



Утверждаю  
Проректор по научной работе СПбГЭТУ  
М. Ю. Шестопалов  
\_\_\_\_\_ 2015 года

### **ОТЗЫВ**

ведущей организации

на диссертацию Тучина Андрея Витальевича «Размерная модуляция электронной структуры и эффекты сильного электрического поля в ультракоротких углеродных нанотрубках», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

#### **Актуальность темы диссертации**

В настоящее время уделяется большое внимание функциональным свойствам материалов низкой размерности. К такого рода материалам относятся ультракороткие одностенные углеродные нанотрубки (ук-ОУНТ), которые активно исследуются теоретически и экспериментально. Это определяется чувствительностью электронной структуры, электрофизических, оптических и химических свойств к длине, а также технологическими успехами в области прецизионного синтеза нанотрубок длиной от единиц до десятка нанометров. Утверждается также, что хиральность этих нанотрубок в ходе их роста тоже можно контролировать.

Ряд уникальных свойств ук-ОУНТ и возможность управления их свойствами электрическим полем определил интерес к ним при разработке элементной базы нано- и оптоэлектроники, автоэмиссионных катодов, наноэлектромеханических устройств. В настоящий момент систематические данные о связи электронной структуры и функциональных свойств ук-ОУНТ отсутствуют. Недостаточно изучено также поведение ук-ОУНТ в сильном электрическом поле, что особенно важно для эмиссионных приложений.

Таким образом, диссертационная работа Тучина А.В., посвященная теоретическому исследованию размерной перестройки электронной структуры, параметров и функциональных свойств ук-ОУНТ актуальна как в научном, так и практическом отношении.

### **Новизна полученных результатов диссертации**

Наиболее интересными результатами диссертации можно считать следующее:

1. Мультиплетность эффекта Штарка, заключающаяся в зависимости полевого смещения энергий граничных орбиталей от кратности числа ярусов гексагонов.
2. Активация «замороженных» колебательных мод в сильном электрическом поле ук-ОУНТ с числом ярусов гексагонов, равным 0 и 1.
3. Противофазные размерные осцилляции зазора между граничными орбиталями ук-ОУНТ (5, 5) в синглетном и триплетном состояниях.
4. Локальный синтез карбида кремния из коллоидных растворов аэросила и углеродных нанотрубок при комнатной температуре.

### **Значимость научных и практических результатов диссертации**

Используемый в работе подход, заключающийся в исследовании перестройки электронной структуры при наращивании числа ярусов гексагональных ячеек в ук-ОУНТ, позволил определить закономерности изменения параметров нанотрубок и их функциональных свойств от длины.

Предложен подход к локальному синтезу высокотемпературных нанофаз при комнатной температуре из коллоидных взвесей нанотрубок и второй наноконпоненты.

Существенно расширена теория эффекта Штарка как средство управления функциональными свойствами нанотрубок.

### **Рекомендации по использованию результатов диссертации**

Результаты исследования размерной и полевой модуляции электронной структуры ук-ОУНТ (5, 5) использованы в отчете по гранту РФФИ №14-02-31315 мол\_а "Модуляция электронной структуры и эффекты сильного электрического поля в ограниченных по длине одностенных углеродных нанотрубках сверхмалого диаметра". Разработанная базы данных характеристики и идентификации ук-ОУНТ (5, 5), дополненная сорбционными свойствами, является прототипом электронного ресурса базы данных широкого круга ук-ОУНТ, разрабатываемого в ходе работ по ФЦП «Исследования и разработка по приоритетным направлениям развития

научно-технического комплекса России на 2014-2020 годы», госконтракт 14.574.21.0112. Предложенный метод синтеза композитных материалов используется для разработки функциональных наноматериалов в ходе работ над международным проектом FP7-IRSES-295260 "ECONANOSORB" при поддержке акций Марии Кюри седьмой рамочной программы Европейского союза. Результаты исследования могут быть рекомендованы для ознакомления и использования специалистами по углеродным наноматериалам, органической полупроводниковой электроники из ведущих предприятий российской полупроводниковой науки и промышленности: СПбПУ, ФТИ им. А.Ф.Иоффе, СПбГЭТУ, СПбГУ, МГУ, в Национальном исследовательском университете МИЭТ, ОАО «НИИЭТ», Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Институте проблем химической физики, ООО «НаноТехЦентр», а так же в других научно-исследовательских организациях.

Кроме того, полученные результаты и разработанные методы можно использовать в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлению электроника и наноэлектроника.

### **Достоверность результатов и выводов диссертации**

Достоверность приведенных в работе данных подтверждается соответствием тестовых квантово-химических расчетов геометрии, электронной структуры, колебательного спектра фуллерена  $C_{60}$  с экспериментальными и теоретическими данными, приведенными в литературе, а также оптимизацией расчетов и контрольных экспериментов по синтезу карбида кремния на каждом этапе работы. Выводы диссертации внутренне непротиворечивы и согласуются с данными других авторов.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. Практический путь получения коротких НТ в ходе CVD – эксперимента понятен и доступен. Однако сортировка нанотрубок данного диаметра (получить которые само по себе является непростой задачей) по хиральному углу *in situ* затруднительна и в имеющейся литературе убедительно не доказана. Наши оценки свидетельствуют о неизбежной доле проводящих нанотрубок 1/3 как при формально – математическом, так и термодинамическом переборе всех нанотрубок. К сожалению, в диссертации отсутствует авторская точка зрения по этому принципиальному вопросу.

2. Полученные зависимости зонной структуры нанотрубок от числа ярусов гексагонов выглядит убедительно. Желательно было бы рассмотреть следствия этих зависимостей как возможные применения и обозначить пути их реализации. К сожалению, такой раздел в работе отсутствует.

3. Нанотрубки (5,5) являются почти экстремально тонкими – это диаметр фуллерена  $C_{60}$ . Однако известно, что даже когда осколки фуллеренов используются как затравка роста НТ, их диаметр все равно оказывается, как правило, гораздо больше - (1.1 – 1.3nm). Поэтому странно говорить о массиве таких тонких НТ, тем более таком, что все НТ в нем одинаковы. Не понятно, таким образом, насколько результаты справедливы для нанотрубок другого диаметра.

4. Предложения, выносимые на защиту, должны содержать «глагол», в противном случае их суть остается непонятной. В этом плане смысл положения 2 неясен, а включение в список основных положений составление базы данных выглядит странно.

Приведенные замечания не ставят под сомнение основные результаты, выводы диссертации и не снижают научной ценности работы.

### **Заключение**

Диссертация Тучина А.В. является завершенной научно-исследовательской работой, выполненной автором на высоком научном уровне. Автореферат и публикации полно и правильно отражают содержание диссертации, ее основные положения и выводы.

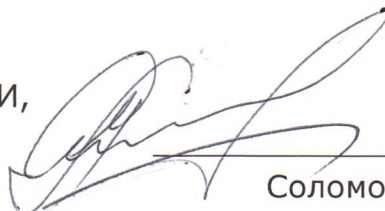
По объему, научной новизне, практической значимости и достоверности диссертационная работа Тучина А.В. «Размерная модуляция электронной структуры и эффекты сильного электрического поля в ультракоротких углеродных нанотрубках» полностью отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Автор диссертации Тучин Андрей Витальевич заслуживает присуждение ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 — Физика полупроводников.

Отзыв, составленный на основании ознакомления с текстом диссертации и авторефератом, а также доклада А.В. Тучина на межкафедральном научном

семинаре, рассмотрен и одобрен на заседании кафедры микро- и наноэлектроники Санкт-Петербургского Государственного Электротехнического Университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) «24» 04 2015 года, протокол № 2

**Отзыв составил**

Декан факультета электроники СПбГЭТУ ЛЭТИ,  
д.ф.м.н, профессор,



Соломонов. А.В.

Ученый секретарь кафедры микро- и наноэлектроники  
к.ф.м.н, доцент



Александрова О. А.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) »

Адрес: 197376, Россия, Санкт-Петербург, улица Профессора Попова, дом 5

Телефон: +7(812)234-40-63

E-mail: [fel@eltech.ru](mailto:fel@eltech.ru)