

ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата физико-математических наук Бутова Олега Владиславовича на диссертационную работу Филатовой Серафимы Андреевны «Волоконные лазеры двухмикронного диапазона для медицинских применений», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика.

Диссертация Филатовой С.А. посвящена созданию и исследованию гольмиевых волоконных лазерных систем (лазеров и усилителей), генерирующих непрерывное и импульсное излучение (от наносекундных до пикосекундных импульсов), а также изучению вопроса применимости таких систем для медицинских целей. Для этого были изучены оптические свойства определенных биологических тканей в спектральном диапазоне (0.35–2.6 мкм), а также проведены эксперименты по воздействию непрерывного двухмикронного лазерного излучения на исследованные биологические ткани. Актуальность данной работы можно объяснить потребностью в совершенствовании источников лазерного излучения (от режимов работы до простоты в использовании), применяемых для медицинских целей, обеспечивающих точный подбор оптимальных режимов работы лазера при различных патологиях.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка цитируемой литературы. Общий ее объем составляет 161 страницу, включая 91 рисунок, 7 таблиц и список литературы из 185 наименований.

Во введении сформулированы цели и задачи исследований, отмечена актуальность работы и научная новизна, обоснован выбор темы исследований.

Первая глава представляет собой обзор литературы по выбранным направлениям исследований. В ней описаны методы и модели, используемые для изучения оптических свойств биологических тканей. Представлен обзор современного состояния по гольмиевым источникам лазерного излучения – лазерам и усилителям, генерирующим непрерывное, импульсное и ультракороткое импульсное излучение, а также методы получения длинных (наносекундных) и коротких импульсов (менее 100 пс). Также описаны механизмы взаимодействия лазерного излучения с биологическими тканями.

Во второй главе представлены результаты исследования оптических свойств определенных биологических тканей (скелетные мышечные ткани коровы и свиньи, свиная жировая ткань, свиной спинной мозг и твердая мозговая оболочка спинного мозга) в спектральном диапазоне 0.35–2.6 мкм. Подробно описывается последовательность измерений и обработки спектров пропускания. В итоге получены спектры поглощения вышеперечисленных тканей, проведено их сравнение между собой, а также со спектрами поглощения воды. Выявлены сходства и различия свойств некоторых биотканей. Обоснован выбор

спектрального диапазона (1.9–2.2 мкм) для воздействия на биоткани и рассчитана глубина проникновения лазерного излучения выбранного диапазона в исследованные биоткани. Кроме того, приведено обоснование использования гольмиевых волоконных лазеров для дальнейших исследований.

Третья глава посвящена гольмиевым волоконным лазерным системам. В результате работы были созданы гольмиевые волоконные лазеры, работающие на длине волны 2.1 мкм в непрерывном режиме с максимальной мощностью излучения более 8 Вт, а также в режиме наносекундных импульсов (500–220 нс) за счет самомодуляции добротности резонатора. Интерес вызывает полностью волоконный гольмиевый лазер, работающий в режиме синхронизации мод, основанной на нелинейном вращении плоскости поляризации. Данный лазер генерировал импульсы длительностью 1.8 пс в диапазоне длин волн 2.065–2.08 мкм. Кроме того, созданы и оптимизированы гольмиевые волоконные усилители слабого сигнала в диапазоне длин волн 2.02–2.15 мкм, а также продемонстрировано усиление ультракоротких импульсов (1.8 пс) в среде с аномальной дисперсией групповых скоростей, а именно в гольмиевом волоконном усилителе, и обоснована перспектива использования таких лазерных систем для генерации суперконтинуума.

В четвертой главе приведены результаты экспериментов по воздействию непрерывного лазерного излучения с длиной волны 2.1 мкм на жировые и мышечные ткани, а также на твердую мозговую оболочку спинного мозга. Воздействие проводилось бесконтактным (на расстоянии 5 мм) и контактными методами (волокно вводилось в образец биоткани). В результате продемонстрированы размеры повреждений образцов биотканей при воздействии разными уровнями мощности в течение определенного времени. Отмечено, что разница в размерах повреждений разных биотканей соответствует разному уровню поглощения двухмикронного излучения этими биотканями.

В заключении приведены основные результаты работы и сформулированы выводы.

Научная новизна представленной диссертации заключается в создании полностью волоконного гольмиевого лазера, работающего в режиме синхронизации мод, и генерирующего ультракороткие импульсы длительностью 1.8 пс на длинах волн 2.06 и 2.08 мкм, а также в создании и оптимизации гольмиевого волоконного усилителя слабого сигнала в диапазоне длин волн 2.02–2.15 мкм с максимальным коэффициентом усиления 35.8 дБ на длине волны 2.05 мкм. Также продемонстрирована комплексная работа по исследованию оптических свойств некоторых биотканей, созданию гольмиевого волоконного лазера, генерирующего непрерывное излучение на длине волны 2.1 мкм, и воздействию этого лазерного излучения на исследованные биоткани.

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты и разработанные лазерные системы могут найти применение, как в научных, так и в прикладных областях. Гольмиевые волоконные лазеры,

работающие в непрерывном и импульсном режимах (в том числе в режиме генерации ультракоротких импульсов), могут применяться в приборах для атмосферной связи, лазерной локации, обработки полимерных материалов ультракоротким импульсным излучением. Кроме того, такие источники, возможно, использовать в медицине, как для косметических, так и для хирургических целей.

Особо хотелось бы отметить междисциплинарный характер данной работы. Затронуты актуальные вопросы применения лазерных технологий в биомедицине. Представленная работа оформлена в соответствии с требованиями ВАК, написана грамотно и является качественным научным исследованием. Однако по данной работе имеются некоторые замечания:

1. В работе не приводятся данные по усилительным свойствам активных волокон, используемых в эксперименте. Коэффициент усиления является важным параметром, используемым при проектировании лазерных схем.
2. В схеме кольцевого резонатора наблюдается зависимость длины волны лазерной генерации от длины участка активного волокна. Было бы интересно провести анализ данного явления, опираясь на спектры поглощения, усиления волоконного световода, поставить их в соответствие с наблюдаемым явлением.
3. На рис. 52 приводится схема кольцевого резонатора, в которую включен дополнительный участок одномодового волоконного световода длиной 10 м. С какой целью?
4. Из приведенных данных по спектру пропускания биологических тканей на рис. 29 видно, что величина пропускания изменяется в зависимости от времени, прошедшего с момента приготовления образца. Видна динамика, которая объясняется изменением отражения от поверхности предметных стекол при их смачивании тканевой жидкостью. Однако эксперимент прекращается на 30 минуте и делается вывод, что образец перед измерением надо выдерживать именно 30 минут, хотя из приведенных данных не видно насыщения данного процесса.

Данные замечания не влияют на положительную оценку диссертационной работы. Работа выполнена качественно и открывает перспективы для дальнейших исследований в этом направлении. Актуальность работы не вызывает сомнения, а представленные результаты имеют большой практический интерес.

Основные результаты, представленные в диссертации, опубликованы в международных и российских изданиях (в их числе 8 статей в рецензируемых журналах, 5 из которых входят в перечень ВАК). Результаты работы неоднократно докладывались на международных и всероссийских конференциях (8 докладов). Автореферат соответствует содержанию диссертации и полностью отражает ее структуру. Таким образом, диссертация соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» Постановления Правительства РФ № 842 от

24.09.2013 г. (ред. от 10.06.2017), предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Считаю, что работа Филатовой С.А. «Волоконные лазеры двухмикронного диапазона для медицинских применений» представляет собой комплексное научно-квалифицированное исследование, имеющее научную новизну и практическую значимость как в научных, так и в прикладных областях. Диссертация полностью удовлетворяет требованиям ВАК РФ, а ее автор, Филатова Серафима Андреевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика.

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук,

ведущий научный сотрудник,

рук. Лаборатории волоконно-оптических технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН).


Бутов Олег Владиславович

«16» сентября 2019 г.

Эл. почта: obutov@mail.ru

Подпись Бутова О.В. удостоверяю:

Ученый секретарь ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

к.ф.-м.н.




И.И. Чусов

«16» сентября 2019 г.

e-mail: chusov@cplire.ru

тел.: +7 (495) 629 3628

ФГБУН Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН
125009, Москва, ул. Моховая 11, корп.7.,
тел.: +7 (495) 629 3574,
Факс: +7 (495) 629 3678,
e-mail: ire@cplire.ru

*С отзывами ознакомлена
17 сентября 2019 г.*

 (Филатова С.А.)