

УТВЕРЖДАЮ

Проректор Федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Московский
государственный университет имени
Ломоносова», д.ф.-м.н.,
профессор А.А. Федянин



А.А. Федянин

2019 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ) на диссертационную работу Филатовой Серафимы Андреевны «Волоконные лазеры двухмикронного диапазона для медицинских применений», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 - Лазерная физика.

Диссертационная работа Филатовой С.А. посвящена разработке и созданию гольмиевых волоконных лазерных систем, излучающих в двухмикронном спектральном диапазоне, в котором наблюдается поглощение воды - основной составляющей биологических тканей (60÷80 %), и генерирующих как непрерывное, так и импульсное излучение (в том числе ультракороткие импульсы). Кроме того, в данной работе проведено исследование оптических свойств некоторых биологических тканей, а также исследованы результаты воздействия непрерывного двухмикронного лазерного излучения на биологические ткани бесконтактным и контактными методами.

Актуальность диссертационной работы заключается в необходимости создания относительно компактных и простых в использовании лазерных систем, обеспечивающих индивидуальный подход и быстрый подбор оптимальных режимов работы лазера (включая длину волны генерации) для снижения травм при операциях. Таким требованиям удовлетворяют волоконные лазерные системы, которые позволяют получать генерацию в широком диапазоне длин волн и осуществлять быструю перестройку длины волны. Кроме того, достоинствами волоконных лазеров является возможность получения различных режимов работы (от непрерывного до генерации ультракоротких импульсов),

стабильная выходная мощность и компактность конструкции. В случае медицинских применений стоит отметить совместимость с хирургическими эндоскопами.

Практическая ценность работы заключается в том, что результаты исследований могут найти применение как в научных, так и в прикладных областях. Например, гольмиевые волоконные лазерные системы могут применяться в медицинских целях, в приборах измерения скорости ветра, лазерной локации и атмосферной связи. Также возможным является использование разработанных лазерных схем в качестве задающих генераторов в системах параметрической генерации и генерации суперконтинуума в среднем ИК-диапазоне.

Оценка содержания диссертационной работы и результатов.

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

Во введении сформулированы цели и задачи исследований, а также обоснована актуальность работы. Кратко рассмотрено состояние вопроса на момент начала исследований, сформулированы защищаемые положения, научная новизна работы и ее научно-практическая ценность, описаны основные результаты работы, и вклад автора в решение поставленных задач.

Первая глава диссертации носит обзорно-аналитический характер по теме работы. В ней приведены основные методы и модели, используемые для исследования и расчета оптических свойств биологических тканей, а также их преимущества и недостатки. Описаны основные достижения в области генерации непрерывного и импульсного излучения в спектральном диапазоне более 2 мкм с помощью гольмиевых лазеров и усилителей. Также приведено описание различных типов взаимодействия лазерного излучения с биологическими объектами в зависимости от свойств лазерного излучения (длина волны, плотность энергии, длительность импульсов и частота повторения) и метода воздействия лазерного излучения (контактного или бесконтактного).

Вторая глава посвящена исследованию оптических свойств таких биологических тканей, как скелетные мышечные ткани коровы и свиньи, подкожная жировая ткань свиньи, а также спинной мозг и твердая мозговая оболочка спинного мозга свиньи в спектральном диапазоне 0.35–2.6 мкм. Проведено сравнение оптических свойств биотканей с разной степенью упорядоченности рассеивающих центров и разным содержанием воды. Также проведено исследование зависимости изменения спектров пропускания биотканей от времени между подготовкой образцов и проведением

измерений. Приведены результаты расчета глубины проникновения лазерного излучения диапазона 1.9–2.5 мкм в исследованные биологические ткани.

В третьей главе представлены результаты создания и исследования гольмиевых волоконных источников лазерного излучения двухмикронного диапазона. Показано, что концентрация ионов гольмия в кварцевом волокне влияет на реализацию различных режимов генерации. При использовании в схеме лазера гольмиевого волокна с различными концентрациями было получено как непрерывное излучение на длине волны 2.1 мкм, так и импульсное, обеспеченное самомодуляцией добротности резонатора за счет концентрационных эффектов. Впервые был продемонстрирован полностью волоконный гольмиевый лазер, работающий в режиме синхронизации мод за счет эффекта нелинейного вращения плоскости поляризации (НВП) и генерирующий ультракороткое импульсное излучение. Были созданы и оптимизированы гольмиевые волоконные усилители слабого сигнала в диапазоне 2.02–2.15 мкм, а также определено предельное усиление для каждой длины волны в данном спектральном диапазоне и оптимальная длина гольмиевого волокна в усилителе. Продемонстрировано усиление ультракороткого импульсного излучения на длине волны 2.065 мкм и показана динамика спектральной деформации.

В четвертой главе представлены результаты экспериментов по воздействию непрерывного лазерного излучения с длиной волны 2.1 мкм на биологические ткани (жировые, мышечные и ткань твердой мозговой оболочки спинного мозга) бесконтактным и контактными методами. Оценка результатов производилась по величине зон коагуляционного некроза и карбонизации. Полученные результаты показывают какие размеры поврежденных зон биологических тканей следует ожидать при воздействии в течение определенного времени определенным уровнем мощности излучения.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы, полученные в ходе проведенных исследований.

В качестве основных результатов работы можно выделить следующее:

1. Анализ спектров пропускания биологических тканей (скелетных мышечных тканей коровы и свиньи, свиной жировой ткани, спинного мозга и твердой мозговой оболочки спинного мозга свиньи) в диапазоне 0.35 – 2.6 мкм, на основе которого показано, что лазерное воздействие обусловлено поглощением воды в области 2 мкм. Выявлены отличия в спектрах поглощения свиного спинного мозга и подкожной жировой ткани.
2. Создание лазеров на основе гольмиевых волокон с различной концентрацией активных ионов, работающих как в непрерывном режиме в диапазоне длин волн 2.02

- 2.144 мкм и максимальной выходной мощностью до 8 Вт, так и в режиме самомодуляции добротности на длине волны 2.1 мкм с генерацией импульсов длительностью 500 – 220 нс и максимальной пиковой мощностью 47 Вт.
3. Реализация полностью волоконной схемы гольмиевого лазера, работающего в режиме синхронизации мод за счет нелинейного вращения плоскости поляризации и генерирующего ультракороткие импульсы длительностью 1.8 пс, частотой следования импульсов 7.5 МГц и энергией в импульсе ≈ 0.3 нДж.
 4. Создание, исследование и оптимизация усилителя слабого сигнала на основе гольмиевого волокна, работающего в диапазоне длин волн 2.02 – 2.15 мкм. Максимальный коэффициент усиления слабого сигнала в оптимизированном варианте достигнут на длине волны 2.05 мкм и был равен 35.8 дБ.
 5. Усиление ультракоротких импульсов двухмикронного излучения в среде с аномальной дисперсией и наблюдение деформации выходного спектра усиленного излучения.
 6. На основе анализа полученных разрушений биотканей и размера поврежденных зон при воздействии непрерывным двухмикронным излучением бесконтактным и контактными методами сделан вывод о том, что для прецизионного воздействия на биоткани (например, для нейрохирургических и сосудистых операций), требуемые мощности излучения не должны превышать 2 Вт.

Результаты диссертационной работы являются новыми, имеют **научную и практическую значимость**. Данные результаты исследований могут быть рекомендованы к использованию в научно-исследовательских организациях, занимающихся фундаментальными исследованиями и разработкой лазеров для научных и медицинских целей, таких как Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, ФГАУ НМИЦ нейрохирургии им. академика Н.Н. Бурденко, РНИМУ им. Н.И. Пирогова, МГТУ им. Н. Э. Баумана, ООО “НТО “ИРЭ-Полус”, ИЛФИ РФЯЦ-ВНИИЭФ.

Достоверность полученных результатов обусловлена использованием современных экспериментальных методов исследования, сравнением и сопоставимостью экспериментально полученных результатов с результатами других научных групп, исходя из анализа современной литературы.

В качестве замечаний к представленной Филатовой С.А. диссертации можно отнести следующее:

1. В разделе 3.2.2 данной диссертации приведены характеристики иттербиевого волоконного лазера, который используется в качестве накачки гольмиевого

волоконного лазера, работающего в режиме синхронизации мод. Однако информация о мощности накачки, необходимой для реализации синхронизации мод и генерации ультракороткого импульсного излучения отсутствует. Эта информация необходима для оценки эффективности гольмиевого волоконного лазера.

2. В разделе 3.2.2 написано, что: «Были проведены эксперименты по определению зависимости спектральных характеристик лазерного излучения от длины активного волокна в резонаторе лазера. Длина гольмиевого волокна варьировалась от 4.5 м до 6.3 м». Из текста диссертации не ясно, является ли изменение длины активного волокна в резонаторе лазера определяющим фактором, который влияет на длину волны генерации лазера.
3. В разделе 3.3.2 показано, что при усилении ультракоротких импульсов высокой мощности возникает спектральная деформация усиленного излучения. Однако отсутствует информация о том, как это сказывается на форме и длительности усиливаемых импульсов.
4. Несмотря на то, что в данной работе были реализованы схемы гольмиевых волоконных лазеров, работающих как в непрерывном, так и в импульсном режимах (в том числе в режиме ультракоротких импульсов), в четвертой главе рассматривается воздействие на биологические ткани только непрерывным излучением на длине волны 2.1 мкм. Интерес представляет сравнение результатов воздействия непрерывного излучения и импульсного, в том числе ультракороткого, излучения на биологические ткани. Данный вопрос в диссертации не рассмотрен.

Указанные замечания не снижают высокой оценки диссертации Филатовой С.А., а направлены на более полное раскрытие полученных результатов.

Заключение

Подводя итог вышесказанному, можно утверждать, что диссертационная работа Филатовой С.А. представляет собой качественное научное исследование, выполненное на актуальную тему, характеризующееся новизной и практической значимостью результатов. Выводы диссертационной работы основаны на результатах, полученных автором лично. Содержание диссертационной работы соответствует указанной специальности, а автореферат полностью отражает ее содержание. По материалам диссертации автором опубликовано 8 статей в ведущих профильных российских и зарубежных рецензируемых журналах, в том числе 5 статей в журналах из списка ВАК. Результаты работы были представлены в 8 докладах на всероссийских и международных конференциях.

Диссертационная работа Филатовой С.А. соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ №

842 от 24.09.2013 г. (ред. от 02.08.2016), а ее автор Филатова Серафима Андреевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 - Лазерная физика.

Отзыв составил профессор кафедры оптики, спектроскопии и физики наносистем физического факультета МГУ, д.ф.-м.н. по спец. 01.04.21 - Лазерная физика.

тел. 8 (495) 939-59-81

paniy@t8.ru



Наний О.Е.

Доклад по диссертации заслушан и отзыв утверждён на заседании кафедры Оптики, спектроскопии и физики наносистем Физического факультета МГУ «5» сентября 2019 г.

Присутствовало 19 человек.

Результаты голосования – единогласно.

Протокол № 6 от 5 сентября 2019 г.

Зам.заведующего кафедрой оптики,
спектроскопии и физики наносистем
доцент



И.А.Каменских

Учёный секретарь кафедры оптики,
спектроскопии и физики наносистем
доцент



О.М.Вохник

Сведения о ведущей организации.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ)

Почтовый адрес: 119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1.

Контактный телефон: +7(495) 939-10-00 Факс: +7(495) 939-01-26

Интернет-сайт: www.msu.ru, email: info@rector.msu.ru

С отзывом ознакомлена
09.09.2019 г. 