

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.129.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ТЕПЛОФИЗИКИ
ИМ. С.С. КУТАТЕЛАДЗЕ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 26.10.2022 № 18/2022

О присуждении Смовжу Дмитрию Владимировичу гражданину Российской
Федерации ученой степени доктора физико-математических наук

Диссертация «Термический и электродуговой синтез графеновых материалов и их теплофизические свойства» по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника принята к защите 08.06.2022 (протокол № 12/2022) диссертационным советом 24.1.129.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 1, приказы Минобрнауки России от 11.04.2012 № 105/нк, от 03.06.2021 № 561/нк.

Соискатель Смовж Дмитрий Владимирович 15 июля 1982 года рождения защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Влияние фазового состояния катализатора и электрических полей на синтез углеродных нановолокон и нанотрубок» в 2008 году в диссертационном совете, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН), работает старшим научным сотрудником, и.о. заведующего Лаборатории синтеза новых материалов в ИТ СО РАН.

Диссертация выполнена в Лаборатории разреженных газов и Лаборатории синтеза новых материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

Алексеев Николай Игоревич — доктор физико-математических наук, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», кафедра микро- и наноэлектроники, профессор,

Бубенчиков Алексей Михайлович — доктор физико-математических наук, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», Региональный научно-образовательный центр, ведущий научный сотрудник, кафедра теоретической механики, профессор,

Дмитриев Александр Сергеевич — доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Институт тепловой и атомной энергетики (ИТАЭ), кафедра низких температур, профессор,

– дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН), г. Москва - в своем положительном отзыве, подписанном ученым секретарем ОИВТ РАН, заведующим лабораторией плазмы, д.ф.-м.н. Амировым Равилем Хабибуловичем, указала, что: полученные в ходе выполнения диссертации результаты имеют большое значение для развития методов получения графена и его использования в теплофизических приложениях. «Диссертационная работа представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным в п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней №842 от 24.09.2013г., а ее автор, Смовж Дмитрий Владимирович, заслуживает присуждение ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника».

Соискатель имеет 131 опубликованную работу, в том числе по результатам диссертационной работы опубликованы 105 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 46 работ. Недостоверные сведения об опубликованных работах отсутствуют. Вклад автора состоит в постановке задач исследования, участии в проектировании, изготовлении и запуске экспериментальных установок, проведении экспериментальных исследований, анализе экспериментальных данных, подготовке публикаций по результатам исследований.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации:

1. Andryushchenko V.A., Sorokin D.V., Morozova M. A., Solnyshkina O.A., Smovzh D.V. Graphene-polymer composite conductivity in air and water //Applied Surface Science. – 2021. –V. 567. – P. 150843. Вклад Смовжа Д.В. заключался в постановке задачи, участии в экспериментальных исследованиях, подготовке публикации.

2. Misyura S. Y., Andryushchenko V. A., Smovzh D. V., Morozov V.S. Graphene wettability control: texturing of the substrate and removal of airborne contaminants in the atmosphere of various gases // Journal of Molecular Liquids. – 2021. – V.349. – P. 118116.

Вклад Смовжа Д.В. заключался в постановке задачи, участии в экспериментальных исследованиях, подготовке публикации.

3. Smovzh D. V., Kostogrud I. A., Boyko E. V., Matochkin P. E., Pilnik A.A. Joule heater based on single-layer graphene // *Nanotechnology*. – 2020. – V. 31. – N. 33. – P. 335704.

Вклад Смовжа Д.В. заключался в постановке задачи, участии в экспериментальных исследованиях, подготовке публикации.

4. Iurchenkova A. A., Fedorovskaya E. O., Matochkin P. E., Sakhapov S. Z., Smovzh D. V. Supercapacitor behavior of carbon-manganese oxides nanocomposites synthesized by carbon arc // *Int J Energy Res*. – 2020. – V. 44. – P. 10754-10767. Вклад Смовжа Д.В. заключался в постановке задачи, участии в экспериментальных исследованиях, подготовке публикации.

5. Смовж Д.В., Костоград И.А., Бойко Е.В., Маточкин П.Е., Безруков И.А., Кривенко А.С. Синтез графена методом химического осаждения из газовой фазы и его перенос на полимер // *ПМТФ*. – 2020. – Т. 61. – N. 5. – С. 235-245. Вклад Смовжа Д.В. заключался в постановке задачи, участии в экспериментальных исследованиях, подготовке публикации.

6. Smovzh D. V., Sakhapov S. Z., Zaikovskii A. V., Chernova S. A., Novopashin S. A. Formation mechanism of MgO hollow nanospheres via calcination of C-MgO composite produced by electric arc spraying // *Ceramics International*. – 2019. – V. 45. – N. 6. – P. 7338-7343. Вклад Смовжа Д.В. заключался в постановке задачи, участии в экспериментальных исследованиях, подготовке публикации.

7. Smovzh D. V., Kostogrud I. A., Sakhapov S. Z., Zaikovskii A. V., Novopashin S. A. The synthesis of few-layered graphene by the arc discharge sputtering of a Si-C electrode // *Carbon*. – 2017. – V. 112. – P. 97-102. Вклад Смовжа Д.В. заключался в постановке задачи, участии в экспериментальных исследованиях, подготовке публикации.

8. Serebryakova M. A., Zaikovskii A. V., Sakhapov S. Z., Smovzh D. V., Sukhinin G. I., Novopashin S. A. Thermal conductivity of nanofluids based on hollow γ -Al₂O₃ nanoparticles, and the influence of interfacial thermal resistance // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2017. – V. 108. – P. 1314-1319. Вклад Смовжа Д.В. заключался в постановке задачи, участии в экспериментальных исследованиях в части синтеза наночастиц, подготовке публикации.

9. Kostogrud I. A., Trusov K. V., Smovzh D. V. Influence of Gas Mixture and Temperature on AP-CVD Synthesis of Graphene on Copper Foil // *Advanced Materials Interfaces*. – 2016. – V. 3. – N. 8. – P. 1500823. Вклад Смовжа Д.В. заключался в постановке задачи, участии в экспериментальных исследованиях, подготовке публикации.

10. Gulyaev R. V., Slavinskaya E. M., Novopashin S. A., Smovzh D. V., Zaikovskii A. V., Osadchii D. Yu., Bulavchenko O. A., Korenev S. V., Boronin A. I. Highly active PdCeOx composite catalysts for low-temperature CO oxidation, prepared by plasma-arc synthesis // Applied Catalysis B: Environmental. – 2014. – V. 147. – P. 132-143. Вклад Смовжа Д.В. заключался в постановке задачи, участии в экспериментальных исследованиях в части синтеза наночастиц, подготовке публикации.

На автореферат поступило 5 отзывов. Все отзывы положительные, некоторые содержат замечания. В отзывах отмечается новизна, научная и практическая значимость, достоверность полученных результатов, актуальность направления исследований.

Отзыв д.ф.-м.н. Дмитриева Сергея Владимировича, главного научного сотрудника лаборатории «Нелинейная физика и механика материалов» ФГБУН «Института проблем сверхпластичности металлов Российской академии наук», не содержит замечаний.

Отзыв д.т.н., профессора РАН Насибулина Альберта Галийевича, профессора Центра фотоники, заведующего Лабораторией наноматериалов, Автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования «Сколковский институт науки и технологий» содержит следующие замечания: «1. Из автореферата не ясно, какие подходы используются автором, для контроля размера графенового кристалла при синтезе поликристаллических пленок. 2. В диссертации отмечается, что важным преимуществом малослойных графеновых материалов является их прозрачность, однако в работе не представлено оптических свойств используемых композитов. 3. Электронная структура графена зависит от морфологии и степени функционализации, в том числе наличия химически связанных или адсорбированных примесей. В работе не описано влияние режимов синтеза и последующей обработки при переносе на электронную структуру получаемых графеновых образцов».

Отзыв д.т.н. Ткачева Алексея Григорьевича, профессора, заведующего кафедрой «Техника и технологии производства нанопродуктов» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» содержит следующие замечания: «1. В первой главе автор утверждает, что предложен новый метод электродугового синтеза графена, в то время как синтезируемый материал состоит из композита графен – наночастицы карбида кремния. 2. Из автореферата остается неясным возможно ли изменять диаметр полых оксидных наночастиц, варьируя параметры электродугового распыления, либо он определяется теплофизическими свойствами материалов. 3. В пятой главе при анализе теплообмена графеновой пленки с окружающей средой, авторы полагают, что размер графенового кристалла определяется размером зерна меди, в то время как в четвертой главе утверждается, что поликристаллическая пленка растет из

зародышей, концентрация которых зависит от параметров синтеза, а не размера кристаллических зерен меди. Таким образом, из автореферата, не понятно является ли графеновое покрытие на единичном медном зерне монокристаллическим. 4. В 6 главе исследовано изменение сопротивления графеного покрытия погруженного в воду, определена ширина запрещенной зоны графенового слоя, однако не представлено исходных свойств (ширины запрещенной зоны) графеновых образцов на воздухе».

Отзыв д.т.н. Хвесюка Владимира Ивановича, профессора кафедры «Теплофизика» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» содержит следующие замечания: «1. При расчете профиля температуры вдоль графенового кристалла автор использует теплопроводность графенового слоя, экспериментальные значения и теоретические оценки которой в современной литературе имеют существенный разброс. Как повлияет неопределенность в значении теплопроводности на теоретические оценки теплообмена поликристаллической графеновой пленки с окружающей средой? 2. При молекулярно-динамическом моделировании взаимодействия графена с водой использовалась модель воды: TIP3P. Почему использовалась именно эта модель? 3. В расчетах методом молекулярной динамики использовался бездефектный графен, результаты моделирования сопоставлялись с экспериментальными данными для поликристаллических (дефектных) графеновых пленок. Как наличие дефектов в графеновом слое будет влиять на результаты моделирования взаимодействия графена с водой?»

Отзыв д.ф.-м.н. Стрижака Павла Александровича, профессора Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова, заведующего лабораторией тепломассопереноса ФГАУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», содержит следующие замечания: 1. В авторефератах докторских диссертаций принято обозначать ключевые направления исследований по тематике, выделяются лидеры в России и других странах, затем очерчивается ниша в мировой науке. В представленной версии автореферата не приведен такой анализ, сразу выделена собственная ниша, сформулированы цель и задачи исследований. 2. Защищаемые положения в автореферате сформулированы в общем виде, например, «результаты ...», «данные ...». Важно конкретно выделить сами результаты или данные в виде новых механизмов, явлений, зависимостей, эффектов с количественными подкреплениями выводов. В таком случае становится понятным, какой конкретно результат получен и что автор считает основным для защиты. 3. В автореферате много экспериментальных данных без оценки погрешностей. Необходимы пояснения по принятым доверительным интервалам, сериям

экспериментов, масштабным эффектам, предельным условиям получения качественных и достоверных количественных результатов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты и сотрудники ведущей организации являются признанными специалистами в областях науки, непосредственно связанных с темой диссертации. Ведущая организация – ОИВТ РАН, несомненно, является одним из лидеров в области теплофизики, энергетики, механики жидкости, газа и плазмы, в ней работают специалисты, которые могут дать полноценную экспертную оценку научной и практической значимости результатов работы (д.ф.-м.н. Амиров Равиль Хабибулович, д.ф.-м.н. Еремин Александр Викторович, академик РАН Петров Олег Федорович, д.ф.-м.н. Васильев Михаил Михайлович и др.). Официальные оппоненты д.ф.-м.н. Н.И. Алексеев, д.ф.-м.н. А.М. Бубенчиков и д.т.н. А.С. Дмитриев являются признанными специалистами в области экспериментального и теоретического исследования процессов тепло и массообмена в углеродных наноструктурах и композитных материалов на их основе. Оппоненты имеют многочисленные научные работы в области, изучению которой посвящена диссертационная работа, опубликованные в рецензируемых научных изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что в работе развиты экспериментальные и теоретические основы электродугового распыления композитных электродов, состоящих из графита и порошков различных химических элементов. Впервые обнаружено формирование графена при распылении кремний-графитового электрода в электрической дуге. Экспериментально зарегистрировано формирование полых наночастиц оксида магния при отжиге композита Mg-C, синтезированного дуговым методом. Впервые показано, что при резистивном прогреве поликристаллической графеновой пленки, при свободном конвективном теплообмене с окружающей средой происходит перегрев границ графеновых кристаллов. Показано, что выдержка поверхности меди, покрытой графеном, в атмосфере, содержащей пары воды, приводит к изменению гидрофильности поверхности. Впервые экспериментально зарегистрировано изменение ширины запрещенной зоны в графене при контакте с водой.

Теоретическая значимость исследований связана с обнаружением новых механизмов гетерогенной конденсации паров в электрической дуге, приводящих к формированию графена и полых керамических наночастиц, развитием представлений о теплообмене графенового слоя с жидкой и газовой средой и описанием влияния внешней среды на электронную структуру графенового слоя.

Практическая значимость диссертационной работы обоснована возможностью применения электродугового распыления для синтеза металл-углеродных (металл-

графеновых) композитов $\text{Pd}_x\text{Ce}_{1-x}\text{O}_2$ с высокой каталитической активностью для низкотемпературного окисления CO, и композитов $\text{MnO}_x\text{-Mn}_7\text{C}_3\text{-C}$ для электродов суперконденсаторов. С использованием результатов работы возможно создание нового метода электродугового синтеза графена и полых керамических наночастиц. Развитые технологии синтеза графена методом химического осаждения из газовой фазы могут использоваться для промышленного производства монослойного графена.

Результаты и выводы диссертации могут быть использованы в организациях, разрабатывающих новые подходы синтеза наноматериалов и исследующих их теплофизические свойства, например: ФГБУН Институте теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук, ФГБУН Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», ФГБУН Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», а также коммерческими организациями, занимающимися разработкой новых материалов.

Результаты исследований, полученные в диссертации, могут быть также использованы в учебном процессе в ВУЗах по дисциплинам «Углеродные наноматериалы», «Современные проблемы теплофизики».

Достоверность полученных результатов и обоснованность выводов обеспечена использованием современных аналитических методов, стандартных экспериментальных методик, оценкой величин погрешностей, воспроизводимостью результатов, проведением калибровочных измерений, сравнением с известными в литературе экспериментальными, аналитическими и численными результатами.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задач исследований, проектировании, изготовлении и запуске экспериментальных установок, проведении экспериментальных исследований, анализе экспериментальных данных, подготовке публикаций по результатам исследований.

Диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация Д. В. Смовжа является законченным научным исследованием, выполненным на современном уровне, и может характеризоваться как научно-квалификационная работа, в которой на основании выполненных автором исследований процессов формирования графеновых материалов в

На заседании 26.10.2022 диссертационный совет принял решение присудить
Смовжу Дмитрию Владимировичу ученую степень доктора физико-математических наук.

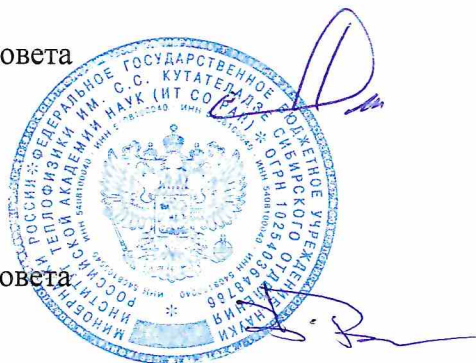
При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 6 докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали за - 16 человек, против - 2, не действительных бюллетеней - 0.

Председатель
диссертационного совета
академик РАН

Алексеев Сергей Владимирович

Ученый секретарь
диссертационного совета
профессор РАН

Терехов Владимир Викторович



26 октября 2022 года