

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ДС.ТПУ.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК**

Решение диссертационного совета от 22.11.2023 г. №64 о присуждении Прокопьеву Айсену Руслановичу ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Синтез и исследование тонких углеродных пленок, полученных методом осаждения в плазме CН_4 и последующей термообработкой» по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния принята к защите 07.07.2023 г. (протокол заседания №57) диссертационным советом ДС.ТПУ.03, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования (ФГАОУ ВО) «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, утвержденным приказом ректора ТПУ №15895 от 06.12.2018 г.

Соискатель **Прокопьев Айсен Русланович**, 1992 года рождения, в 2021 году окончил очную аспирантуру ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова» (СВФУ) по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия. В ходе выполнения диссертационной работы Прокопьев А.Р. работал в должности ведущего инженера в отделе телекоммуникаций департамента цифровых технологий и старшего преподавателя кафедры радиофизики и электронных систем Физико-технического института СВФУ.

В настоящее время работает научным сотрудником молодежной лаборатории «Дизайн-центра электроники «Север» и ведущим инженером СВФУ.

Диссертация выполнена на кафедре радиофизики и электронных систем СВФУ.

Научный руководитель – **Неустроев Ефим Петрович**, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент этой кафедры.

Дополнительно введенные члены диссертационного совета ДС.ТПУ.03:

Пак Александр Яковлевич, доктор технических наук, заведующий лабораторией перспективных материалов энергетической отрасли Инженерной школы энергетики ТПУ;

Лысенко Елена Николаевна, доктор технических наук, профессор отделения контроля и диагностики Инженерной школы неразрушающего контроля и безопасности, заведующая Проблемной научно-исследовательской лаборатории электроники, диэлектриков и полупроводников Исследовательской школы физики высокоэнергетических процессов ТПУ,

и официальные оппоненты:

Клопотов Анатолий Анатольевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры прикладной механики и материаловедения, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет», г. Томск;

Иванов Юрий Федорович, доктор физико-математических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки (ФГБУН) «Институт сильноточной электроники» Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН), главный научный сотрудник лаборатории плазменной эмиссионной электроники, г. Томск

дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов и дополнительно введенных членов диссертационного совета обосновывается в соответствии с установленными требованиями, а именно: их высокой профессиональной компетенцией в физике

конденсированного состояния, наличием значительного количества публикаций в указанной области, а также отсутствием совместных проектов и печатных работ с соискателем и его научным руководителем.

Материалы диссертации изложены в 20 печатных работах, из них 2 публикации в журналах, рекомендованных ВАК, 6 публикаций в журналах, входящих в базы данных Scopus и Web of Science, и в одном патенте на изобретение. Требования к публикациям основных научных результатов выполнены полностью. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах. Общий объем научных изданий составляет более 6 авторских листов с долей авторского участия соискателя не менее 70 %.

Наиболее значимые научные публикации Прокопьева А.Р. по теме диссертации указаны ниже.

1. Neustroev E. P., Burtseva E.K., **Prokopiev A.R.**, Soloviev B.D., Popov V.I., Timofeev V.B. Modification of graphene oxide films by radiofrequency N₂ plasma//Nanotechnology. - 2018. - Т. 29.-№. 14.-С. 144002.
2. Неустроев Е. П., **Прокопьев А. Р.** Механизм проводимости нанографита, образованного осаждением в плазме метана и последующей термообработкой //Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2019. – Т. 11. – №. 3. – С. 315-320. (ПЕРЕВОДНАЯ ВЕРСИЯ: Neustroev E. P., Prokopiev A. R. Conduction mechanism of nanographite formed by methane plasma deposition and subsequently heat treatment // Radioelektronika, Nanosistemy, Informacionnye Tehnologii - 2019. - Vol. 11.- No 3. - P. 315-320).
3. Неустроев Е. П., **Прокопьев А. Р.** Свойства нанографита, образованного плазменным осаждением и последующей термообработкой //Физикохимические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. - 2019. - №. II.-С. 629-635.
4. Neustroev E. P., **Prokopiev A.R.**, Popov V.I., Davydova Z.Y., and Semenov S.O. Formation of nanographite flakes on SiO₂ substrate by plasma deposition

- of carbon and subsequent annealing //AIP Conference Proceedings. - AIP Publishing LLC, 2019. - T. 2179. - №. 1.-C. 020019.
5. Neustroev, E. P., **Prokopiev, A. R.**, Timofeev, V. B., Popov, V. L., Kurkina, I. I., Davydova, Z. Y., and Semenov, S. O. Impact of plasma treatment in CH₄/N₂ on the properties of reduced graphene oxide //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - IOP Publishing, 2019. - T. 693. -№. 1. - C. 012043.
 6. Neustroev E. P., **Prokopiev A. R.**, Popov V. I. Influence of Substrates on Conductivity of Thin Carbon Films Deposited by Methane Plasma and Subsequent Annealed //Journal of Physics: Conference Series. - IOP Publishing, 2020.-T. 1611.-№. 1.-C. 012006.
 7. Neustroev E. P., **Prokopiev A.R.**, Popov V.I., Protopopov F.F. and Semenov S.O. Optical properties of thin films formed by carbon deposition in methane plasma and subsequent annealing //AIP Conference Proceedings. - AIP Publishing LLC, 2021.- T. 2328. - №. 1. - C. 050017.
 8. Neustroev E. P., **Prokopiev A.R.**, Popov V.I., Semenov S.O., Protopopov F.F., Andreev A.S., Savvinova N.A and Lukin E.S. Research of Properties of a Carbon Film Formed in Methane Plasma and the Following Annealing //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - IOP Publishing, 2021. - T. 1079. - №. 4. - C. 042086.
 9. **Прокопьев А.Р.** Неустроев Е.П. Патент РФ № 2794042. Способ формирования углеродных пленок плазменным осаждением атомов углерода в метане: заявл. 11.07.2022, опубл. 11.04.2023. - 14 с.

На автореферат прислали отзывы:

- **Акимова Мария Панфиловна**, кандидат технических наук, младший научный сотрудник лаборатории инновационных технологий Арктики и Субарктики федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» г. Якутск;

- **Дамдинов Баир Батуевич**, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры общей физики Института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета, г. Красноярск;

- **Гренадёр Александр Сергеевич**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИСЭ СО РАН, г. Томск;

- **Игнатенко Николай Михайлович**, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры нанотехнологий, микроэлектроники, общей и прикладной физики ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск;

- **Шавелкина Марина Борисовна**, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник ФГБУН «Объединенный институт высоких температур» Российской академии наук, г. Москва;

- **Образцова Елена Дмитриевна**, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующая лабораторией спектроскопии наноматериалов Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва.

Все отзывы положительные, замечания носят преимущественно рекомендательный характер и касаются необходимости проверки методик проведения анализа материалов, определения погрешностей измерений, уточнения терминов и формулировок, оформления рисунков. Приведенные в отзывах замечания не являются критическими для общей оценки диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана научная концепция двухэтапного последовательного синтеза тонких углеродных пленок осаждением в плазме метана и последующей термообработкой;

предложен нетрадиционный подход к синтезу тонких углеродных пленок за счет пространственного и временного разделения процессов осаждения атомов углерода в плазме метана и термической кристаллизации непосредственно на

твердые подложки, такие как кремний, диоксид кремния на кремнии, кварцевое стекло;

доказано наличие зависимостей фототоков углеродных пленок, сформированных в соответствии с разработанной методикой, от материала подложки.

Новые понятия и термины не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны положения, вносящие вклад в расширение представлений о формировании наноструктурированной углеродной пленки термообработкой аморфного гидрогенизированного углерода;

применительно к проблематике диссертации эффективно, то есть с получением результатов, обладающих научной новизной, использован комплекс базовых методов исследования для сбора и обработки экспериментальных данных: атомно-силовая микроскопия; сканирующая электронная микроскопия; рентгеновская энергодисперсионная спектроскопия; спектроскопия комбинационного рассеяния света; ИК- и УФ-спектроскопия; двухзондовый метод исследования электрофизических параметров;

изложены факторы влияния условий плазменного осаждения и термической обработки на структуру, электрические и оптические свойства сформированных углеродных пленок;

раскрыты механизмы электропроводности углеродных пленок при различных температурах; в частности, установлено, что при низких температурах преобладает прыжковый механизм, соответствующий теории Эфроса-Шкловского;

изучены причинно-следственные связи структуры синтезированных углеродных пленок с температурой их термообработки;

проведена модернизация существующих методов синтеза углеродных материалов для реализации масштабируемого производства двумерных пленок и получения новых результатов в области углеродной электроники.

Значение полученных соискателем результатов для практики подтверждается тем, что:

разработаны и использованы технологии синтеза углеродных пленок в образовательном процессе кафедры радиофизики и электронных систем СВФУ;

определены возможности и перспективы практического использования полученных результатов для синтеза нанокристаллических углеродных пленок;

создана система практических рекомендаций для получения нанометровых углеродных плёнок с контролируемыми электрическими и оптическими свойствами;

представлены предложения для дальнейшего совершенствования разработанной методики двухэтапного последовательного синтеза.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

они получены на сертифицированном оборудовании, калиброванном или поверенном в установленном порядке, с использованием современных методов;

теория построена на известных, проверяемых данных и согласуется с современными представлениями о процессах формирования тонких углеродных плёнок;

идея базируется на анализе практики и опыте исследований по тематике получения углеродных покрытий методами плазменного осаждения из газовой фазы;

использованы сравнения авторских исследований и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике;

установлено количественное и качественное совпадение авторских результатов с данными других исследователей;

использованы современные методики сбора и обработки результатов экспериментов.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в анализе научной литературы, планировании и постановке экспериментальных исследований, синтезе образцов, обработке и интерпретации экспериментальных и теоретических данных, апробации результатов исследования, подготовке

публикаций, а также в совместном с научным руководителем формулировании выводов и основных положений диссертационной работы, выносимых на защиту.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям п. 2 Порядка присуждения ученых степеней в ТПУ.

На заседании 22 ноября 2023 года диссертационный совет принял решение присудить Прокопьеву Айсену Руслановичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 7 человек, из них 7 докторов наук по защищаемой специальности, участвовавших в заседании, из 3 человек, входящих в состав совета, и 4 человек, дополнительно введенных в состав совета, проголосовали: за – 7, против - нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель диссертационного
совета ДС.ТПУ.03



Кривобоков Валерий Павлович

Ученый секретарь диссертационного
совета ДС.ТПУ.03



Гынгазов Сергей Анатольевич

Дата оформления заключения: 22 ноября 2023 г.

