

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.415.03, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР) МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 30.11.2022 г. № 230

О присуждении Медовнику Александру Владимировичу, гражданину Российской Федерации ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Плазменные источники электронов для генерации широкоапертурных импульсных пучков в форвакуумной области давлений» по специальности 1.3.5 – «Физическая электроника» принята к защите 26 августа 2022 г. (протокол заседания № 226) диссертационным советом 24.2.415.03, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 40, приказ о создании совета № 1030/нк от 30.12.2013 г.

Соискатель Медовник Александр Владимирович, «16» июня 1984 года рождения, защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Плазменный источник электронов для генерации импульсных пучков в форвакуумной области давлений» в 2010 году в диссертационном совете, созданном на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР).

В настоящее время работает начальником научного управления ТУСУРа, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре физики ТУСУРа, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный консультант - доктор технических наук, профессор, Окс Ефим Михайлович, заведующий кафедрой физики ТУСУРа.

Официальные оппоненты:

Бурдаков Александр Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, советник дирекции, лаборатория № 10, главный научный сотрудник;

Рябчиков Александр Ильич, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», лаборатория высокоинтенсивной имплантации ионов, заведующий лабораторией;

Семёнов Александр Петрович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физического материаловедения

Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория физического материаловедения, главный научный сотрудник, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург**, в своем положительном отзыве, подписанном Гавриловым Николаем Васильевичем, доктором технических наук, членом-корреспондентом РАН, заведующим лабораторией пучков частиц, указала, что диссертационная работа «Плазменные источники электронов для генерации широкоапертурных импульсных пучков в форвакуумной области давлений», соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 11.09.2021), а ее автор, Медовник Александр Владимирович, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 1.3.5 – «Физическая электроника».

Соискатель имеет 127 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 50 работ, из них 28 работ опубликовано в журналах, входящих в списки рецензируемых российских и зарубежных научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук, в том числе в 20 статьях в журналах, входящих в реферативные базы данных Web of Science и Scopus, в 10 текстах докладов в трудах международных и всероссийских научных и научно-практических конференций и семинаров. По результатам работы получено 6 патентов РФ на изобретения и полезные модели и 4 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ. Результаты работы легли в основу поддержанной грантом РФФИ монографии «Форвакуумные плазменные источники электронов» и монографии «Применение форвакуумных плазменных источников электронов для обработки диэлектриков». В опубликованных работах соискателя материалы диссертации изложены полно и развернуто. Все опубликованные работы выполнены при непосредственном личном участии автора.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Особенности функционирования дугового разряда в форвакуумном плазменном источнике электронов / А.В. Казаков, А.В. Медовник, В.А. Бурдовицин, Е.М. Окс // Журнал технической физики. – 2015. – Т. 85, № 2. – С. 55–58.

2. Форвакуумный плазменный источник импульсных электронных пучков / Ю.Г. Юшков, В.А. Бурдовицин, А.В. Медовник, Е.М. Окс // Приборы и техника эксперимента. – 2011. – № 2. – С. 85–88.

3. Потенциал диэлектрической мишени при ее облучении импульсным электронным пучком в форвакуумной области давлений / В.А. Бурдовицин, А.В. Медовник, Е.М. Окс [и др.] // Журнал технической физики. – 2012. – Т. 82, № 10. – С. 103–108.

4. Компенсация заряда изолированной мишени при облучении импульсным электронным пучком в форвакуумной области давлений / В.А. Бурдовицин, В.С. Гулькина, А.В. Медовник, Е.М. Окс // Журнал технической физики. – 2013. – Т. 83, № 12. – С. 134–136.

5. Broad-beam plasma-cathode electron beam source based on a cathodic arc for beam

generation over a wide pulse-width range / A.V. Kazakov, A.V. Medovnik, E.M. Oks, N.A. Panchenko // Review of Scientific Instruments. – 2020. – Vol. 91, No. 9. – P. 093304.

6. Stability of electron beam generation by forevacuum-pressure plasma-cathode electron beam source based on a cathodic arc / A.V. Burdovitsin, A.V. Kazakov, A.V. Medovnik, E.M. Oks // Physics of Plasmas. – 2018. – Vol. 25, No. 7. – Art. No. 073109.

7. Electron beam treatment of non-conducting materials by a fore-pump-pressure plasma-cathode electron beam source / V.A. Burdovitsin, A.S. Klimov, A.V. Medovnik, E.M. Oks // Plasma Sources Science and Technology. – 2010. – Vol. 19, No. 5. – Art. No. 055003.

8. Патент № 107657 U1 Российская Федерация, МПК H05H 5/00, H01J 3/00. Форвакуумный плазменный электронный источник: № 2011107955/07 : заявл. 01.03.2011 : опубл. 20.08.2011 / Юшков Ю.Г., Медовник А.В., Бурдовицин В.А., Окс Е.М.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР). – 4 с.

9. Патент № 2758497 C1 Российская Федерация, МПК H05H 1/24. Ускоряющий промежуток импульсного форвакуумного источника электронов на основе дугового разряда: № 2021104526 : заявл. 24.02.2021 : опубл. 29.10.2021 / Казаков А.В., Медовник А.В., Окс Е.М., Панченко Н.А.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР). – 4 с.

10. Патент № 2759425 C1 Российская Федерация, МПК H05H 3/00, H01J 27/04, H01J 37/065. Плазменный эмиттер импульсного форвакуумного источника электронов на основе дугового разряда: № 2020138865: заявл. 27.11.2020 : опубл. 12.11.2021 / Казаков А.В., Медовник А.В., Окс Е.М., Панченко Н.А.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР). – 4 с.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: 8 отзывов, все отзывы положительные.

1. Отзыв из Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук, подписанный доктором технических наук, ведущим научным сотрудником лаборатории высокочастотной электроники Абдуллиным Эдуардом Нурулловичем. Имеется замечание: В качестве недостатка можно отметить некоторую фрагментарность описания в автореферате экспериментов по применению разработанных электронных источников, представляющих значительный интерес.

2. Отзыв из Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», подписанный доктором технических наук, заместителем директора по научной работе по ускорительному направлению Курчатовского комплекса теоретической и экспериментальной физики Кулевым Тимуром Вячеславовичем. Замечаний нет.

3. Отзыв из Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», подписанный доктором физико-математических наук, доцентом, профессором кафедры природных соединений, фармацевтической и

медицинской химии Химического факультета Курзиной Ириной Александровной. Замечаний нет.

4. Отзыв из Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северо-кавказский федеральный университет», подписанный доктором технических наук, доцентом, профессором кафедры экспериментальной физики Мартенсом Владимиром Яковлевичем. Имеются замечания:

1) На рис. 2 импульс напряжения, подаваемого на тлеющий разряд, составляет 2,5 В! По-видимому, неверно указана размерность.

2) На рис. 17 представлены три отличающиеся друг от друга экспериментальные кривые, однако для двух из них указаны одни и те же экспериментальные условия: $U_a = 14$ кВ, $p = 8,2$ Па.

3) Обычно в заключительной части автореферата приводятся Основные результаты работы. В данном автореферате этого нет.

5. Отзыв из Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук, подписанный доктором технических наук, ведущим научным сотрудником Озуром Григорием Евгеньевичем. Имеются замечания:

1) Автор многократно использует термин «обратный ионный поток»? Явно неудачный термин, введённый без оговорки. А что тогда, например, прямой ионный поток?

2) Стр. 6: Во 2-м защищаемом положении говорится о возможности перехода в течение импульса «...режима функционирования катодного пятна первого рода к катодному пятну второго рода...», но ничего не сказано о том, при каких условиях это наблюдается. Хотя автор и утверждает, что им разработаны методы борьбы с этим нежелательным переходом. Хотелось большей определённости в данном вопросе.

3) Стр. 7, п. 1 «Научной новизны»: «...Выявлены особенности стабильного инициирования...». Вот если автором выявлены (найлены) условия стабильного инициирования... – тогда это научная новизна. Использование здесь слова «особенности» – явная стилистическая ошибка, да ещё и искажающая смысл.

4) Стр. 10, рис. 2а: напряжение по оси ординат должно быть в киловольтах, а не в вольтах. Кроме того, на данном рисунке и многих других не указан род рабочего газа. Можно догадаться, что это воздух, но читатель не должен гадать. Тем более что ряд экспериментов проводился в гелии и аргоне. Условия экспериментов должны быть везде описаны чётко. Автору достаточно было сделать оговорку: там, где это не указано особо, рабочим газом являлся воздух.

5) Стр. 30: Автор пишет, что «Воздействие электронного пучка на политетрафторэтилен приводит к сглаживанию его поверхности, уменьшению угла смачиваемости, увеличению микротвердости (рисунок 40) и коэффициента трения. При этом шероховатость обработанной поверхности уменьшается с увеличением длительности импульса.» Как совмещаются увеличение коэффициента трения с уменьшением шероховатости?

6) В автореферате почему-то нет ни одного слова о Заключение.

7) В тексте автореферата довольно много стилистических и иных ошибок.

6. Отзыв из Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет», подписанный доктором физико-математических наук, профессором, заведующим

кафедрой общей и космической физики Паперным Виктором Львовичем. Имеются замечания:

1) Учитывая многочисленные исследования по аналогичным тематикам, выполненные ранее в научной группе, где работает автор диссертации, следовало более конкретно сформулировать, в чем заключается существенная новизна его результатов.

2) Диссертация носит выраженный прикладной характер, однако автором не указаны практические применения разработанной аппаратуры и методик.

3) На рис. 36 приведена схема измерения потенциала облучаемой мишени по энергии вторичных электронов с помощью магнитного энергоанализатора, однако параметры анализатора не указаны, что снижает доверие к полученным результатам.

7. Отзыв из Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, подписанный доктором физико-математических наук, профессором, главным научным сотрудником лаборатории физики наноструктурных биокomпозитов Шаркеевым Юрием Петровичем. Имеются замечания:

1) В автореферате на некоторых рисунках, на которых представлены различные зависимости, указано давление, но не указан род использованного газа ни на самих рисунках, ни в подписях к ним.

2) В тексте и на рисунках для обозначения эмиссионного тока используются разные условные обозначения « I_e » или « I_a ».

8. Отзыв из Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук», подписанный доктором физико-математических наук, профессором, ведущим научным сотрудником Лигачевым Александром Егоровичем. Имеются замечания:

1) Содержание текста научной новизны носит общий характер. Из данного текста не следует:

- какие именно выявлены особенности стабильного инициирования в форвакуумной области давлений импульсных систем тлеющего разряда с полым катодом и катодной дуги,

- какие конкретно «изучены параметры и характеристики таких разрядных систем и определены условия формирования на их основе развитой эмиссионной поверхности плазмы»

- сколько «основных физические механизмов, обеспечивающих процесс нейтрализации отрицательного заряда» установил автор и в чем они заключаются.

2) Для предотвращения попадания электронного пучка на необрабатываемые поверхности изделий автор установил защитный экран с отверстием, диаметр которого подбирался в соответствии с размерами обрабатываемых образцов. Не совсем ясно, из какого материала готовится данный экран и оказывает ли взаимодействие электронного потока на процесс распыления поверхности экрана и на попадание распыляемого материала экрана на облучаемое изделие?

3) Через какое время происходит измерение краевого угла (измеряется равновесный угол смачивания или контактный?) после формирования капли на поверхности смачивания?

Почему выбрана в качестве смачивающей жидкости именно вода? С помощью каких оптических приборов измерялись параметры капли?

4) Изучалось ли воздействие электронного пучка на оксиды уже спеченные, или изделие спекалось под действием потока электронов? Имеется ли связка (например, парафин) в оксидах и как материал связки, точнее ее пар, влияет на характер работы источника электронов?

5) Каков механизм изменения шероховатости поверхности оксидов и пленки полиэтилена в процессе облучения их электронным пучком?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью своими достижениями в области физики газового разряда и низкотемпературной плазмы, эмиссии заряженных частиц, техники устройств генерирующих пучки заряженных частиц и технологий их применения, наличием публикаций в соответствующей сфере исследования и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая научная концепция генерации широкоапертурных импульсных электронных пучков в форвакуумной области давлений;

предложена оригинальная научная гипотеза компенсации отрицательного заряда, приносимого на электрически изолированную мишень импульсным электронным пучком;

доказана принципиальная возможность генерации плазменными источниками широкоапертурных импульсных электронных пучков в форвакуумном диапазоне давлений и перспективность их использования для эффективной модификации поверхностных свойств диэлектрических материалов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны положения о влиянии обратного ионного потока из пучковой плазмы на процессы генерации плазменными источниками импульсных электронных пучков в области повышенных давлений форвакуумного диапазона, а также на равномерность распределения плотности тока по сечению пучка;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использован** комплекс независимых методик исследований, включающий зондовую диагностику плазмы, масс-спектрометрию, оптическую диагностику параметров плазмы, компьютерное моделирование и численные оценки;

изложены доказательства реализации в течение одного импульса тока разряда перехода режима функционирования катодного пятна первого рода к катодному пятну второго рода, проявляющийся в понижении напряжения горения дуги, превышении в ионном составе плазмы доли металлического компонента над газовым и изменении характера эрозионных следов на поверхности катода;

раскрыты несоответствия между энергией электронов импульсного пучка и величиной наводимого пучком потенциала на поверхности облучаемой диэлектрической мишени в форвакуумной области давлений;

изучены в широком диапазоне форвакуумной области давлений физические особенности процессов инициирования и горения импульсных тлеющего разряда с полым катодом и катодной дуги, а также генерации в разрядных системах на их основе однородной плазмы с развитой эмиссионной поверхностью;

проведена модернизация метода тепловизионного измерения распределения плотности тока импульсного электронного пучка.

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

разработаны и внедрены экспериментальные макеты форвакуумных плазменных источников широкоапертурных импульсных электронных пучков, что подтверждено патентами РФ №№ 107657, 134728, 2758497, 2759425 и актом внедрения в ООО «НПК ТЭТа»;

определены перспективы практического использования форвакуумных плазменных источников широкоапертурных импульсных электронных пучков для эффективной модификации поверхностных свойств диэлектрических материалов;

создана система практических рекомендаций по разработке форвакуумных плазменных источников широкоапертурных импульсных пучков электронов на основе тлеющего разряда с полым катодом и катодной дуги; а также по способам и режимам обработки импульсным электронным пучком непроводящих материалов в форвакуумной области давлений;

представлены предложения по дальнейшему совершенствованию форвакуумных плазменных источников широкоапертурных импульсных пучков электронов и расширению области их применения.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ исследования имеют систематический характер, а их результаты удовлетворительно согласуются с теоретическими оценками и результатами численного моделирования, а также практической реализацией полученных научных положений и выводов;

теория описания процессов инициирования тлеющего и дугового разрядов, распространения электронного пучка согласуется с опубликованными экспериментальными данными других исследований по теме диссертации;

идея базируется на анализе практики и обобщении передового опыта исследований широкоапертурных импульсных источников электронных пучков и форвакуумных плазменных источников электронных пучков, функционирующих в непрерывном режиме;

использовано сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по исследованию и разработке источников широкоапертурных импульсных электронных пучков;

установлено качественное совпадение полученных соискателем результатов с литературными данными, опубликованными в независимых рецензируемых источниках;

использованы современные экспериментальные методики, обеспечивающие получение достоверных результатов: осциллография импульсных токов и напряжений, зондовая диагностика и оптическая спектрометрия параметров плазмы, масс-спектрометрия ионов плазмы, растровая электронная микроскопия, ИК-спектроскопия, тепловизионная методика определения плотности тока электронного пучка.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии соискателя в постановке цели и задач исследований, планировании и проведении большей части экспериментов, анализе полученных результатов, разработке конструкторских решений

созданных импульсных источников электронов. Соавторы, принимавшие участие в отдельных направлениях исследований, указаны в списке основных публикаций по теме диссертации. Все результаты, составляющие научную новизну диссертации и выносимые на защиту, получены автором лично.

В ходе защиты диссертации не были высказаны критические замечания.

Соискатель Медовник Александр Владимирович ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию.

На заседании 30 ноября 2022 г. диссертационный совет принял решение: за решение научной проблемы, имеющей важное хозяйственное значение, состоящей в создании форвакуумных плазменных источников широкоапертурных импульсных электронных источников на основе тлеющего разряда с полым катодом и катодной дуги для эффективной электронно-лучевой модификации поверхностных свойств диэлектрических материалов, присудить Медовнику Александру Владимировичу ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0, проголосовали: за – 20, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель

диссертационного совета



Шандаров Станислав Михайлович

Ученый секретарь

диссертационного совета

Казаков Андрей Викторович

01.12.2022 г.