

## ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н. Дураева Владимира Петровича на диссертацию Шайдуллина Рената Ильгизовича «Радиочастотная импедансная спектроскопия активных оптических волокон при усилении лазерного излучения», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «Радиофизика»

Диссертационная работа Р.И. Шайдуллина посвящена исследованию тепловых эффектов в активных оптических волокнах в условиях усиления мощного лазерного излучения. В данной работе метод классической радиофизики (радиочастотная импедансная спектроскопия) применяется для исследования проблем квантовой радиофизики (генерация, усиление и преобразование электромагнитного излучения в активных средах).

Мощные волоконные лазеры получили широкое распространение в науке и промышленности. Высокая плотность тепловой мощности, выделяемая при преобразовании оптического излучения в активной лазерной среде, вызывает значительный разогрев кварцевого световода с защитным полимерным покрытием. Это приводит к уменьшению эффективности преобразования энергии лазерного излучения в активной среде, снижению выходной оптической мощности, а также к разрушению световода. Одним из главных факторов, ограничивающих повышение мощности волоконных лазеров, является тепловое разрушение полимерной оболочки волокна, обладающей гораздо меньшей термостойкостью, чем кварцевое стекло.

Оптическое волокно представляет собой составной диэлектрик, что делает возможным его исследование радиофизическими методами. При этом органический полимер обладает намного более выраженной зависимостью своих радиочастотных свойств от температуры, чем кварцевое стекло, что позволяет сделать полимер основным объектом исследований. Существует несколько способов экспериментального измерения температуры разогрева активного волокна, но представленная в диссертации методика, основанная на

использовании метода радиочастотной импедансной спектроскопии, позволяет измерять непосредственно температуру наиболее критической области - полимерной оболочки волокна.

Экспериментальные результаты и теоретическая модель, приведенные в диссертации, подтвердили ранее не учитываемые механизмы разогрева волокна. В частности, предложен и рассчитан дополнительный механизм разогрева полимерной оболочки за счет поглощения в ней излучения оптической накачки, фотолюминесценции и рассеянного излучения.

Диссертация Шайдуллина Р.И. состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, определены цели и задачи диссертационной работы, сформулированы научная новизна и защищаемые положения.

В первой главе диссертации автором приведен тщательный обзор литературы в исследуемых областях. Подробно описан метод радиочастотной импедансной спектроскопии и его применение для исследования радиофизических параметров диэлектриков. Объяснены физические принципы работы волоконных лазеров на основе многослойного оптического волокна с активной сердцевиной, легированной ионами редкоземельных элементов. Также проведен обзор экспериментальных и теоретических работ по исследованию тепловых эффектов в активной среде. Приведенный обзор дает достаточно полное понимание предмета и методики исследований для поставленных в диссертации задач.

Во второй главе описан интерференционный метод измерения температуры в сердцевине активных оптических волокон в режиме генерации лазерного излучения. Для измерений был создан экспериментальный стенд, в котором одно из плеч волоконного интерферометра Маха-Цендера представляет собой волоконный лазер с оптической накачкой. Анализ полученных результатов позволил выдвинуть предположение о наличии дополнительных механизмов разогрева волокна, связанных с поглощением оптического излучения в полимере.

Третья глава посвящена оптической спектроскопии используемых в волоконной оптике полимеров. Оказалось, что существенные пики поглощения в полимерах пересекаются со спектральным диапазоном длин волн излучения накачки и фотолюминесценции мощных иттербиевых волоконных лазеров.

В четвертой главе представлены экспериментальная методика на основе радиочастотной импедансной спектроскопии и результаты измерений температуры разогрева полимерной оболочки активного световода мощного волоконного усилителя. Для этого был разработан экспериментальный стенд на основе электрического колебательного LC-контура со встроенным в него оптическим волокном и измерительной схемы, включающий в себя радиочастотный спектроанализатор. Изменение диэлектрической проницаемости полимера от его температуры приводило к изменению резонансной частоты колебательного контура при разогреве активного волокна. Данный эффект позволял определять температуру разогрева полимерной оболочки активного световода в зависимости от поглощаемой мощности оптической накачки.

Также описан оригинальный способ физического моделирования разогрева оптического волокна с использованием тонкой медной проволоки, покрытой полимерной оболочкой и разогреваемой электрическим током, проходящим через нее. Таким способом определены доля оптической мощности накачки, переходящей в тепло, и коэффициент конвективного теплообмена полимерной оболочки с окружающей средой.

В пятой главе приводятся результаты компьютерного моделирования распределения электрического поля в двухпроводном конденсаторе со встроенным в него волокном, а также распределения температуры в активном волокне и сравнение этих расчетов с экспериментальными измерениями. Результаты моделирования показали хорошее соответствие с экспериментальными результатами, а также с предложенной моделью разогрева активного волокна с учетом поглощения оптического излучения в полимерной оболочке. В заключении достаточно полно описаны основные результаты и выводы диссертационной работы.

Диссертационная работа, однако, имеет ряд небольших недостатков:

1. В диссертации недостаточно подробно изложены слабые стороны традиционно применяемого метода измерения температуры волокна с помощью инфракрасного тепловизора высокого разрешения и их сравнение с предлагаемой методикой измерения.

2. Глава 3 диссертации слишком короткая по сравнению с другими главами (пять страниц). Возможно, было бы целесообразнее включить ее в состав других глав.

3. В диссертации не приведены рисунки с оптическими спектрами излучения используемых в работе волоконных лазеров и диодов накачки. Вместо этого приведены значения центральных длин волн излучения только в тексте без данных о ширине спектра и сторонних пиков излучения. Особенно это важно для иттербий-эрбиевого лазера, для которого часто встречающейся проблемой является паразитное излучение на длине волны 1,06 мкм.

При этом данные замечания не снижают значимости диссертационной работы, а также новизны, актуальности и оригинальности представленной работы.

Основные результаты диссертационной работы достаточно полно изложены в международных и российских печатных изданиях с высоким импакт-фактором, а также доложены на профильных международных конференциях. Оригинальность работы подчеркивается тем, что автором был получен патент на представленный в работе способ измерения температуры активных волокон. Автореферат диссертации достаточно точно и полно отражает ее содержание.

Диссертация Шайдуллина Р.И. представляет собой полноценное и законченное исследование, в которой решены важные и актуальные задачи по исследованию тепловых эффектов в оптическом волокне. Результаты данной работы представляют интерес как для классической, так и квантовой радиофизики. Тщательно проделанная экспериментальная работа и современные методы компьютерного моделирования подтверждают достоверность полученных результатов и обоснованность защищаемых положений. Описанную в работе методику можно применять для исследования активных и пассивных световодов, а также полимерных

оптических волокон. Кроме того, продемонстрировано, что радиofизические методы могут применяться для исследования и других нитевидных диэлектрических структур.

Диссертация соответствует всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор, Шайдуллин Ренат Ильгизович безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – Радиofизика.

10 марта 2016 г.

Доктор технических наук,  
научный консультант АО  
«НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха»

Дураев В.П.

Подпись В.П. Дураева удостоверяю  
Ученый секретарь АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха»  
кандидат физико-математических наук  
Начальник отдела по развитию персонала

Кротов Ю. А.  
Лаврентьева Л. Е.

ФИО: Дураев Владимир Петрович

Ученая степень: Доктор технических наук

Специальность: 05.27.03 - Квантовая электроника

Почтовый адрес: 117342, г. Москва, ул. Введенского, д 3

Телефон: (495) 333-93-01

Адрес электронной почты: nolatech@mail.ru

Наименование организации: АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха»

Ученое звание: не имею

Должность: научный консультант АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха»