

**ОТЗЫВ официального оппонента Авакянца Льва Павловича
на диссертацию на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук
Ерёминой Валентины Александровны**

**На тему: «Оптические и электрофизические свойства одностенных
углеродных нанотрубок, разделённых по типу проводимости»
по специальности 01.04.21 – «лазерная физика»**

Диссертационная работа Ерёминой Валентины Александровны, представленная на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, посвящена формированию фракций металлических и полупроводниковых одностенных углеродных нанотрубок, исследованию их структурных и оптических свойств методами лазерной оптической спектроскопии и их электрофизических свойств. Предлагаются подходы к формированию новых устройств (сенсоров и низко-полевых эмиттеров электронов) на основе полученных уникальных материалов.

Актуальность работы обусловлена, во-первых, тем, что интерпретация результатов большинства экспериментов по изучению свойств одностенных нанотрубок осложнена наличием в исследуемом материале как полупроводниковых, так и металлических трубок. Во-вторых, для многих практических применений критически важно использовать одностенные углеродные нанотрубки определенного типа проводимости. В-третьих, немаловажной задачей является проведение идентификации типа проводимости и чистоты выделенных фракций методами лазерной оптической спектроскопии.

Диссертационная работа Ерёминой В. А. состоит из введения, четырёх глав и заключения. Во введении обоснована актуальность темы исследований, сформулированы цели и задачи исследования, новизна полученных

результатов, обоснована практическая значимость работы, приведены положения, выносимые на защиту.

Первая глава диссертации представляет собой обзор литературы по теме исследования. Автор описывает связь типа проводимости нанотрубок с их кристаллической структурой. Существенная часть главы посвящена описанию процессов резонансного комбинационного рассеяния света, фотолюминесценции, оптического поглощения света и релаксации фотовозбуждений в контексте различия протекания этих процессов в металлических и полупроводниковых нанотрубках. Описываются преимущества различных методов лазерной оптической спектроскопии при оценке различных параметров разделенных фракций. Далее приводится полный обзор существующих методов сортировки одностенных углеродных нанотрубок. В последнем разделе главы обсуждаются специфика транспорта носителей заряда, эффекта автоэлектронной эмиссии и других электрофизических процессов в металлических и полупроводниковых одностенных углеродных нанотрубках.

Вторая глава включает описание использовавшихся в работе материалов. Даётся описание экспериментальных установок комбинационного рассеяния света, оптического поглощения света, оптической лазерной спектроскопии с временным разрешением. Приводится описание методик формирования сред на основе одностенных углеродных нанотрубок и использовавшихся веществ для разделения нанотрубок по типу проводимости. Детально описывается практическая часть изготовления сенсора транзисторного типа на основе выделенных полупроводниковых нанотрубок. Даётся описание установки для исследования автоэлектронной эмиссии.

Третья глава посвящена исследованию оптических свойств разделённых по типу проводимости одностенных углеродных нанотрубок. Разработанная методика комплексной лазерной спектроскопии позволяет автору сделать

вывод о чистоте полученных полупроводниковых и металлических фракций, составившей 98%.

Методом «накачка-зондирование» проведено исследование кинетики релаксации фотовозбуждений в чистых фракциях металлических и полупроводниковых нанотрубок, а также в смеси металлических и полупроводниковых нанотрубок. Как указывает автор, сравнительный анализ показал определяющую роль металлических нанотрубок в кинетике релаксации фотовозбуждений.

Автором исследуется способ дополнительной модификации свойств одностенных углеродных нанотрубок с помощью заполнения их веществом-акцептором электронов. При этом автором наблюдается сдвиг частот и изменение интенсивности основных мод в спектрах комбинационного рассеяния света в нанотрубках, а также изменения в спектрах оптического поглощения света, свидетельствующие об изменении распределения электронов по энергетическим уровням в нанотрубке и, как следствие, к сдвигу уровня Ферми нанотрубок в валентную зону.

В четвёртой главе автор приводит результаты по использованию одностенных углеродных нанотрубок полупроводникового типа проводимости в качестве сенсора транзисторного типа для обнаружения вещества 2-хлорфенол. Полученный сенсор продемонстрировал хорошие характеристики с минимальным порогом детектирования в 10 ppm и временем отклика в 150 секунд.

Автором проведены сравнительные исследования автоэлектронной эмиссии из одностенных углеродных нанотрубок полупроводникового и металлического типа проводимости. Зарегистрированные вольт-амперные характеристики демонстрируют линейный (для металлических нанотрубок) и нелинейный (для полупроводниковых нанотрубок) тип зависимости вследствие различного электрического сопротивления материалов.

Таким образом, в диссертационной работе получены новые интересные результаты, касающиеся формирования уникальных фракций чистых полупроводниковых и металлических нанотрубок, выявления особенностей их структурных и оптических характеристик различными методами лазерной оптической спектроскопии и демонстрации новых устройств на основе разделенных по типу проводимости одностенных углеродных нанотрубок.

Автореферат диссертации соответствует её тексту, в нём отражена научная новизна работы, её практическая значимость, полученные результаты работы. Текст автореферата оформлен в соответствии с Положением о диссертационном совете Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова.

В ходе ознакомления с диссертационной работой у меня возникли следующие замечания:

1. В литературном обзоре сказано, что по числу фононов, участвующих в процессе комбинационного рассеяния света, выделяют, соответственно, процессы первого, второго и более высоких порядков. Автор допустил неточность, поскольку однофононный процесс с участием акта упругого рассеяния является процессом второго порядка. При этом на рисунке 12 всё же показано, что процесс второго порядка может быть однофононным.
2. В главе 3 обсуждается разделение нанотрубок по типу проводимости в зависимости от концентрации поверхностно-активных веществ. На рисунке 36 цветом показана тенденция изменения спектров оптического поглощения света, но не приведены концентрации поверхностно-активных веществ, при которых получены данные спектры.
3. На карте фотолюминесценции (рисунок 41) подписаны пики, соответствующие нанотрубкам различной хиральности, но не

указано, чему соответствует довольно интенсивный пик на длине волны возбуждения около 550 нм и длине волны эмиссии 1025 нм.

4. В главе 3 исследуется кинетика релаксаций фотоэлектронных возбуждений в полупроводниковых и металлических нанотрубках, получены характерные времена релаксаций. Однако рассмотрены кинетики только при двух длинах волн зондирующего импульса: 540 нм и 675 нм, в то время как использование более широкого набора длин волн позволило бы охватить несколько различных хиральностей как полупроводниковых, так и металлических нанотрубок. Было бы уместно сравнить кинетику релаксации в нанотрубках нескольких различных хиральностей, но одного типа проводимости, представив результаты аппроксимации и на других длинах волн.
5. В автореферате присутствуют опечатки. Два идущих подряд рисунка пронумерованы номером 12.

Указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом им. М. В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.21 – «Лазерная физика», а также критериям, определённым пп. 2.1 – 2.5 Положения о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова, соответствует критериям «Положения о порядке присуждения учёных степеней ВАК (утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842)». Диссертационная работа оформлена согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова.

Диссертация Ерёминой Валентины Александровны «Оптические и электрофизические свойства одностенных углеродных нанотрубок, разделённых по типу проводимости» является законченной научно-

квалификационной работой, а её автор безусловно заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – «Лазерная физика».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
доцент кафедры общей физики Физического факультета Федерального
государственного бюджетного образовательного учреждения высшего
образования «Московский государственный университет имени М.В.
Ломоносова»

АВАКЯНЦ Лев Павлович



Контактные данные:

тел.: +7 (495) 939-23-88, e-mail: avakyants@physics.msu.ru

Специальность, по которой
защищена диссертация:

01.04.05 – «Оптика»

Адрес места работы:

119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, МГУ имени М.В.Ломоносова, дом 1, строение 2, Физический факультет, кафедра общей физики

Тел.: +7 495 939-16-82; e-mail: info@physics.msu.ru

Подпись сотрудника Физического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова
Л. П. Авакянца удостоверяю:

Декан Физического факультета
МГУ им. М. В. Ломоносова,
профессор

«9» ноября 2018 г.




Сысоев Н. Н.