обоими типами стендов при различных условиях теплоотвода. Измерения дублированы для наиболее используемых в технологии мощных лазеров иттербиевых и иттербий-эрбиевых световодов. На основе результатов измерений температуры получены оценки эффективного коэффициента теплообмена в модели уравнения теплопроводности с граничным условием Ньютона, а также зависимость этого коэффициента от разности температур сердцевины и оболочки.

В четвёртой главе подробно изложена методика и результаты измерений по оценке вклада электронного и теплового механизмов в общее изменение показателя преломления при оптической накачке. Для иттербиевых активных сред показано, что до достижения порога генерации преобладающим является вклад электронного механизма, а после порога – теплового, в связи с установлением стационарной инверсии населённостей. Кинетики полученные для иттербий-эрбиевой активной среды оказываются более сложными для интерпретации в связи с большим значением размена квантов, приводящего к сильному разогреву такого волокна. Разделение вкладов электронного и теплового механизма осуществляется здесь с помощью численного моделирования на основе скоростных уравнений с учётом процессов безызлучательного переноса возбуждения.

В последнем разделе предложено применение интерференционной методики для исследования кинетики безызлучательных переходов в активных средах твердотельных и волоконных лазеров.

Научная и практическая новизна.

Наиболее значительными результатами работы, обладающими научно-практической новизной и теоретическим значением, являются следующие:

1. Разработан экспериментальный стенд на основе волоконной интерферометрии и впервые выполнено измерение средней температуры в сердцевине активного световода в условиях лазерной генерации.
2. Из сравнения с результатами моделирования на основе стационарного уравнения теплопроводности получены оценки эффективного коэффициента конвекционного теплообмена, а также его зависимости от разности температур волокна и окружающей среды

3. На основе численной модели также показан сравнимый вклад резонансных и нерезонансных потерь в общий разогрев и изменение температуры в условиях лазерной генерации
4. Экспериментально разделён вклад электронного и теплового механизмов изменения показателя преломления при оптической накачке активного световода.
5. Экспериментально выполнена оценка разности температур сердцевины и оболочки
6. Предложена интерферометрическая методика для исследования процессов безызлучательного переноса возбуждения в активных средах твердотельных и волоконных лазеров.

Достоверность полученных результатов подкрепляется численным моделированием на основе известных физико-математических моделей. Основные результаты рассматриваемой диссертационной работы докладывались на международных научных конференциях и опубликованы в ряде ведущих отечественных и зарубежных журналов.

Замечания

Необходимо отметить некоторые замечания к содержанию диссертации.

1. В главе «Обзор литературы» не представлено современное состояние исследований тепловых эффектов в волоконных лазерах. Беглый обзор литературы по данной тематике позволяет говорить о наличии в последние годы значимых результатов как в разработке высокомошных волоконных лазеров так и в экспериментальном и теоретическом исследовании тепловых эффектов в волоконных лазерах. Однако, в данной главе диссертации присутствует только 2 ссылки на работы, опубликованные в последние 5 лет (из 114 ссылок, представленных в главе «Обзор литературы»).

2. По большей части, глава «Обзор литературы», содержит основные формулы и определения из области лазерной физики и волоконных лазеров, что, по мнению оппонента вовсе не является обязательным. Например, из 48 формул главы «Обзор литературы» далее в тексте используются только формулы 1.41-1.48, расположенные на 1-м листе главы «Обзор литературы», что явно свидетельствует об избыточности информации в обзорной главе.

3. В главе «Обзор литературы» п. 1.3.3. говорится о основных ограничениях максимальной температуры сердцевины. Утверждается, что главным ограничением является порог плавления или воспламенения полимерного покрытия сердцевины на уровне $\sim 170^{\circ}\text{C}$. Однако, в других работах (например [Y. Fan, B. He, J. Zhou, J. Zheng, H. Liu, Y. Wei, J. Dong, and Q. Lou, "Thermal effects in kilowatt all-fiber MOPA" 1 August 2011 / Vol. 19, No. 16 / OPTICS EXPRESS 15162]) приводятся экспериментальные результаты по достижению температур на уровне 300°C .

4. Согласно п. 3.3.2. (в частности, рис. 3.15) величина разности фаз подвержена значительным флуктуациям при температурах одномодового волокна порядка 10 °С, что соответствует накачке в 20-30 Вт. Однако, средние мощности современных одномодовых волоконных лазеров составляют сотни и тысячи Вт. Поэтому требуется обсуждение перспектив использования разработанных интерференционных методов для волоконных лазеров с большей средней мощностью.

5. Согласно рис. 4.4а, величина «электронного» вклада в изменение показателя преломления растет и после превышения порога генерации даже при незначительном увеличении пиковой мощности накачки. При этом пропускание выходной брэгговской решетки и температура волокна фиксированы. Это не соответствует утверждению, что при мощностях больше порога генерации существенен только «тепловой» вклад в изменение ИПП (Выводы к главе 4). Для более точной оценки «электронного» вклада в изменение показателя преломления необходимо также рассмотреть аналогичные графики при пиковой мощности накачки, значительно превышающей пороговую.

Отмеченные замечания, тем не менее, не снижают ценности рассматриваемой диссертационной работы, адекватность и новизна полученных в ней научных результатов не подвергается сомнению, качество выполненной работы оценивается в целом положительно.

Соответствие диссертации указанной специальности.

В диссертационной работе Гайнова Владимира Владимировича представлена экспериментальная реализация известного в физике твердотельных лазеров интерферометрического метода измерений оптической разности хода и соответствующего изменения температуры в активной среде в условиях лазерной генерации. Предложены оригинальные способы фильтрации искажений сигнала в схеме измерения, позволяющие преодолеть недостаток сверхвысокой чувствительности интерферометра, специфичный именно при реализации метода в волоконном формате. Выполнен подробный анализ основных физических эффектов, влияющих на изменение оптической фазы сердцевины активного световода при оптической накачке. Вследствие указанных аргументов можно дать заключение, что диссертационная работа Гайнова Владимира Владимировича на тему «Оптическая интерферометрия кварцевого волоконного световода легированного редкоземельными ионами в условиях генерации лазерного излучения» соответствует специальности 01.04.21 – «Лазерная физика»

С практической точки зрения предлагаемый метод может быть применён как непосредственно для контроля состояния активной среды волоконного лазера в условиях эксплуатации, так и для оценки эффективности того или иного метода теплоотвода при разработке активных схем и волоконных блоков. Отдельно стоит подчеркнуть научно-практическую значимость предлагаемого интерферометрического метода для исследования кинетики безызлучательных

переходов в связи с указанными в работе технологическими преимуществами (более высокая чувствительность приёмного тракта).

Автореферат диссертации

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертационной работы. Основные материалы диссертационной работы, выводы и рекомендации отражены в автореферате.

Заключение

В целом диссертация Гайнова В.В. представляет законченную научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Работа отвечает критериям «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого постановлением правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842, а её автор Гайнов Владимир Владимирович заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 Лазерная физика.

Официальный оппонент

Мухин Иван Борисович

28.12.2016

Кандидат физико-математических наук,
Старший научный сотрудник ИПФРАН

ФБГНУ «Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной физики Российской академии наук»
603950 Россия, г. Нижний Новгород. Бокс-120, ул. Ульянова 46
Тел.: 7(831)4160674 mib_1982@mail.ru

Подпись Мухина Ивана Борисовича заверяю.

Ученый секретарь ИПФРАН

Кандидат физ.-мат. наук



И.В. Корюкин