

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.285.02,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ ПЕРВОГО ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б. Н. ЕЛЬЦИНА»,  
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ  
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело №

решение диссертационного совета от 25.05.2018 г. № 5

О присуждении Несову Сергею Николаевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Атомная и электронная структура композитов на основе многостенных углеродных нанотрубок и оксида олова, полученных с применением газофазного и ионно-плазменного методов» по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния принята к защите 20 ноября 2017 г. (протокол заседания № 13) диссертационным советом Д 212.285.02, созданным на базе ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Минобрнауки России; 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19; созданным приказом Минобрнауки России № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель, Несов Сергей Николаевич, 1982 года рождения, в 2005 г. окончил ФГБОУ ВО «Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского» по специальности «Физика»; в 2008 г. окончил очную аспирантуру ФГБУН Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния; работает в должности младшего научного сотрудника Комплексного научно-исследовательского отдела региональных проблем ФГБУН Омский научный

центр Сибирского отделения Российской академии наук, Федеральное агентство научных организаций.

Диссертация выполнена в Комплексном научно-исследовательском отделе региональных проблем ФГБУН Омский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Федеральное агентство научных организаций.

**Научный руководитель** – доктор физико-математических наук, профессор, Болотов Валерий Викторович, ФГБУН Омский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Комплексный научно-исследовательский отдел региональных проблем, главный научный сотрудник.

**Официальные оппоненты:**

Турищев Сергей Юрьевич, доктор физико-математических наук, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», кафедра физики твердого тела и наноструктур, доцент;

Жидков Иван Сергеевич, кандидат физико-математических наук, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Физико-технологический институт, кафедра электрофизики, доцент

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** – ФГБУН Институт неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск – в своем положительном отзыве, подписанном Окотрубом Александром Владимировичем, доктором физико-математических наук, профессором, заведующим отделом химии функциональных материалов, указала, что диссертационная работа Несова С.Н. является завершенной научно-квалификационной работой, которая содержит решение актуальной научной задачи, направленной на установление закономерностей формирования атомной и электронной структуры композитов на основе многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) и оксидов олова, перспективных при разработке чувствительных элементов газовых сенсоров и электродов литий-ионных аккумуляторов, и вносит весомый вклад в развитие индустрии наносистем и технологии получения и обработки функциональных

наноматериалов. Диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, установленным в пунктах 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Соискатель имеет 40 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликована 21 работа, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 12 работ. Другие публикации представлены в виде 1 статьи, опубликованной в российском научном журнале; 8 тезисов докладов, опубликованных в сборниках докладов международных (3) и всероссийских (5) научных конференций. Общий объем опубликованных работ – 5,25 п.л., авторский вклад – 2,25 п.л. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации:

1. Несов С.Н. XANES- и XPS-исследования процессов, инициированных высоковакуумным отжигом, в слоях композита  $\text{SnO}_x/\text{MWCNT}$  / В.В. Болотов, П.М. Корусенко, **С.Н. Несов**, С.Н. Поворознюк, Р.В. Шелягин // Физика твердого тела. – 2013. – Т. 55, – N. 6. – С. 1197–1201. – 0,35 / 0,15 п.л.

2. Несов С.Н. Трансформация электронной структуры нанокompозита  $\text{SnO}_{2-x}/\text{MWCNT}$  в условиях высоковакуумного отжига / В.В. Болотов, **С.Н. Несов**, П.М. Корусенко, С.Н. Поворознюк // Физика твердого тела. – 2014. – Т. 56, – N. 9. – С. 1834–1838. – 0,37 / 0,18 п.л.

3. **Nesov S.N.** Changes of the electronic structure of the atoms of nitrogen in nitrogendoped multiwalled carbon nanotubes under the influence of pulsed ion radiation / P.M. Korusenko, V.V. Bolotov, **S.N. Nesov**, S.N. Povoroznyuk, I.P. Khailov // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. – 2015. – V. 358. – P. 131–135. – 0,37 / 0,16 п.л.

4. **Несов С.Н.** Межфазное взаимодействие в композите на основе многостенных углеродных нанотрубок и аморфного оксида олова / **С.Н. Несов**,

В.В. Болотов, П.М. Корусенко, С.Н. Поворозняк, О.Ю. Вилков // Физика твёрдого тела. – 2016. – Т. 58, – N.5. – С. 966–971. – 0,43 / 0,25 п.л.

5. **Nesov S.N.** Formation of tin-tin oxide core-shell nanoparticles in the composite  $\text{SnO}_{2-x}$ /nitrogen-doped carbon nanotubes by pulsed ion beam irradiation / P.M. Korusenko, **S.N. Nesov**, V.V. Bolotov, S.N. Povoroznyuk, A.I. Pushkarev, K.E. Ivlev, D.A. Smirnov // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. – 2017. – V. 394. – P. 37–43. – 0,3 / 0,12 п.л.

На автореферат поступили положительные отзывы от:

1. Пономарёва Александра Николаевича, кандидата физико-математических наук, научного сотрудника лаборатории физики нелинейных сред ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, г. Томск. Содержит замечание, касающееся отсутствия в автореферате обоснования выбора температурных режимов вакуумной термической обработки композитов и выбора средней энергии ионов и дозы облучения при функционализации массивов МУНТ ионным облучением.

2. Кеслера Валерия Геннадьевича, кандидата физико-математических наук, доцента, старшего научного сотрудника лаборатории физических основ интегральной микрофотоэлектроники ФГБУН Институт физики полупроводников им. А.В. Ржаного Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск. Без замечаний.

3. Полещенко Константина Николаевича, доктора технических наук, профессора, главного научного сотрудника ОАО «Омский научно-исследовательский институт технологии и организации производства двигателей», г. Омск. Содержит замечания: 1) в автореферате недостаточно обоснован выбор энергии и дозы облучения массивов МУНТ ионами аргона; 2) на 15-й странице автореферата проводится сравнительный анализ результатов разложения XPS спектров углерода композита, полученного методом магнетронного распыления, после различных режимов вакуумного отжига. (Рисунки 7а и 7б). При этом автор не привел численного значения относительной интенсивности компонентов углеродных спектров; 3) в автореферате

нет информации о толщине композитных слоёв, формируемых на массивах МУНТ, при использовании методов магнетронного распыления и газофазного осаждения.

4. Вершинина Георгия Анатольевича, кандидата физико-математических наук, доцента, профессора кафедры прикладной и медицинской физики ФГБОУ ВО «Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского», г. Омск. Содержит замечания: 1) недостаточно обоснован выбор оксида олова в качестве компонента для формирования композитов типа  $\text{MeO}_x/\text{МУНТ}$  (кстати, аббревиатура МУНТ в автореферате не расшифрована); 2) не указаны режимы предварительного облучения МУНТ пучком ионов аргона; 3) в автореферате отсутствует обсуждение вопроса о том, каким образом установленные закономерности изменения микроскопических свойств композитов  $\text{SnO}_x/\text{МУНТ}$ , сформированных при различных условиях, могут повлиять на макроскопические характеристики изделий на основе этих композитов.

5. Пушкарёва Александра Ивановича, доктора физико-математических наук, профессора кафедры высоковольтной электрофизики и сильноточной электроники ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск. Без замечаний.

6. Жукалина Дмитрия Алексеевича, кандидата физико-математических наук, доцента кафедры физики полупроводников и микроэлектроники физического факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж. Содержит замечание, касающееся недостаточного математического описания экспериментально наблюдаемых процессов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью своими достижениями в области физики конденсированного состояния, их высокой научной компетентностью в области синтеза и исследования функциональных материалов на основе наноструктурированного углерода и оксидов металлов, а также в области применения рентгеноэлектронных методов исследования для анализа наноструктурированных материалов.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

– **предложен** методический подход, основанный на использовании комплекса рентгеноэлектронных методов анализа, позволяющий проводить корректный неразрушающий анализ структуры интерфейсов композитов на основе многостенных углеродных нанотрубок и оксида олова ( $\text{SnO}_x/\text{МУНТ}$ ), полученных с применением методов химического газофазного осаждения (CVD) и магнетронного распыления;

– **показано**, что при получении композитов  $\text{SnO}_x/\text{МУНТ}$  с применением метода CVD не происходит нарушения кристаллической структуры внешних стенок МУНТ и их окисление реализуется с образованием функциональных групп с двойной  $\text{C}=\text{O}$  связью (карбоксильных и карбонильных групп), вследствие чего формируются композиты с кластерной структурой;

– **установлено**, что при получении композитов  $\text{SnO}_x/\text{МУНТ}$  с применением метода магнетронного распыления формирование структурных дефектов и функциональных групп с одинарной  $\text{C}-\text{O}$  связью (гидроксильных, эпоксидных и карбонатных групп) приводит к образованию ковалентных гетероатомных химических связей ( $\text{Sn}-\text{O}-\text{C}$ ) на интерфейсах «оксид олова - МУНТ»;

– **предложены** экспериментально обоснованные механизмы процессов трансформации структуры и состава композитов  $\text{SnO}_x/\text{МУНТ}$ , содержащих кристаллический диоксид олова ( $\text{SnO}_{2-x}$ ) либо нестехиометрический аморфный оксид олова ( $\text{SnO}_x$ ), в условиях вакуумных термических обработок в диапазоне температур  $300^\circ\text{C} - 800^\circ\text{C}$ ;

– **определены** типы структурных дефектов и кислородсодержащих функциональных групп формируемых в стенках МУНТ вследствие облучения ионами аргона со средней энергией 5 кэВ и дозой  $\sim 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup>;

– **доказано**, что предварительная обработка МУНТ ионами аргона при формировании композитов  $\text{SnO}_x/\text{МУНТ}$  методом CVD способствует химическому

взаимодействию оксида олова с внешними стенками углеродных нанотрубок и позволяет эффективно влиять на структуру и свойства получаемых композитов.

**Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:**

– **получен** комплекс экспериментальных данных, включающий рентгеновские фотоэлектронные спектры, а также спектры рентгеновского поглощения композитов на основе МУНТ и оксида олова, сформированных с применением методов CVD и магнетронного распыления;

– **определено** влияние структурных дефектов и функциональных групп различного типа, формирующихся на поверхности углеродных нанотрубок в процессе осаждения оксида олова, а также на этапе предварительной функционализации МУНТ ионным облучением, на структуру и морфологию композитов  $\text{SnO}_x/\text{МУНТ}$ ;

– **доказано**, что химическое взаимодействие оксида олова с поверхностью МУНТ реализуется при наличии в стенках углеродных нанотрубок структурных дефектов вакансионного типа и функциональных групп с одинарной С-О связью: гидроксильных, эпоксидных и карбонатных групп;

– **изложены** результаты рентгеноэлектронного *in situ* анализа влияния вакуумных термических обработок на структуру композитов  $\text{SnO}_x/\text{МУНТ}$ , содержащих кристаллический диоксид олова  $\text{SnO}_{2-x}$ , а также аморфный нестехиометрический оксид олова  $\text{SnO}_x$ ;

– **раскрыты** основные закономерности процессов, протекающих в условиях вакуумной термической обработки композитов  $\text{SnO}_x/\text{МУНТ}$ , содержащих оксид олова в различном структурном и химическом состоянии.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

– **определены** основные закономерности формирования структуры композитов на основе МУНТ и оксида олова, получаемых с применением методов магнетронного распыления и химического газофазного осаждения, которые могут быть использованы при разработке новых функциональных материалов на основе наноструктурированного углерода и оксидов различных

металлов, перспективных при разработке чувствительных элементов газовых сенсоров и электродов литий-ионных аккумуляторов;

– **определенные** из эксперимента закономерности изменения атомной и электронной структуры композитов  $\text{SnO}_x/\text{МУНТ}$  в условиях вакуумных термических обработок создают научные предпосылки для направленного модифицирования композитных материалов на основе наноструктурированного углерода и оксида олова;

– **показано**, что облучение непрерывным пучком ионов аргона со средней энергией 5 кэВ является эффективным методом функционализации поверхности МУНТ для повышения адгезии оксида олова к стенкам углеродных нанотрубок при формировании композитов  $\text{SnO}_x/\text{МУНТ}$  методом CVD.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

– **надежность** защищаемых научных положений и выводов базируется на экспериментальных результатах, полученных с применением комплекса независимых передовых методов анализа структуры с использованием современного аттестованного оборудования ведущих российских и зарубежных центров коллективного пользования научным оборудованием; неоднократным повторением измерений, показавшим высокую воспроизводимость экспериментальных результатов; использованием общепринятых подходов к обработке и интерпретации экспериментальных результатов; качественным согласованием авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках.

**Личный вклад соискателя** состоит в непосредственном участии в определении темы работы и постановке задач исследования; подготовке образцов, проведении рентгеноэлектронных и микроскопических исследований; обработке и интерпретации экспериментальных результатов; подготовке основных публикаций по выполненной работе в составе авторского коллектива. Основные результаты, изложенные в диссертации, получены автором лично, в том числе, экспериментальные данные, полученные с применением синхротронного излучения в Берлинском центре материалов и энергии им. Гельмгольца (Германия).

Диссертация Несова Сергея Николаевича соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней и является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, направленной на выявление закономерностей формирования и изменения атомной и электронной структуры композитов на основе многостенных углеродных нанотрубок и оксида олова в зависимости от метода их получения и модифицирования, имеющей значение для развития физики конденсированного состояния.

На заседании 25 мая 2018 г. диссертационный совет принял решение присудить Несову С.Н. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель  
диссертационного совета

Огородников Игорь Николаевич

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Ищенко Алексей Владимирович

25 мая 2018 г.

