

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук Каблукова Сергея Ивановича 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. представляет собой комплексную работу, связанную с исследованием оптических свойств биологических тканей (скелетные мышечные ткани коровы и свиньи, свиная жировая ткань, свиной спинной мозг и твердая мозговая оболочка спинного мозга), созданием и исследованием гольмиевых волоконных лазерных систем, излучающих в двухмикронном спектральном диапазоне и работающих в непрерывном и импульсном режимах, а также с исследованием результатов воздействия непрерывного двухмикронного лазерного излучения на биологические ткани бесконтактным и контактными методами.

На данный момент наблюдается активное внедрение лазерных технологий в различные прикладные отрасли, в том числе и в медицину. Зачастую большинство используемых в медицинской хирургии твердотельных лазеров работают в режиме генерации длинных импульсов (100–250 мкс) с низкой частотой повторения в спектральном диапазоне 1.93–2.05 мкм. Однако не всегда такие режимы работы могут обеспечить требуемый результат воздействия на биообъект. Актуальность работы объясняется необходимостью расширения и совершенствования базы лазерных систем, используемых не только в медицине, но и в других прикладных и научных областях. Для практических применений необходимы компактные и простые в использовании лазерные системы, обеспечивающие различные режимы работы – от генерации непрерывного излучения, до генерации ультракоротких импульсов с возможностью перестройки длины волны. Такие режимы работы в сочетании с компактностью источника излучения можно получить при использовании волоконных лазеров, которые имеют ряд преимуществ перед твердотельными лазерами. В связи с этим разработка компактных и простых в использовании волоконных лазерных систем для применения, например, в медицине является актуальной задачей.

Диссертационная работа изложена на 161 странице и состоит из введения, 4 глав, заключения и списка цитируемой литературы (185 наименований), включая 91 рисунок и 7 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы работы, определены цели и задачи исследований, отмечена научная новизна и научно-практическая ценность полученных результатов, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава содержит обзор литературы по темам исследований, представленных в работе. В ней рассмотрены основные методы и модели для изучения оптических свойств биологических тканей, а также преимущества и недостатки этих методов. Также в ней описаны основные достижения в области генерации непрерывного и импульсного двухмикронного излучения с помощью гольмиевых лазеров и усилителей. Приведено описание взаимодействия лазерного излучения с биологическими тканями как в зависимости от параметров лазерного излучения (длина волны, плотность энергии, длительность импульсов и частота повторения), так и от метода воздействия (контактный, бесконтактный). В главе последовательно обосновывается необходимость проводимых исследований.

Вторая глава содержит результаты исследований оптических свойств биологических тканей (скелетные мышечные ткани коровы и свиньи, свиная жировая ткань, свиной спинной мозг и твердая мозговая оболочка спинного мозга) *in-vitro* с помощью спектрофотометра SHIMADZU UV-3101PC. В ней также обсуждается изменение спектров пропускания биотканей в зависимости от времени, прошедшего между подготовкой образцов и проведением измерений. Там описаны процесс обработки полученных спектров пропускания с последующим вычислением на их основе спектров поглощения. Полученные спектры поглощения биологических тканей сравнивались между собой, а также с поглощением воды. В конце главы обосновывается выбор гольмиевых волоконных лазеров для дальнейших исследований.

Третья глава посвящена созданию и исследованию гольмиевых волоконных лазерных источников двухмикронного диапазона в полностью волоконном исполнении с различными режимами генерации. Так в работе были продемонстрированы гольмиевые волоконные лазеры, работающие как в непрерывном режиме с максимальной мощностью более 8 Вт, так и в режиме самомодуляции добротности с генерацией импульсов длительностью несколько сотен наносекунд. Впервые создан полностью волоконный гольмиевый лазер, работающий в режиме синхронизации мод за счет эффекта нелинейного вращения плоскости поляризации (НВП) и генерирующий ультракороткие импульсы длительностью 1.8 пс. Создан ряд гольмиевых волоконных усилителей слабого сигнала в диапазоне 2.02–

2.15 мкм, а также определено предельное усиление для каждой длины волны в этом диапазоне и оптимальная длина гольмиевого волокна в усилителе. Продемонстрировано усиление ультракороткого импульсного излучения на длине волны 2.065 мкм и показана динамика изменения их спектров в процессе усиления.

В четвертой главе описаны результаты воздействия 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. В ней исследовалась зависимость размеров повреждений биологических тканей от уровня мощности излучения и времени экспозиции.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы. Выводы работы логично вытекают из представленных экспериментальных данных. Конец каждой главы также сопровождается выводами, где кратко отражены ключевые результаты проведенных исследований.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые реализованы гольмиевые лазерные системы, а именно полностью волоконный гольмиевый лазер, работающий в режиме синхронизации мод за счет нелинейного вращения плоскости поляризации с генерацией ультракоротких импульсов длительностью менее 50 пс в диапазоне длин волн 2.06–2.08 мкм, а также гольмиевый волоконный усилитель слабого сигнала в диапазоне длин волн 2.02–2.15 мкм с максимальным коэффициентом усиления 35.8 дБ на длине волны 2.05 мкм. Кроме того, выполнена комплексная работа по исследованию оптических свойств определенных биологических тканей, созданию источников двухмикронного лазерного излучения и исследованию воздействия непрерывного излучения одного из источников на эти биоткани.

Практическое значение работы состоит в том, что разработанные гольмиевые волоконные лазерные системы в дальнейшем могут быть использованы как для фундаментальных исследований, так и для прикладных целей (для создания медицинских лазерных систем), а также для систем генерации суперконтинуума и параметрической генерации в среднем ИК диапазоне. Полученные данные по оптическим свойствам биологических тканей могут быть использованы как для расчета глубины проникновения, так и для моделирования распространения лазерного излучения в этих тканях.

Работа Филатовой С.А. выполнена на хорошем научном уровне, оформлена в соответствии с требованиями, написана достаточно грамотно и

подтверждает квалификацию автора. Полученные результаты помогут при проведении дальнейших исследований по данной теме. Задачи, поставленные в работе, выполнены полностью, выводы соответствуют полученным результатам. Однако работа не лишена некоторых недостатков, которые в основном относятся ко второй главе:

1. С одной стороны, в конце параграфа 2.1 написано, что время измерения одного «спектра пропускания во всем спектральном диапазоне составляет около 12 минут». В следующем параграфе указывается, что интервал между измерениями – 10 минут. С другой стороны, на рисунке 29 в легенде к графикам указано время в виде: t_0 , t_0+10 , t_0+20 , t_0+30 . Эти значения времени противоречат предыдущим утверждениям. Если первые два утверждения верны, то указанные времена следует скорректировать. Для первой линии там стоит время начала измерений t_0 , поэтому, судя по длительности отдельного измерения и величине интервала, подписи для остальных линий должны быть исправлены на t_0+22 , t_0+44 , t_0+66 . Кроме того, видно, что при переходе от первого графика ко второму пропускание изменяется наибольшим образом. При таком длительном времени измерения первый спектр пропускания заметно искажается непосредственно в процессе измерения, что следовало упомянуть в тексте.
2. В тексте к этому же рисунку 29 написано, что переход к графикам (в) осуществлялся по формуле (5), в которой "коэффициент $x_1(\lambda)$ учитывает спектральную зависимость пропускания предметных стекол и контакт между предметными стеклами и образцом". Считаю, что зависимость этого коэффициента нужно было более подробно расписать в тексте. Больше всего вопросов вызывает такая зависимость для контакта "между предметными стеклами и образцом", поскольку далее в тексте диссертации указывается, что из-за смачивания изменяется величина измеренного коэффициента экстинкции. В связи с этим считаю, что нужно было указать, как конкретно был учтен контакт "между предметными стеклами и образцом" в коэффициенте $x_1(\lambda)$.
3. В тексте указывается, что образцы имели разную толщину, но явно не сказано, что не измерялась зависимость пропускания от толщины образца. Вычислялся ли коэффициент экстинкции по зависимости спектров пропускания от толщины образца?


Несмотря на представленные замечания, работа заслуживает общую положительную оценку. Результаты, полученные соискателем, имеют научно-практическую значимость, а выводы работы хорошо обоснованы.

Тема диссертации соответствует специальности 01.04.21 «Лазерная физика». Основные результаты изложены в 8 статьях в профильных российских и зарубежных рецензируемых журналах, в том числе в 5 статьях в журналах из списка ВАК. Результаты работы были представлены в 8 докладах на всероссийских и международных конференциях. Автореферат отвечает структуре диссертации и дает представление об актуальности работы, основных научных результатах и их новизне.

Представляемая к защите диссертационная работа Филатовой С.А. удовлетворяет требованиям к кандидатским диссертациям, которые установлены «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (ред. от 10.06.2017), а ее автор, Филатова Серафима Андреевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, профессор РАН,
главный научный сотрудник,
зав. Лабораторией оптических сенсорных систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения РАН» (ИАиЭ СО РАН)


Каблуков С.И.
«19» сентября 2019 г.

ФИО: Каблуков Сергей Иванович

Почтовый адрес:

630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, д. 1,

Рабочий тел. +7 (383) 330-68-32

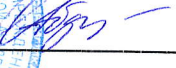
E-mail: kab@iae.nsk.su


Подпись Каблуква С.И. удостоверяю.

И.о. ученого секретаря ИАиЭ СО РАН

к.ф.-м.н




Абдуллина С.Р.
«19» сентября 2019 г.

С отзывами ознакомлена
20 сентября 2019 г.
 (Филатова С.А.)