

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора физико-математических, профессора Мишиной Елены Дмитриевны на диссертационную работу Ерёмина Тимофея Владимировича “Лазерная оптическая спектроскопия допированных одностенных углеродных нанотрубок”, выдвинутую на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – “Лазерная физика”

В представленной диссертационной работе Ерёмина Т.В. методами лазерной спектроскопии исследуются фундаментальные физические свойства легированных одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ). Такие наноструктуры не только активно исследуются на протяжении последнего десятилетия, но и производятся промышленным способом. Это связано с возможностью их использования в устройствах различных технологических направлений: конструкционном материаловедении, биомедицине, электронике. Оптические свойства ОУНТ, исследуемые в данной работе, используются при создании источников одиночных фотонов при комнатной температуре, лазеров, генерирующих излучение в инфракрасной области спектра, оптических детекторов механического напряжения, флюоресцирующих биометок, и др. В основе таких применений лежат фундаментальные явления, которые проявляются именно в легированных ОУНТ: локализация фотовозбуждений в нуль-мерных ловушках, многочастичные корреляционные эффекты, одномерный дрейф экситонов и носителей заряда и т.д. Несмотря на заметный прогресс в понимании этих и других физических явлений, протекающих в ОУНТ, легированных различными методами, эта область исследований не теряет своей актуальности, оставляя множество открытых вопросов, для ответа на которые во многих случаях необходимо прибегать к методам лазерной спектроскопии, в том числе, фемтосекундной.

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения.

Во введении к диссертационной работе обосновывается актуальность исследования, формулируются цели и задачи исследования, а также положения, выносимые на защиту.

Первая глава диссертационной работы представляет собой подробный обзор научной литературы, анализ современного состояния темы исследования и степени ее разработанности. Дается краткое описание физических явлений, лежащих в основе исследования ОУНТ спектроскопическими методами. Обсуждаются различия в оптических свойствах ОУНТ, легированных различными методами.

Вторая глава диссертации посвящена отработке и исследованию метода легирования ОУНТ хлоридом меди. Метод заключается в возгонке при высокой температуре хлорида меди, помещенного в реактор в виде порошка совместно с пленкой ОУНТ. Основным вывод этой главы заключается в том, что легирование ОУНТ начинает происходить уже во время выдержки ОУНТ в парах хлорида меди при высокой температуре, что несомненно является новым результатом, поскольку в предшествующих работах по теме сравнивались оптические свойства ОУНТ до и после заполнения, но не анализировались непосредственно в процессе заполнения. Вывод основан на результатах анализа изменения спектров резонансного комбинационного рассеяния света в *in-situ* в течение процесса заполнения ОУНТ.

В третьей главе диссертационной работы исследуются ОУНТ, легирование которых происходит при их помещении в соляную кислоту. Основным вывод главы заключается в том, что в результате такого легирования изменяется структура энергетических уровней ОУНТ с возникновением двух дополнительных энергетических уровней, с верхнего из которых может происходить рекомбинация с испусканием фотона в ИК

области спектра, а нижний является оптически темным. Существование последнего подтверждается сигналом индуцированного поглощения в спектрах индуцированной прозрачности, полученных с помощью двухцветной фемтосекундной спектроскопии "накачка-зондирование". Такой вывод является новым и интересным научным результатом, поскольку ОУНТ, легированные в кислотной среде ранее не исследовались с привлечением метода спектроскопии "накачка-зондирование". С первого взгляда необходимость применения этого метода представляется неочевидной, однако именно с его помощью бы обнаружен комплекс энергетических уровней в протонированных ОУНТ, о существовании которых не сообщалось ранее в научной литературе. Соответственно, сделанные в диссертационной работе выводы о механизме заселения нижнего дополнительного уровня и об оптическом переходе с его участием при поглощении излучения с длиной волны около 1200 нм также являются новыми и обоснованными научными результатами.

В заключении приведены основные результаты работы и обсуждается их научная значимость.

Несмотря на общую высокую оценку работы, к работе необходимо сделать следующие замечания.

1) При анализе спектров индуцированного поглощения (Рис. 60) автор обращает внимание на сигнал индуцированного поглощения в области 1200 нм, с результатами анализа которого связана часть основанных выводов работы. Однако автор оставляет без внимания заметный сигнал индуцированного поглощения в области около 1050-1075 нм, в связи с чем возникает вопрос о его происхождении.

2) Исследования нелинейных оптических свойств нанотрубок ограничиваются использованием только одной длины волны накачки, при том что в описании использовавшейся установки отмечена возможность перестройки длины волны накачки. Не ясно, почему в работе не

реализована эта возможность, ведь это позволило бы исследовать структуру энергетических уровней легированных ОУНТ с другими диаметрами, содержащихся в исследуемом образце.

3) В работе не обсуждается, с чем связан запрет прямого оптического перехода между основным состоянием ОУНТ и трионным уровнем.

4) В работе лишь поверхностно обсуждаются причины существенных изменений в спектрах комбинационного рассеяния света при заполнении хлоридом меди. Хотелось бы видеть более подробное описание физических процессов, лежащих в основе этого явления.

5) Из результатов работы следует, что предложенное легирование ОУНТ не привело к увеличению квантового выхода люминесценции. На основании действительно важных результатов, полученных в диссертации, следовало бы обсудить перспективы легирования ОУНТ (другими способами или другими материалами) в свете создания на их основе материалов для лазерной генерации.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.21 – «лазерная физика» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Обоснованность и достоверность представленных результатов подтверждается их публикацией в пяти статьях в международных рецензируемых журналах, в том числе, высокорейтинговых.

Таким образом, соискатель Ерёмин Тимофей Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – «лазерная физики».

Официальный оппонент:

Мишина Е.Д.

доктор физико-математических наук, профессор,
заведующий лабораторией фемтосекундной
оптики для нанотехнологий кафедры наноэлектроники
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
"МИРЭА - Российский технологический университет"

Контактные данные:

Тел. +7 (495) 215-65-65, доб. 3026

e-mail: mishina@mirea.ru

Специальность, по которой защищена диссертация

05.27.01 - «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты,
микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах»

Адрес места работы:

119454, г. Москва, проспект Вернадского, д. 78, стр. 2, Федеральное
государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «МИРЭА - Российский технологический университет»,
кафедра наноэлектроники.

Тел. +7 499 215-65-65

Электронный адрес: mirea@mirea.ru

<http://mirea.ru>

Дата: 27 октября 2021 г.