

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 003.051.01 НА БАЗЕ  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института неорганической химии имени А.В. Николаева  
Сибирского отделения Российской академии наук, Минобрнауки России  
ПО ДИССЕРТАЦИИ **Городецкого Дмитрий Владимировича**  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 13 марта 2019 года № 6

О присуждении *Городецкому Дмитрию Владимировичу*, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «*Микроструктурированные массивы углеродных нанотрубок для автоэмиссионных катодов*» в виде рукописи по специальности 02.00.04 – физическая химия (физико-математические науки) принята к защите *21 ноября 2018 г.*, протокол №18 диссертационным советом Д 003.051.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского отделения Российской академии наук (ИНХ СО РАН), Минобрнауки России (630090, г. Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, д. 3, действующего на основании приказа Минобрнауки РФ от 11.04.2012 № 105/нк).

Соискатель Городецкий Дмитрий Владимирович, 1988 года рождения, на момент защиты диссертации работает инженером 1 категории ИНХ СО РАН. Диссертация подготовлена в лаборатории физикохимии наноматериалов ИНХ СО РАН. В 2011 году соискатель окончил Новосибирский государственный технический университет по специальности – электроника и микроэлектроника.

Диссертация выполнена в лаборатории физикохимии наноматериалов в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского отделения Российской академии наук.

*Научный руководитель* – доктор физико-математических наук, профессор Окотруб Александр Владимирович работает в лаборатории физикохимии наноматериалов ИНХ СО РАН в должности главного научного сотрудника.

*Официальные оппоненты:*

– *Новопашин Сергей Андреевич*, гражданин России, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией разряженных газов ФГБУН Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск;

– *Шандаков Сергей Дмитриевич*, гражданин России, доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой экспериментальной физики ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово.

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

*Ведущая организация, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», (ФГАОУ ВО «МФТИ» ) г. Долгопрудный (Московская область), в своем **положительном заключении**, утвержденном проректором по научной работе и программ развития к.ф.-м.н. Баганом Виталием Анатоліевичем, подписанном заслуженным профессором МФТИ, заместителем заведующего кафедрой вакуумной электроники МФТИ д.ф.-м.н., профессором Шешиним Евгением Павловичем указала, что: «...диссертационная работа Городецкого Д.В. «Микроструктурированные массивы углеродных нанотрубок для автоэмиссионных катодов» нова, актуальна и содержит достоверные полученные результаты и выводы, а также имеет практическую значимость.*

Диссертация отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Д.В. Городецкий заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 02.00.04 – физическая химия.

Отзыв на диссертацию обсужден и одобрен на научном семинаре кафедры вакуумной электроники физтех-школы электроники, фотоники и молекулярной физики 18 февраля 2019 г., протокол №02/19.»

По теме диссертации соискатель имеет 5 работ, из них 2 – в российских рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ, и 3 – в зарубежных рецензируемых журналах; все публикации входят в перечень журналов, индексируемых в международной информационно-аналитической системе научного цитирования Web of Science. Общий объем опубликованных работ составляет 35 стр. (2,19 печ.л.), 17 работ опубликованы в материалах всероссийских и международных конференций и симпозиумов; публикаций в электронных научных изданиях нет.

*Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:*

**1. Gorodetskiy D.V., Gusel'nikov A.V., Shevchenko S.N., Kanygin M.A., Okotrub A.V., Pershin Y.V. Memristive model of hysteretic field emission from carbon nanotube arrays // Journal of Nanophotonics. – 2016. – V. 10 – P. 012524.**

**2. Fedoseeva Yu.V., Bulusheva L.G., Okotrub A.V., Kanygin M.A., Gorodetskiy D.V., Asanov I.P., Vyalikh D.V., Puzyr A.P., Bondar V.S. Field emission luminescence of nanodiamonds deposited on the aligned carbon nanotube array // Scientific reports. – 2015. – V. 5. – P. 9379.**

**3. Gorodetskiy D.V., Kurennya A.G., Gusel'nikov A.V., Kanygin M.A., Prokhorova S.A., Bulusheva L.G., and Okotrub A.V. Field emission characteristics of periodically structured carbon nanotube arrays. // Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics. – 2013. – V. 8. – P. 52-57.**

На диссертацию и автореферат диссертации поступило 6 отзывов. Все отзывы положительные, 4 – с замечаниями, 2 – без замечаний. Отзывы поступили от: *д.ф.-м.н. Алексеева Н.И.*, в.н.с. Центра микротехнологии и диагностики Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина); *к.ф.-м.н. Быченка Д.С.*, заведующего физико-технической лабораторией Научно-исследовательского учреждения Института ядерных проблем Белорусского государственного университета (НИУ ИЯП БГУ); *д.ф.-м.н., профессора Болотова В.В.*, заведующего лабораторией физики наноматериалов и гетероструктур Омского научного центра Сибирского отделения РАН (ОНЦ СО РАН) и *к.ф.-м.н. Несова С.Н.*, м.н.с. лаборатории физики наноматериалов и гетероструктур ОНЦ СО РАН; *к.т.н., доцента Остертака Д.И.*, заведующего кафедрой полупроводниковых приборов и микроэлектроники Новосибирского государственного технического университета (НГТУ) и *к.т.н., доцента Бердинского А.С.*, сотрудника кафедры полупроводниковых приборов и микроэлектроники НГТУ; *к.ф.-м.н. Батракова К.Г.*, ведущего научного сотрудника лаборатории наноэлектромагнетизма НИУ ИЯП БГУ и *к.ф.-м.н. Кужир П.П.*, заведующей лабораторией наноэлектромагнетизма НИУ ИЯП БГУ; *д.ф.-м.н., профессора Чернозатонского Л.А.*, г.н.с. Института биохимической физики им. Н.М. Эммануэля РАН.

Большинство замечаний к автореферату имеют форму вопросов и касаются уточнения различных деталей работы. Все отзывы заканчиваются выводом, что диссертационная работа Д.В. Городецкого по своей актуальности, новизне, научной и практической значимости **полностью соответствует** требованиям, которые ВАК РФ предъявляет к кандидатским диссертациям, а её автор Д.В. Городецкий заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 02.00.04 – физическая химия.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в области синтеза, характеристики и исследования физико-химических свойств углеродных наноматериалов. Данные компетенции подтверждаются наличием публикаций оппонентов и сотрудников ведущей организации в данной области исследований.

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

– разработана и внедрена в конструкцию CVD-реактора система визуального контроля роста массивов углеродных нанотрубок (УНТ) на подложках для получения массивов заданной высоты;

– применена методика теневой литографии с использованием монослоя полистирольных шариков диаметром ~ 70 мкм для создания структурированного массива УНТ из периодически повторяющихся цилиндрических столбиков;

– показана возможность профилирования массива УНТ с использованием лазерного излучения с длиной волны 10 мкм. Определены параметры излучения

(мощность, диаметр пятна лазера, время воздействия на образец) для формирования периодических углублений в массиве;

– установлено изменение степени окисления поверхности УНТ в результате продолжительной работы автоэмиссионного катода в условиях технического вакуума ( $10^{-2}$  Па). Экспериментально показано, что столбики из УНТ шириной  $\sim 150$  мкм наиболее стабильны в данных условиях;

– обнаружено разрушение кончиков УНТ при обработке поверхности массива микроволновой водородной плазмой.

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

– показано повышение пространственной однородности распределения эмиссионных центров и уменьшение порога включения автоэлектронной эмиссии для структурированного массива УНТ;

– выявлено влияние ширины прямоугольных столбиков из УНТ на стабильность работы катода при длительном тестировании в условиях технического вакуума;

– обнаружено формирование окисленных состояний углерода и железа на поверхности УНТ при облучении инфракрасным лазером;

– показано, что концентрация окисленных состояний на поверхности катода из УНТ уменьшается после длительных экспериментов по исследованию эмиссии;

– установлено уменьшение порога эмиссии электронов с УНТ, обработанных водородной плазмой.

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

– предложены методы, позволяющие создавать автоэмиссионные катоды на основе УНТ, которые могут стабильно работать в условиях технического вакуума;

– установлено, что профилирование массивов УНТ приводит к уменьшению порога эмиссии электронов до значения порядка  $0,8$  В/мкм и повышению пространственной однородности и плотности эмиссионного тока с поверхности планарного катода. Подобные эмиттеры значительно упростят технологию и требования, предъявляемые к автоэмиссионным устройствам на их основе, таким как, ионизаторы, плоские дисплеи, рентгеновские трубки и пр.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:**

Достоверность результатов исследований основывается на высоком экспериментальном уровне проведения работы. Полученные в настоящей работе экспериментальные и теоретические данные согласуются с исследованиями других научных групп. Кроме того, опубликование в рецензируемых журналах говорит о высокой значимости и информативности полученных данных.

В работе использовались современные физико-химические методы для установления состава, строения и электрофизических свойств микроструктурированных катодов на основе УНТ, включая микроскопические

методы (оптическая, растровая и просвечивающая электронная микроскопия), методы спектроскопии комбинационного рассеяния света, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии и спектроскопии ближней тонкой структуры рентгеновского поглощения. Полученные различными методами данные согласуются между собой.

Результаты получены на достаточном количестве образцов и не противоречат литературным данным о механизме автоэлектронной эмиссии массивов УНТ.

Проведена апробация работы на 17 научных конференция различного уровня, включая международные по тематике исследования; результаты работы успешно прошли рецензирования в международных цитируемых научных журналах.

**Личный вклад соискателя состоит в том, что:** модернизация установки CVD-синтеза УНТ с целью контроля роста массивов в режиме реального времени, разработка методик структурирования массивов УНТ, создание двухэлектродной установки для измерения автоэлектронной эмиссии проведены соискателем. Соискатель принимал непосредственное участие в обработке, анализе и интерпретации данных, полученных другими физико-химическими методами исследований. Обсуждение полученных результатов и подготовка материалов для публикаций проводились совместно с научным руководителем и соавторами.

Диссертационный совет Д 003.051.01 на заседании 13 марта 2019 г., протокол № 6, пришел к выводу о том, что диссертация соответствует п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», т.е. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой проведено изучение влияния микро- и макро-структурирования автоэмиссионных катодов на основе массивов УНТ на их автоэмиссионные свойства; принято решение присудить Городецкому Дмитрию Владимировичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 02.00.04 – физическая химия. При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 27 (двадцать семь) человек, из них 14 (четырнадцать) докторов наук по специальности 02.00.04 – физическая химия, участвовавших в заседании и голосовании, из 33 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени – 27 (двадцать семь), против присуждения учёной степени – 0 (нет), недействительных бюллетеней – 0 (нет).

Зам. председателя диссертационного совета  
д.х.н., профессор

  
Корнев Сергей Васильевич

Ученый секретарь диссертационного совета  
д.ф.-м.н.

  
Надолинный Владимир Акимович

13.03.2019 г.