

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет Д 003.031.01, созданный на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук, извещает о результатах состоявшейся 09 ноября 2018 года публичной защиты диссертации Денисовым Владимиром Викторовичем «ГЕНЕРАЦИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ В СИЛЬНОТОЧНОМ НЕСАМОСТОЯТЕЛЬНОМ ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕ С ПОЛЫМ КАТОДОМ», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.02 – вакуумная и плазменная электроника.

Время начала заседания: 15.00

Время окончания заседания: 17.15

На заседании диссертационного совета присутствовали 21 человек из 24 членов диссертационного совета, из них 6 докторов наук по специальности 05.27.02 – вакуумная и плазменная электроника:

1. Ратахин Николай Александрович – председатель диссертационного совета д.ф.-м.н. 01.04.04
2. Королёв Юрий Дмитриевич – зам. председателя диссертационного совета д.ф.-м.н. 05.27.02
3. Рыжов Виктор Васильевич – ученый секретарь диссертационного совета д.ф.-м.н. 05.27.02
4. Багров Владислав Гаврилович – член совета д.ф.-м.н. 01.04.04
5. Иванов Юрий Фёдорович – член совета д.ф.-м.н. 01.04.04
6. Ким Александр Андреевич – член совета д.т.н. 05.27.02
7. Коваль Николай Николаевич – член совета д.т.н. 05.27.02
8. Козырев Андрей Владимирович – член совета д.ф.-м.н. 05.27.02
9. Кошелев Владимир Ильич – член совета д.ф.-м.н. 01.04.04
10. Ломаев Михаил Иванович – член совета д.ф.-м.н. 01.04.04
11. Лосев Валерий Фёдорович – член совета д.ф.-м.н. 05.27.02
12. Озур Григорий Евгеньевич – член совета д.т.н. 05.27.02
13. Окс Ефим Михайлович – член совета д.т.н. 05.27.02
14. Пегель Игорь Валериевич – член совета д.ф.-м.н. 01.04.04
15. Ремпе Николай Гербертович – член совета д.т.н. 05.27.02
16. Ростов Владислав Владимирович – член совета д.ф.-м.н. 01.04.04
17. Соснин Эдуард Анатольевич – член совета д.ф.-м.н. 05.27.02
18. Тарасенко Виктор Федотович – член совета д.ф.-м.н. 05.27.02
19. Чернов Иван Петрович – член совета д.ф.-м.н. 01.04.04
20. Шемякин Илья Александрович – член совета д.ф.-м.н. 05.27.02
21. Юшков Георгий Юрьевич – член совета д.т.н. 05.27.02

Заседание вел председатель диссертационного совета доктор физико-математических наук, академик РАН Ратахин Николай Александрович.

По результатам защиты диссертации тайным голосованием (результаты голосования: за присуждение ученой степени – 21, против – нет, недействительный бюллетеней – нет) диссертационный совет принял решение присудить Денисову В.В. учёную степень кандидата технических наук.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 003.031.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА
СИЛЬНОТОЧНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПОДВЕДОМСТВЕННОГО
МИНИСТЕРСТВУ НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

**аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 09.11.2018 г., № 1**

О присуждении Денисову Владимиру Викторовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Генерация низкотемпературной плазмы в сильноточном несамостоятельном тлеющем разряде с полым катодом» по специальности 05.27.02 – вакуумная и плазменная электроника принята к защите 07.09.2018г. (протокол заседания № 2) диссертационным советом Д 003.031.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН), подведомственного Министерству науки и высшего образования Российской Федерации, 634055, г. Томск, пр. Академический, 2/3, приказ № 105/нк от 11 апреля 2012 года.

Соискатель Денисов Владимир Викторович 1984 года рождения. В 2007 году соискатель окончил с отличием Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Томский политехнический университет», в 2010 году окончил аспирантуру Учреждения Российской академии наук Института сильноточной электроники Сибирского отделения РАН, подведомственного Российской академии наук (РАН), работает младшим научным сотрудником лаборатории плазменной эмиссионной электроники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук, подведомственного

Министерству науки и высшего образования Российской Федерации, 634055, г. Томск, пр. Академический, 2/3.

Диссертация выполнена в лаборатории плазменной эмиссионной электроники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук, подведомственного Министерству науки и высшего образования Российской Федерации, 634055, г. Томск, пр. Академический, 2/3.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Коваль Николай Николаевич, ИСЭ СО РАН, лаборатория плазменной эмиссионной электроники, заведующий лабораторией.

Официальные оппоненты:

1. Гаврилов Николай Васильевич, доктор технических наук, член-корреспондент РАН, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук, лаборатория пучков частиц, заведующий лабораторией,
2. Климов Александр Сергеевич, доктор технических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», лаборатория плазменной электроники кафедры физики, старший научный сотрудник,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН), г. Новосибирск, **в своем положительном отзыве, составленном и подписанном** Аньшаковым Анатолием Степановичем, доктором технических наук, профессором, главным научным сотрудником лаборатории экологических проблем теплоэнергетики, утвержденным директором ИТ СО РАН, доктором физико-математических наук, членом-корреспондентом РАН Марковичем Дмитрием Марковичем, **указала, что** «диссертация В.В. Денисова является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задач, имеющих существенное значение для дальнейшего развития соответствующих разделов вакуумной и плазменной электроники, а также техники генерации низкотемпературной плазмы в больших вакуумных объемах для модификации поверхностей материалов и изделий».

Соискатель имеет 30 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 22 работы, из них в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации, опубликовано 8 работ, 10 статей в тематических выпусках научных журналов, опубликованных по итогам проведенных международных и всероссийских конференций, и 4 полных текста докладов в трудах международных и всероссийских конференций. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени кандидата наук работах, личный вклад автора – 85 %, общий

объём публикаций – 17 печатных листов. Наиболее значимые работы соискателя:

1. Ю.Х. Ахмадеев, В.В. Денисов, Н.Н. Коваль, С.С. Ковальский, И.В. Лопатин, П.М. Щанин, В.В. Яковлев Генерация однородной низкотемпературной газовой плазмы в импульсном несамостоятельном тлеющем разряде с полым катодом большой площади // Физика плазмы. – 2017. – V. 43. – №1. – С.7-14.

2. V.V. Denisov, Yu.N. Akhmadeev, N.N. Koval, E.V. Ostroverchov Low-temperature plasma source based on a cold hollow-cathode arc with increased service life // High Temperature Materials Processes. – 2016. – Iss.4. – Vol.20. – P. 309 – 316.

3. Yu.F. Ivanov, A.P. Laskovnev, V.V. Uglov, E.A. Petrikova, O.V. Krygina, V.I. Shymanski, N.N. Koval, V.V. Denisov, N.N. Cherenda Nitriding of commercial pure titanium in the plasma of frequency-pulsed non-self-sustained glow discharge with a hollow cathode // High Temperature Materials Processes. – 2017. – V. 21(1). – P.13-23.

4. Н.Н. Коваль, Ю.Ф. Иванов, И.В. Лопатин, Ю.Х. Ахмадеев, В.В. Шугуров, О.В. Крыгина, В.В. Денисов Генерация низкотемпературной газоразрядной плазмы в больших вакуумных объемах для плазмохимических процессов // Российский химический журнал. – 2013. – Т. 57. – № 3-4. – с. 121-133.

5. Н.Н. Коваль, С.В. Григорьев, В.Н. Девятков, В.В. Денисов, И.В. Лопатин, В.В. Шугуров, В.В. Яковлев Электроразрядное оборудование и технологии создания наноструктурных слоев и покрытий // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. – 2010. – № 2(107). – С. 86-95.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Из НИИ прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко Белорусского государственного университета, гор. Минск, Республика Беларусь, отзыв положительный, подписан доктором физико-математических наук, профессором, заведующим лабораторией элионики Комаровым Фадеем Фадеевичем, замечаний нет.

2. Из Сибирского физико-технического института им. акад. В.Д. Кузнецова при ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», г. Томск, отзыв положительный, подписан доктором физико-математических наук, профессором, директором Потеевым Александром Ивановичем и кандидатом технических наук, научным сотрудником Галсановым Солбоном Владимировичем, замечаний нет.

3. Из ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (КФУ)», г. Казань, отзыв положительный, подписан доктором технических наук, профессором кафедры технической физики и энергетики Инженерного института ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский)

федеральный университет» (КФУ)» Ляхович Алевтиной Михайловной, имеется замечание:

«К сожалению, в автореферате не указано где были внедрены разработки, представленные в диссертации».

4. Из Белорусского государственного университета, гор. Минск, Республика Беларусь, отзыв положительный, подписан доктором физико-математических наук, профессором, заведующим кафедрой физики твердого тела Угловым Владимиром Васильевичем, замечаний нет.

5. Из ОАО «Национальный институт авиационных технологий», гор. Москва, отзыв положительный, подписан доктором технических наук, профессором, заместителем директора по науке Петровым Леонидом Михайловичем, имеется замечание:

«В качестве замечания к автореферату можно отнести то, что отсутствие данных азимутального распределения плотности ионного тока при рабочем давлении $p = 2$ Па, несколько ухудшило информативную оценку процесса азотирования образцов из титанового сплава ВТ1-0».

6. Из Центра естественно-научных исследований Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН, гор. Москва, отзыв положительный, подписан доктором физико-математических наук, профессором, ведущим научным сотрудником Лигачевым Александром Егоровичем, имеется два замечания:

«1. Из пункта 2 научной новизны диссертации (стр. 4 автореферата) не ясно, что автор подразумевает под термином «детальные исследования...».

2. В пункте 3 практической значимости работы (стр.4 автореферата) не понятно: за счет какого механизма диффузии, автору удается получить больше азота в приповерхностном слое по сравнению с традиционным методом плазменного азотирования, разработанного уже достаточно давно сотрудниками ИСЭ СО РАН?»

7. Из ФГБУН Института ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук (ИЯФ СО РАН), гор. Новосибирск, отзыв положительный, подписан доктором технических наук, главным научным сотрудником лаборатории № 12 Куксановым Николаем Константиновичем, имеется замечание:

«Автором приведены результаты материаловедческих измерений обработанных образцов, однако объяснений или комментариев по поводу того, что импульсный режим работы генератора плазмы обеспечивает существенно лучшие результаты азотирования, не приводится».

8. Из ФГБОУ ВО Новосибирского государственного технического университета, гор. Новосибирск, отзыв положительный, подписан доктором физико-математических наук, профессором кафедры электронных приборов Закревским Дмитрием Эдуардовичем, имеется замечание:

«В качестве замечания можно указать на то, что заявленная тема диссертации «Генерация низкотемпературной плазмы в сильноточном тлеющем разряде в полой катод» является достаточно общей и в большей степени соответствует докторской диссертации по физико-математическим

наукам. На наш взгляд правильнее было бы более конкретно сформулировать (сузить) тему диссертации».

9. Из Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», гор. Москва, отзыв положительный, подписан кандидатом физико-математических наук, научным сотрудником лаборатории «Взаимодействие плазмы с поверхностью и плазменные технологии» Казиевым Андреем Викторовичем, замечаний нет.

10. Из Инженерного института ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (КФУ)», отзыв положительный, подписан доктором технических наук, профессором, проректором по инженерной деятельности, директором Инженерного института ФГАОУ ВО КФУ Кашаповым Наилем Фаиковичем, имеется замечание:

«Из текста автореферата не совсем ясно, как влияет изменение частоты следования разрядных импульсов на концентрацию электронов и степень ионизации. Так в работе говорится о том, что в импульсном режиме горения разряда характер изменения концентрации плазмы во времени повторяет характер изменения тока, а также что плазма релаксирует в течение 300 – 400 мкс. В разработанном, в ходе исследований, генераторе низкотемпературной плазмы для обработки поверхности материалов и изделий период следования разрядных импульсов можно уменьшить до 200 мкс, что меньше времени релаксации плазмы. Таким образом, вопрос, каков характер изменения тока и концентрации плазмы для этого режима работы генератора?»

11. Из Южно-Уральского государственного университета, гор. Челябинск, отзыв положительный, подписан доктором физико-математических наук, профессором, профессором кафедры компьютерного моделирования и нанотехнологий Яловцом Александром Павловичем, имеется замечание:

«Так как диссертационная работа является научным продуктом, то следовало бы дополнить *количественной* информацией выражения «...неоднородность распределения концентрации плазмы снижается.» (стр. 4, раздел «Научная новизна», пункт 3), «... большее содержание азота, чем в модифицированном слое ...» (стр.4, раздел «Практическая значимость», пункт 3), «позволяет получать ... повышенную объемную долю нитридной фазы» (стр. 5, последняя строка)».

12. Из Государственного научного учреждения «Физико-технического института НАН Беларуси, гор. Минск, отзыв положительный, подписан доктором физико-математических наук, доцентом, директором Залесским Виталием Геннадьевичем и доктором технических наук, доцентом, начальником отдела электронно-лучевых технологий и физики плазмы Поболем Игорем Леонидовичем, имеются замечания:

«1. В автореферате не приведены характеристики управления разрядом (аналоги эмиссионных и вольтамперных характеристик), которые необходимы для анализа технологической применимости подобных устройств.

2. При анализе механизмов сеточной стабилизации не приводятся данные о толщине сетки, тогда как этот параметр может быть определяющим в определении механизма стабилизации и выборе способа управления рабочим током генератора (концентрацией плазмы) в совокупности с другими параметрами (прозрачность сетки и давление).

3. В автореферате недостаточно освещены вопросы воздействия разряда на структуру и свойства обработанных материалов, не приведена информация о методике определения износостойкости образцов, а также вида контртела. Поскольку предполагается использовать полученные результаты для разработки технологии поверхностного упрочнения реальных изделий из титановых сплавов, то исследования износостойкости целесообразно проводить по сравнению с образцами после традиционных методов упрочнения, например, хромирования, а не с материалами в состоянии поставки».

13. Из Учреждения образования «Полоцкого государственного университета», гор. Новополоцк, Республика Беларусь, отзыв положительный, подписан доктором технических наук, профессором, лауреатом Государственной премии России, профессором кафедры физики Груздевым Владимиром Алексеевичем и кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой энергетики и электроники Антоновичем Дмитрием Анатольевичем, имеются замечания:

«1. На наш взгляд, первое положение, выносимое на защиту, не совсем удачно сформулировано.

2. Из текста автореферата не ясно, рассматривались ли в диссертации известные работы по формированию «оборванного» тлеющего разряда в большом объеме».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается компетентностью оппонентов и сотрудников ведущей организации, их известностью и наличием значимых публикаций в данной отрасли науки, способностью определить научную и практическую ценность диссертации, дать рекомендации по использованию её результатов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана научная концепция, позволяющая формировать однородную низкотемпературную плазму относительно высокой концентрации ($\approx 10^{17} - 10^{18} \text{ м}^{-3}$) при низких ($\approx 1 \text{ Па}$) давлениях в несамостоятельном тлеющем разряде с полым катодом в значительном ($> 0,1 \text{ м}^3$) вакуумном объеме,

предложен оригинальный способ азотирования титана ВТ1-0 в плазме импульсного тлеющего разряда, позволяющий получать за одно и тоже время и в одних и тех же условиях, таких как: температура обработки, давление, средняя плотность ионного тока и энергия ионов в азотированном слое титана, большее содержание азота, чем в модифицированном слое при обработке в постоянном режиме горения разряда,

доказано снижение степени неоднородности концентрации плазмы в полном катоде несамостоятельного тлеющего разряда низкого давления при

повышении тока тлеющего разряда и сопутствующем увеличении концентрации генерируемой плазмы за счет увеличения тока инжектированных электронов,

введено в научный оборот понятие «поликлинной» формы эмиссионного сеточного электрода, которое отличается от понятия «эмиссионный сеточный электрод в форме клина» тем, что поликлинная геометрия электрода более сложная и его поверхность состоит из множества параллельных или находящихся на оси выступов, имеющих в сечении треугольную форму с углом, близким к прямому при вершине соприкасающихся плоскостей поверхности.

Теоретическая значимость работы обоснована тем, что:

доказано положение о том, что для одновременного увеличения полезного объема полого катода и сохранения степени неоднородности радиального распределения концентрации плазмы на том же уровне в несамостоятельном тлеющем разряде при низком давлении, минимальная высота клинообразного эмиссионного сеточного электрода должна быть равна ширине прикатодного падения потенциала,

применительно к проблематике диссертации эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов, использована экспериментальная зондовая методика определения параметров стационарной и импульсной плазмы, а также эмиссионной спектроскопии плазмы несамостоятельного тлеющего разряда низкого давления,

изложены условия стабильного зажигания и горения сильноточного несамостоятельного тлеющего разряда при низком давлении с полым катодом при инъекции высоких, до нескольких десятков ампер, значений тока электронов,

раскрыты несоответствие между повышением тока инжектированных электронов в полый катод несамостоятельного тлеющего разряда низкого давления при использовании клинообразного эмиссионного сеточного электрода и снижением степени неоднородности концентрации плазмы, которое объясняется существенным проявлением теории, заключающееся в том, что повышение степени ионизации плазмы приводит к снижению степени неоднородности генерируемой в тлеющем разряде плазмы,

изучены факторы, влияющие на степень неоднородности концентрации плазмы, генерируемой в несамостоятельном тлеющем разряде низкого давления с полым катодом при инъекции тока электронов до нескольких десятков ампер, имеющие существенное значение при моделировании электродных систем на основе такого разряда для генерации низкотемпературной плазмы в больших вакуумных объемах,

проведена модернизация метода сравнения свойств стационарной и импульсной плазмы путем определения параметров плазмы в частотно-импульсном режиме горения несамостоятельного тлеющего разряда, которая заключается в измерении вольтамперных характеристик зонда в фиксированные моменты времени в течение разрядного импульса и паузы

между импульсами и дальнейшей математической обработке полученных зондовых характеристик по заданному алгоритму.

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

разработаны и внедрены технологические режимы ионно-плазменного азотирования поверхности стальных изделий (фильтры для производства сайдинга методом коэкструзии, штампы для литья деталей) в плазме несамостоятельного тлеющего разряда с полым катодом, создаваемой в разработанном и созданном в ходе работы генераторе низкотемпературной газовой плазмы,

определены перспективы использования полученных в диссертации результатов по генерации плазмы в сильноточном несамостоятельном тлеющем разряде для научных исследований и технологических применений, **создана** система практических рекомендаций по разработке электродных систем на основе несамостоятельного тлеющего разряда и выбору режимов генерации низкотемпературной плазмы, в том числе в частотно-импульсном режиме, позволяющих снизить степень неоднородности формируемой плазмы,

представлены предложения по дальнейшему использованию плазмы, генерируемой в несамостоятельном тлеющем разряде с полым катодом, в том числе для формирования модельной плазмы, идентичной по своим свойствам с азотно-кислородной плазмой, формируемой в верхних слоях мезосферы.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ показана воспроизводимость результатов измерений в различных условиях и их согласие с литературными данными; экспериментальные результаты получены на сертифицированном оборудовании; достоверность экспериментальных результатов обеспечивалась систематическим характером исследований, использованием различных дублирующих экспериментальных методик, сопоставлением полученных экспериментальных данных с результатами численных оценок,

теория плазменных процессов в полем катодом тлеющего разряда низкого давления и нарушения условия слоевой стабилизации границы эмиссионной плазмы, из которой эмитируются электроны, согласуется с экспериментальными данными, полученными в диссертации,

идея базируется на анализе и обобщении результатов современных исследований тлеющего разряда низкого давления с полым катодом,

использованы сравнения данных по физике частотно-импульсного сильноточного тлеющего разряда и особенностям генерируемой в нем плазмы, полученных автором, с данными, полученными ранее другими авторами и с результатами численных оценок,

установлено качественное соответствие результатов, полученных в диссертационной работе, с результатами, представленными в независимых литературных источниках,

использованы современные методики обработки экспериментальных данных при проведении исследований.

Личный вклад соискателя состоит в:

формулировке цели исследований, разработке и сборке всех основных узлов экспериментальной установки для генерации импульсного несамостоятельного тлеющего разряда, включая систему электрического питания, анализе полученных данных по генерации плазмы в сильноточном тлеющем разряде, подготовке основных публикаций по теме диссертации, самостоятельной формулировке защищаемых научных положений и выводов по работе, подготовке основных публикаций по тематике диссертации.

На заседании 09 ноября 2018 г. диссертационный совет принял решение присудить Денисову Владимиру Викторовичу учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человека, из них 6 докторов наук по специальности 05.27.02 – вакуумная и плазменная электроника, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 21, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета,
академик РАН



Ратахин

Ратахин Н.А.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор физико-математических наук

Рыжов

Рыжов В.В.

«09» ноября 2018 г.