

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Ерёмина Тимофея Владимировича “Лазерная оптическая спектроскопия допированных одностенных углеродных нанотрубок”, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика

Диссертационная работа Ерёмина Т.В. посвящена исследованию фундаментальных свойств одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ), функционализированных за счет взаимодействия с хлоридом меди либо с хлороводородом. Работы, исследующие свойства каким-либо образом модифицированных ОУНТ все чаще можно встретить в научной литературе. Мотивация таких исследований заключается в желании получить на базе ОУНТ материал с определенными желаемыми свойствами: с улучшенной проводимостью и прозрачностью для гибкой электроники, с увеличенной прочностью или теплопроводностью для создания композитных материалов или же с увеличенной яркостью фотолюминесценции.

Результаты, полученные в диссертационной работе Ерёмина Т.В., расширяют наше понимание имеющихся методов функционализации ОУНТ и позволяют продвинуться в структурировании и согласовании данных о физических свойствах ОУНТ, функционализированных различными методами.

В частности, выявлены важные детали газофазного метода заполнения ОУНТ. А именно, происходит ли допирование только на последнем этапе остывания и десублимации заполняющего вещества или же допирование начинается ещё в горячей стадии процесса. В результаты проведенных в диссертационной работе экспериментов представляют собой сильные аргументы в пользу второго предположения.

Кроме того, проведенное в диссертационной работе комплексное исследование структуры энергетических уровней протонированных ОУНТ позволяет частично согласовать на первый взгляд противоречивые результаты ранее опубликованных работ, в части из

которых сообщается о появлении двух новых фотолюминесцентных пиков после допирования ОУНТ, а в части - о появлении только одного. А именно, в диссертации достоверно установлено, что трионный уровень в допированных ОУНТ может быть оптически темным, следовательно, дальнейшая дискуссия об энергетической структуре допированных ОУНТ должна вестись только в свете результатов экспериментальных исследований, позволяющих наблюдать темные состояния, например, методом "накачка-зондирование".

Результаты работы докладывались на международных конференциях и опубликованы в рецензируемых научных журналах (Scientific Reports, Carbon и др.).

Имеются следующие замечания по автореферату:

Во ВТОРОЙ главе обсуждается комплексное изменение в КРС спектрах ОУНТ по мере их заполнения хлоридом меди: смещение тангенциальной моды и овертона дефектной моды в область высоких частот, подавление радиальных дыхательных мод. Из этого делается вывод, что метод *in situ* лазерной спектроскопии КРС позволяет наблюдать эффект переноса заряда непосредственно в процессе заполнения ОУНТ хлоридом меди. В этой связи надо отметить, что «перенос заряда» или уровень легирования традиционно описывается в терминах концентрации примесных носителей или энергетического сдвига уровня Ферми. Тем не менее, в указанном разделе не приводится количественной связи между сдвигом тангенциальной моды и указанными характеристиками. Таким образом остается не ясным, является ли предложенный механизм легирования сколько-нибудь эффективным.

В ТРЕТЬЕЙ главе модификация оптических свойств ОУНТ при легировании соляной кислотой, добавляемой непосредственно в водную суспензию, описывается в виде ряда спектров ФЛ при возбуждении излучением с одной и той же длиной волны. При этом никак не обсуждается возможность «ухода» резонанса именно для возбуждающего излучения. Гораздо корректнее было бы обсуждать эволюцию ФЛ карт, аналогичных показанным на рисунке 4, когда изменяется и энергия излучения возбуждения и излучения эмиссии. Это же относится ко всем представленным данным по эволюции спектров ФЛ

при изменении концентрации соляной кислоты в суспензии ОУНТ. Автор считает достаточным проведение измерений спектров на одной длине волны возбуждающего излучения. Скорее всего, это правильно. Критику вызывает отсутствие обоснования такого подхода.

Перечисленные замечания не снижают общей высокой оценки работы. Автореферат диссертации четко и полно отражает суть проведенных исследований и соответствует Положению о присуждении ученых степеней в МГУ имени М.В. Ломоносова. Соискатель Ерёмин Тимофей Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – “лазерная физика”.

Кандидат физико-математических наук, зам. зав. лаборатории наноуглеродных материалов Физтех-школы электроники, фотоники и молекулярной физики Московского физико-технического института

Федоров Георгий Евгеньевич

“11” ноября 2021 г.

Я, Федоров Георгий Евгеньевич, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета МГУ.01.13 и их дальнейшую обработку.

Контактные данные:

Телефон:

E-mail: fedorov.ge@mipt.ru

Адрес места работы: 141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер., 9.

Подпись Федорова Георгия Евгеньевича заверяю:

Ученый секретарь института

Евсеев Евгений Григорьевич