

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.193.01 (Д 002.110.02),
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 05.10.2022 г. № 22

О присуждении Шавелкиной Марине Борисовне, гражданке Российской Федерации
ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Синтез углеродных наноструктур в плазменных струях плазмотрона
постоянного тока» по специальности 1.3.9 – физика плазмы принята к защите 15.06.2022г.,
(протокол заседания № 9) диссертационным советом 24.1.193.01 (Д 002.110.02),
созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г.
Москва, Ижорская ул., д. 13, стр. 2, (495) 485-8345, jiht.ru), утвержденного Приказом
Министерства образования и науки Российской Федерации № 105/нк от 11.04.2012г.

Соискатель Шавелкина Марина Борисовна, 1962 года рождения, в 1985 году
окончила Московский химико-технологический институт им. Д.И. Менделеева.

В 1990 году окончила очную аспирантуру Московского химико-технологический
института им. Д.И. Менделеева.

Диссертацию (для служебного пользования) на соискание ученой степени
кандидата технических наук защитила в 1992 году на закрытом диссертационном совете,
созданном на базе Московский химико-технологический институт им. Д.И. Менделеева,
по специальности – 05.27.06, протокол №9 от 24 декабря 1992 года. Диплом кандидата
технических наук № 01129.

Работает в должности старшего научного сотрудника лаборатории № 2.3 – плазмы
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного
института высоких температур Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории № 18 - плазменных технологий
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного
института высоких температур Российской академии наук.

Научный консультант доктор физико-математических наук, заведующий
лаборатории № 2.3 – плазмы Федерального государственного бюджетного учреждения
науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук Амиров
Равиль Хабибулович.

Официальные оппоненты:

- главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева Российской академии наук (г.Москва), доктор физико-математических наук Лебедев Юрий Анатольевич;

- главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук (г.Иваново), доктор физико-математических наук Титов Валерий Александрович;

- главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Ивановский государственный химико-технологический университет" (г.Иваново), доктор физико-математических наук, профессор Рыбкин Владимир Владимирович

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (г. Долгопрудный) в своем положительном отзыве, подписанном директором Физтех-школы электроники, фотоники и молекулярной физики д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН Ивановым В.В. указала, что научная значимость работы заключается в создании новой экспериментальной методике селективного синтеза углеродных наноструктур в плазменном потоке, для которого определен состав, температура и концентрация электронов. Предложена модель реактора для определения профиля температур и скоростей вдоль оси и по радиусу плазменного потока. Предложены модели химической кинетики процессов конверсии смесей пропан/бутан/ гелий и метан/ азот. Полученные результаты имеют важное значение для развития плазмохимии в области синтеза углеродных наноструктур с заданными характеристиками.

Соискатель имеет 45 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 43, из них в рецензируемых научных изданиях 43 работ.

1.Shavelkina M. B. Ivanov P. P., Amirov R. Kh., Bocharov A. N. Effect of the precursor aggregate state on the synthesis of CNTs in a DC plasma jet // J. Diamond and Related Materials. – 2022. – V. 123. 1088442.

2.Shavelkina M. B. Ivanov P. P., Bocharov A. N., Amirov R. Kh. Numerical and experimental study of the multichannel nature of the synthesis of carbon nanostructures in DC plasma jets // Plasma Chemistry and Plasma Processing. – 2021. V. 41. P. 171 – 189.

3.Шавелкина М. Б., Иванов П. П., Амиров Р. Х., Бочаров А. Н. Многоканальность синтеза углеродных наноструктур в низкотемпературной плазме // Физика плазмы. – 2021. – Т. 47. № 10. – С. 928 – 934.

4. Shavelkina M. B. Ivanov P. P., Amirov R. Kh., Bocharov A. N., Drachev A. I., Shavelkin M. A. Plasma Pyrolysis of Ethanol for the Production of Carbon Nanostructures // High Energy Chemistry. – 2021. – V. 55, № 6. – P. 531–536.
5. Шавелкина, М. Б., Амиров Р. Х., Кавыркин Д. И., Чиннов В. Ф. Спектроскопическое исследование плазменной струи гелия с добавками углеводородов // Теплофизика высоких температур. – 2020. – Т. 58, № 3. – С. 327 – 335.
6. Shavelkina M.B., Filimonova E. A., Amirov R. Kh. Effect of helium/propane-butane atmosphere on the synthesis of graphene in plasma jet system // Plasma Sources Sci. Technol. – 2020. – V. 29, № 2; doi: 10.1088/1361-6595/ab61e3.
7. Шавелкина, М. Б., Иванов П. П., Амиров Р. Х., Бочаров А. Н. Влияние профиля температур на состав конденсированного углерода в плазменной струе // Журнал структурной химии. – 2020. – Т. 61, № 4. – С.623–630.
8. Shavelkina, M., Ivanov P., Bocharov A., Amirov R. Distinctive features of graphene synthesized in a plasma jet created by a DC plasma torch // J. Materials.– 2020. – V. 13, P. 1728-18.
9. Shavelkina M. B., Ivanov P. P., Bocharov A. N., Amirov R. Kh. 1D modeling of the equilibrium plasma flow in the scope of direct current plasma torch assisted graphene synthesis // J. Phys. D: Appl. Phys. – 2019. – V. 52, Issue 49. 495202.
10. Шавелкина М.Б., Амиров Р.Х., Воробьева Н.А., Катаржис В.А. Влияние материала подложек на структуру углеродных наноматериалов при синтезе в плазмоструйном реакторе // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2016, – V. 8, – P. 75–81.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А. Н. Туполева» (зав. кафедрой общей физики чл.-корр. АН РТ, д.ф.-м.н., профессор Тимеркаев Борис Ахунович) – отзыв положительный с вопросами:

- При использовании углеродосодержащих газов в качестве плазмообразующего возможно отложение различных углеродных наноструктур и сажи на стенках расширяющегося анода. Из-за этого со временем канал будет сужен и затруднится работа плазмотрона, также будет образован шлейф углеродистых отложений на выходном отверстии плазмотрона. Каким образом удалось решить эти проблемы?

- В работе в качестве плазмотрона для синтеза углеродных наноструктур выбран линейный плазмотрон с расширяющимся анодом. Из текста автореферата не понятно, чем обусловлен данный выбор и какие преимущества такого плазмотрона по сравнению с

плазмотроном с цилиндрическим анодом. На какие процессы может повлиять расширение плазменного потока? К тому же в работе делается акцент на концентрирование плазменной струи.

2. Государственное научное учреждение «Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова» Национальной академии наук Беларуси (заведующий отделением физики плазмы и плазменных технологий чл.-корр. НАН Беларуси д.ф.-м.н. Асташинский Валентин Миронович.) – отзыв положительны, с замечаниями:

- В качестве замечаний можно отметить отсутствие в автореферате (раздел 3.1) информации о методе определения концентрации электронов плазмы (вероятно, в связи с ограниченным объемом автореферата),
- использование при описании необходимого условия выполнения ЛТР некоторого смыслового жаргона: «...электронные столкновения преобладают над спонтанным испусканием...» – следовало бы указать, что частота электронных столкновений с тяжелыми частицами значительно превышает частоту спонтанного испускания.

3. Государственный научно-исследовательский институт конструкционных материалов на основе графита «НИИГрафит» Госкорпорации Росатом (Научный руководитель АО "НИИГрафит" д.т.н. Бейлина Наталья Юрьевна) – отзыв положительный, с замечаниями:

- На стр. 3 диаметр нанотрубки обозначен как «...порядка нескольких атомов...». Автору следовало бы придерживаться метрической системы, даже с учетом сравнения нанотрубки с иглой атомного силового микроскопа.
- На стр.4 отмечено, что синтез с применением плазмы часто дает побочные продукты в виде сажи, аморфного углерода и графитизированных частиц. Хотелось бы уточнить, что подразумевается здесь под графитизированными частицами, ведь сажа, нанотрубки и нановолокна не графитизируются и остаются аморфными даже после обработки до 2800 - 3000 °С. Здесь же, на стр.4 в задачах исследования отмечено, что автором ставилась задача получения «широкого ряда кристаллических углеродных систем». Из кристаллов, содержащих только углерод, известны алмаз и графит. Графен, углеродные нанотрубки, сажа, фуллерены, онионы к кристаллам не относятся.
- На стр.5 среди решаемых задач обозначено «создание модели химической кинетики процессов разложения». Следует писать «Создание кинетической модели химического (или термохимического) процесса».
- На стр.21 автореферата сорбционная емкость образцов графена при их удельной поверхности 250-500 м²/г обозначена как 1400 м³/г, не понятно по какому компоненту.

Это, вероятно, вкралась ошибка в единицы измерения. Скорее, должно быть 1400-1700 г/г, если это по азоту, или примерно 1400 дм³/г.

4. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт неорганической химии им. А. В. Николаева Сибирского отделения Российской академии наук (ИНХ СО РАН) (Зав. отделом химии функциональных материалов, зав. лаборатории физикохимии наноматериалов, главный научный сотрудник, д.ф.-м.н., профессор Окопуб Александр Владимирович) - отзыв положительный, с замечаниям:

- Не указаны режимы работы плазматрона, напряжение, ток, частота для синтеза разных типов углеродных материалов. Не указано, каково влияние давления газа в разряде на морфологию частиц. Хотелось бы видеть оценку скорости формирования наночастиц разной морфологии.

- В условиях высоких температур при воздействии потока высокоэнергетических электронов, электродуговом, лазерном значительная часть продуктов, синтезируемых углеродных наночастиц являются нанохорнами. Однако среди описанных в диссертации этот тип частиц не упоминаются.

- Вызывают вопросы основные результаты и выводы, сформированные в заключении автореферата:

1) Нечеткое заключение пункт 3. Неясно, что значит начальный состав газовой фазы? Утверждение, что из пересыщенного пара C₂ выпадает твердый осадок не раскрывает механизм образования углеродных наночастиц.

2) Пункт 5 заключения является довольно сложным для понимания. Не ясно, почему сажа использовалась как источник углерода, успевают ли частицы сажи за время пролета в плазматроне полностью испариться, или формирование наночастиц происходит на их основе при значительном нагреве? Почему были получены многослойные УНТ, тогда как указанный состав катализаторов позволяет получать однослойные УНТ? Утверждение, что УНТ могут быть получены без катализатора не верное. Зародышем формирования УНТ могут быть разные кластеры, в том числе и углеродные. Примером такого синтеза является формирование многослойных УНТ в депозите перенесенного углерода на катоде электродугового реактора.

5. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук (ИБХФ РАН) (Главный научный сотрудник лаборатории акустической микроскопии, д.ф.-м.н., профессор Чернозатонский Леонид Александрович) - отзыв положительный, без замечаний.

6. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН) (Ведущий научный сотрудник лаборатории разреженных газов д.ф.-м.н. Новопашин Сергей Андреевич) - отзыв положительный, без замечаний.

7. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» (Ведущий научный сотрудник Центра Микротехнологии и Диагностики д.ф.-м.н. Алексеев Николай Игоревич) - отзыв положительный, с замечаниями:

- Научные положения, выносимые на защиту, не имеют характера научных утверждений, т.е. не являют собой «глагола», а представляют некие словосочетания, смысл которых без ознакомления с диссертацией совершенно не ясен. Не читая диссертацию полностью, извлечь некоторую информацию можно лишь из выводов, которые, однако, традиционно считаются вторичными по отношению к основным положениям.

- Среди этих научных положений при всей их краткости есть явно неряшливые формулировки вроде «химический кинетический механизм» (?).

- При анализе конверсии различных углеводородов в направлении наноструктур автор использует схему «из 753-х реакций» между 120 компонентами. Сразу возникает вопрос, какой процент констант этих 753-х реакций известен хотя бы с приблизительным правдоподобием и не лучше было бы сделать схему на порядок проще, но способную наглядно передать суть дела.

- В автореферате содержится некоторое количество загадочных формулировок, например, «Считается, что наиболее выраженный легирующий эффект имеет замещающий азот, так как сохраняется высокая подвижность носителей заряда, которая необходима в электронных устройствах, так как не нарушается кристаллическая структура и не образуются вакансии, эффективно рассеивающие электроны». В почти нечитаемой фразе содержится по крайней мере три положения, каждое из которых весьма спорно и явно требует аргументации. Азотные дефекты в графенах анализировались; из квантовохимического моделирования следует, что простое замещение практически не реализуется, возникающий дефект затрагивает по крайней мере 5-6 ближайших атомов и никак не может «не нарушать кристаллической структуры» и не «рассеивать носители».

- Материал, полученный атом при использовании всех без исключения рабочих газов и обеспечивающий, по мнению автора, углеродные нанотрубки, выглядит на всех ТЕМ-снимках скорее как углеволокно. Во всяком случае, наличие канала надо обосновывать.

То же, по сути, замечание, относится к “onions”, оболочка которых вовсе не выглядит как графито- или фуллереноподобные слои, скорее, как весьма аморфный материал.

8. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова» (Зав. лабораторией «Графеновые нанотехнологии», доцент, к.ф.-м.н. Смагулова Светлана Афанасьевна) - отзыв положительный, без замечаний.

9. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН) (Зав. лаборатории физикохимии баротермических процессов, главный научный сотрудник, д.х.н. Падалко Георгий Анатольевич) - отзыв положительный, с замечаниями.

- В тексте реферата указывается на равномерное распределение в керамике на основе карбида кремния углеродных нановолокон в виде жгутов, что должны иллюстрировать изображения рис. 21 и 22, однако этот экспериментальный факт затруднительно подтвердить приведенными в реферате изображениями.

- Для изучения микроструктуры композиционного материала «кубический нитрид бора + 5% УНТ» использовали сканирующую электронную микроскопию (рис.23), в то время как размеры элементов микроструктуры требуют более высокого разрешения при использовании просвечивающей электронной микроскопии.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается:

Основными направлениями деятельности д.ф.-м.н. Лебедева Юрия Анатольевича являются исследования в области физики и химии плазмы, создания химических реакторов на базе различных энергетических установок, газоразделительных мембран и др.

1. Lebedev Yu. A. Microwave Discharges in Liquid Hydrocarbons: Physical and Chemical characterization // *Polymers*, 2021, V. 13, Issue 11, 1678;

2. Lebedev Yu.A., Tatarinov A.V., Epshtein I. L. Addendum: Effect of charging solid particles on their growth process and parameters of microwave discharge in liquid n-heptane // *Plasma Sources Science & Technology*, 2021, V. 24, Issue 5, P. 059401;

3. Epshtein I. L., Lebedev Yu. A., Tatarinov A.V., and Bilera I.V. 0D kinetic model for the microwave discharge in liquid n-heptane including carbonaceous particles production // *J. Phys. D: Appl. Phys.* 2018, V. 51, P. 214007.

Титов Валерий Александрович, д.ф.-м.н., является признанным специалистом в области плазмохимии, а также крупным специалистом по применению плазмы для модификации различных материалов, в том числе в области медицины и экологии.

1. Khlyustova A., Sirotkin N., Naumova I., Tarasov A., Titov V. Solution Plasma Processing as

an Environmentally Friendly Method for Low-Molecular Chitosan Production // Plasma Chemistry and Plasma Processing, 2022, V. 42, № 3, P. 587–603;

2. Sirotkin N.A., Khlyustova A.V., Titov V.A., Agafonov A.V. The Use of a Novel Three-Electrode Impulse Underwater Discharge for the Synthesis of W-Mo Mixed Oxide Nanocomposites // Plasma Chemistry and Plasma Processing, 2022, V. 42, №1, P. 191–209;

3. Sirotkin N.A., Gurina D.L., Khlyustova A.V., Costerin D. Yu., Naumova I.K., Titov V.A., Agafonov A.V. Experimental and computational investigation of polylactic acid/silver-NP nanocomposite with antimicrobial activity prepared by plasma in liquid // Plasma Processes and Polymers. 2021. V. 18. № 2. P. 2000169.

Доктор химических наук, профессор, почетный работник высшего образования РФ Рыбкин Владимир Владимирович является признанным специалистом в области физической химии неравновесной плазмы низкого давления, руководит экспериментальным исследованием и моделированием физико-химических процессов в неравновесной плазме в кислороде, воздухе, смесях кислород-азот и некоторых других газах, а также изучением процессов взаимодействия активных частиц плазмы с полимерами и материалами на их основе, включая текстильные материалы.

1. Dmitriy A. Shutov, Kristina V. Smirnova, Alexander N. Ivanov & Vladimir V. Rybkin Factors Governing the Formation of Oxygen-Containing Copper Powders in a Plasma-Solution System // Plasma Chem Plasma Process. 2022, V. 42, 179–190 ;

2. Andreiy A. Gushchin, Grigoriy I. Gusev, Vladimir I. Grinevich, Tatiana V. Izvekova, Elena Yu. Kvitkova & Vladimir V. Rybkin Destruction of 2,4-Dichlorophenol in Water Solution Using a Combined Process of Sorption and Plasma Exposure to DBD // Plasma Chem Plasma Process. 2021, V. 41, 421–431;

3. Andreiy A. Gushchina, Vladimir I. Grinevich, Tatyana V. Izvekova, Elena Yu. Kvitkova, Kseniya A. Tyukanova, Vladimir V. Rybkin Decomposition of carbon tetrachloride under the action of a dielectric barrier discharge of atmospheric pressure in an oxygen atmosphere // Chemosphere. 2021, V. 270, 129392.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ). Исследования в МФТИ охватывают широкий круг областей теоретической и экспериментальной физики, энергетики и биомедицины, химии и прикладной математики. В лабораториях Физтех-школы электроники, фотоники и молекулярной физики (ФЭФМ) ведутся интенсивные работы по нанотехнологиям, в том числе базирующихся на применении плазмы.

1. Иванов В.В., Ефимов А.А., Мыльников Д.А., Лизунова А.А.. Синтез наночастиц в

импульсно-периодическом газовом разряде и их потенциальные применения // Журнал физической химии, Том 92, номер 3. с. 1-7, 2018;

2. Mylnikov D., Efimov A., Ivanov V. Measuring and optimization of energy transfer to the interelectrode gaps during the synthesis of nanoparticles in a spark discharge // Aerosol Science and Technology, V. 53.12, 1393-1403, 2019;

3. Lizunova A., Mazharenko A., Masnaviev B., Khramov E., Efimov A., Ramanenka A., Shuklov I., Ivanov V. Effects of Temperature on the Morphology and Optical Properties of Spark Discharge Germanium Nanoparticles. Materials, 13(19), 4431, 2020.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований, установлено следующее:

Найдены условия для селективного синтеза углеродных нанотрубок, многослойного графена, углеродных нановолокон и онионов, при конверсии прекурсоров углерода в различном агрегатном состоянии в плазменных струях, генерируемых плазмотроном постоянного тока.

Исследованы спектральные характеристики плазменных струй гелия, аргона и азота при конверсии в них углеводородов и этанола для синтеза углеродных наноструктур в интервале 220 - 1000 нм на расстоянии до 20 мм от сопла анода плазмотрона и по ним определены характеристики плазмы.

Определен механизм образования газовых предшественников углеродных наноструктур при конверсии пропан-бутановой смеси в плазме гелия и метана в плазме азота с учетом профиля температур вдоль оси плазменного потока.

Показано, что присутствие атомов водорода, азота или кислорода в структуре многослойного графена повышает его термическую устойчивость.

Найдены условия для синтеза нанокompозита медь/графен на основе эффекта эрозии медного анода плазмотрона.

Исследованы области практических применений полученных углеродных наноматериалов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

– получены новые экспериментальные данные для развития исследований в области синтеза углеродных наноструктур в плазменных условиях. Установлена зависимость структурно-морфологических свойств синтезированных материалов от рода и расхода плазмообразующего газа, типа и расхода прекурсора углерода, его агрегатного состояния и давления в реакторе;

– определен механизм образования газовых предшественников углеродных наноструктур при конверсии пропан-бутановой смеси в плазме гелия и метана в плазме

азота, установлена область температур (2500 - 3500 К), в которой образуется перенасыщенный пар C_2 и установлена важная роль реакций с участием C_2H , которые приводят к образованию перенасыщенного пара C_2 ;

- определены состав, температура и концентрация электронов плазменных струй гелия, аргона и азота с добавками углеводородов и этанола для синтеза углеродных наноструктур в объеме;

- установлено, что в присутствии комбинированного катализатора при пиролизе сажи в плазменных струях гелия, генерируемых плазмотроном постоянного тока, формируются прямые углеродные нанотрубки с открытыми концами;

- установлено влияние отношения C:H в газообразном прекурсор углерода на условия для интеркаляции многослойного графена водородом.

- обнаружено, что при одностадийном синтезе в плазме легированного графена атомами азота (N – графена) преобладает пиридиновая конфигурация химической связи атомов азота с углеродом;

- показано, что атомы водорода, азота и кислорода в структуре синтезированных графеновых материалов и углеродных нанотрубок влияют на их термостабильность.

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

- предложена модель реактора для определения профиля температур и скоростей вдоль оси и по радиусу плазменного потока;

- найденный диапазон температур 12--17 кК, в котором концентрация электронов остается неизменной, является «экономным» режимом нагрева и может быть использован для оптимизации параметров плазмы за счет поддержания контролируемой интенсивности полосы C_2 на максимальном уровне;

- установлена удельная мощность дуги (10^4 Вт/см) и концентрация электронов (10^{16} см⁻³) в плазменных струях гелия, аргона и азота, генерируемых плазмотроном постоянного тока, при добавлении углеводородов при синтезе графена и углеродных нанотрубок;

- определено давление, отношение расхода плазмообразующего газа и расхода прекурсора углерода для высокого выхода многостенных углеродных нанотрубок, мультиграфена, углеродных нановолокон и онионов в плазмохимическом реакторе. Определен профиль температур и скоростей, состав газовой фазы в реакторе в зависимости от геометрии области закалки паро-газового потока. Данные результаты могут использоваться для проектирования нового плазмохимического оборудования;

- найден оптимальный состав катализатора на основе Ni, Co и Y_2O_3 , при котором

достигается максимальное содержание многостенных углеродных нанотрубок в депозите;

- найдены условия для предельной интеркаляции водородом многослойного графена, легирования азотом N-графена, функционализации многослойного графена кислородом и насыщения медью нанокompозита медь/графен в один этап;

- определена структура пор и удельная поверхность многослойного графена, углеродных нанотрубок и онионов демонстрирующие потенциал использования синтезированных материалов в области катализа, сорбции, для создания газовых и pH-сенсоров. Установлено, что при синтезе в плазменных струях гелия, аргона и азота углеродные наноструктуры имеют разную удельную поверхность от 131 до 710 м²/г с главным образом мезопористой структурой пор;

- определены условия стабильной работы плазмотрона при эрозии медных электродов для синтеза нанокompозита медь/графен, который может быть применим для отвода и рассеяния тепла в электронных приборах и кабелях;

- повышены прочностные характеристики реакционно-связанной карбид-кремниевой керамики добавкой углеродных нановолокон и керамики на основе кубического нитрида бора введением гидрированного графена. Установлено оптимальное количество добавки;

- показана перспективность использования синтезированных углеродных нанотрубок и графена в составе электродов для улучшения электрических характеристик суперконденсатора;

- установлено, что синтезированный в объеме легированный азотом графен позволяет улучшить газораспределение в газодиффузионном слое катода топливного элемента.

- впервые применены графеновые материалы, синтезированные в объеме плазмы, для 2D печати резисторов на гибких носителях.

Результаты диссертационной работы могут использоваться в исследовательских, проектных и конструкторских организациях, работающих в области физики и применения низкотемпературной плазмы (ОИВТ РАН, ИРЭ РАН, ИОФ РАН, ИСЭ РАН, МРТИ РАН, ФИ РАН, ИНХС РАН, МГУ, ИХФ РАН, МФТИ, МГТУБ ФГУП «Исток» и др.).

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что достоверность полученных результатов основывается на комплексном подходе в исследованиях и подтверждается проведением измерений на современном поверенном оборудовании по стандартным методикам с анализом погрешностей измерений. Измерения многократно проводились на большом количестве экспериментальных образцов и показали хорошую воспроизводимость и соответствие литературным данным.

Личный вклад соискателя в работы, вошедшие в диссертацию, является

определяющим. Разработка экспериментальной установки, подбор соответствующего экспериментального оборудования проходили при непосредственном участии автора. Автор руководил проведением всех экспериментальных исследований, анализировал полученные результаты, а также принимал активное участие в интерпретации и публикации данных.

Апробация результатов исследования проводилась на 78 российских и международных конференциях и симпозиумах.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Шавелкина Марина Борисовна в ходе заседания ответила на задаваемые ей вопросы, привела собственную аргументацию и согласилась с замечаниями.

На заседании от 05.10.2022 г. диссертационный совет принял решение: за решение ряда научных проблем, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, присудить Шавелкиной Марине Борисовне ученую степень доктора физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы.

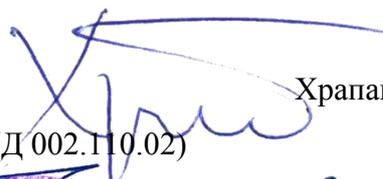
При проведении тайного голосования Диссертационный совет в количестве 12 человек, из них очно: 5 докторов наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 6 докторов наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, дистанционно 11 человек: 6 докторов наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 5 докторов наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, участвовавших в заседании, из 31 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 23 против 0, недействительных бюллетеней - 0.

Зам. председателя диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02)

д.ф.-м.н., профессор

Ученый секретарь диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02)

к.ф.-м.н.


Храпак А.Г.


Тимофеев А.В.

05.10.2022 г.

