

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФМ СО РАН),
д.ф.-м.н.


Номоев А.В.

« 11 » октября 2022 г.

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию МЕДОВНИКА Александра Владимировича «Плазменные источники электронов для генерации широкоапертурных импульсных пучков в форвакуумной области давлений», на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 1.3.5 - физическая электроника.

Изучение диссертации и публикаций в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК подтверждает, что диссертация является научно-квалификационной работой. В полной мере соответствует требованиям и критериям, установленным действующим постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней». Постановлениям от 21 апреля 2016 г. № 335 "О внесении изменений в Положение о присуждении ученых степеней» и от 20.03.2021 г. № 426 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации...». Приказа Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 24 февраля 2021 г. № 118 «Об утверждении номенклатуры научных специальностей...».

Предложенные автором диссертации решения строго аргументированы и оценены по сравнению с известными техническими решениями. В диссертации приводятся сведения о практическом использовании полученных автором диссертации научных результатов. Основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку.

Диссертацию А.В. Медовника можно признать научным трудом, в котором изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, в частности, выявление особенностей стабильного инициирования в форвакуумной области давлений импульсных систем тлеющего разряда с полым катодом и катодной дуги. Определение параметров и характеристик таких разрядных систем и условий формирования на их основе развитой эмиссионной поверхности плазмы с

высокой однородностью параметров, обеспечивающей эффективную генерацию широкоапертурных импульсных электронных пучков. Установление степени влияния в форвакуумном диапазоне давлений обратного ионного потока из областей формирования и транспортировки широкоапертурного импульсного электронного пучка на условия инициирования и горения разряда, процессы эмиссии электронов из плазмы и предельные параметры электронного пучка. Выявление основных физических механизмов, обеспечивающих процесс нейтрализации отрицательного заряда, наведенного широкоапертурным импульсным электронным пучком, при облучении диэлектрических объектов.

Характер результатов диссертации имеет важное значение для развития критических технологий Российской Федерации - Указ Президента РФ от 07.07.2011 № 899 (ред. от 16.12.2015) "Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации", п. 17 «Технологии получения и обработки функциональных наноматериалов» и отвечает на большие вызовы, обозначенные приоритетным направлением Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации - Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации», раздел II, п. 20 «Переход ... к новым материалам и способам конструирования...».

Диссертационная работа выполнена при финансовой поддержке:

- проекты РФФИ 09-08-00147, 10-08-00257, 12-08-33016, 13-08-00175, 13-08-98087, 14-08-31075, 16-48-700487, 17-08-00239, 18-38-20044, 20-08-00123;

- ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» № 14.В37.21.0935 (2012–2013);

- грантом Президента Российской Федерации МК-2253.2014.8 (2014–2015 гг.);

- грантами Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственных заданий № 3.49.2014/К (2014–2016 гг.), № 11.1550.2017/ПЧ (2017–2019 гг.), № FEWM-2020- 0038 (2020–2022 гг.);

- грантом Президента Российской Федерации по государственной поддержке ведущих научных школ и стипендией Президента Российской Федерации молодым учёным и аспирантам, осуществляющим перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики (2016–2018).

За разработку форвакуумных плазменных источников электронов и их использование для обработки диэлектрических материалов автор диссертационной работы в составе научного коллектива был удостоен в 2019 году премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники для молодых ученых.

Актуальность избранной темы обуславливается неослабевающим интересом исследователей к разработке и изучению плазменных источников электронов, обеспечивающих эффективную генерацию электронных пучков в области повышенных давлений форвакуумного диапазона (1–100 Па) и представляет собой одно из направлений современного развития плазменной эмиссионной электроники. Притом, представляет важный научный и практический интерес образуемая в области транспортировки электронного пучка плазма, обеспечивающая эффективную нейтрализацию зарядки поверхности электронным пучком при обработке диэлектрических материалов.

К началу выполнения настоящей работы оставались недостаточно изученными особенности процессов инициирования и горения импульсных тлеющего и дугового разрядов, обеспечивающих отбор электронов с развитой эмиссионной поверхности плазмы в форвакуумной области давлений. Создания плазменных источников импульсных электронных пучков большого сечения и использования их для поверхностной обработки протяженных изделий из диэлектрических материалов.

Целесообразность исследований подтверждается обстоятельным критическим анализом реальной ситуации, сложившейся в последнее время при разработке плазменных источников электронов, способных генерировать в форвакууме импульсный электронный пучок с плотностью энергии в импульсе более 10 Дж/см^2 , позволяющих успешно применять их для широкого круга новых технологических задач.

Диссертация А.В. Медовника, соответствует требованиям, предъявляемым к научным работам, направляемым в печать, содержит совокупность новых результатов и научных положений, обоснованность и достоверность которых сомнений не вызывает. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается систематическим характером исследований, использованием независимых дублирующих экспериментальных методик, удовлетворительным согласованием теоретических оценок, результатов численного моделирования и экспериментальных результатов, непротиворечивостью полученных данных и выводов с результатами исследований, проведенных ранее, публикацией результатов в ведущих российских и зарубежных научных изданиях.

К наиболее значимым относятся:

Генерация в форвакуумной области давлений широкоапертурных импульсных электронных пучков микро- и миллисекундного диапазона длительностей достигается генерацией эмиссионной плазмы на основе импульсных тлеющего разряда с полым катодом или катодной дуги. Стабильность эмиссионных параметров разрядной плазмы достигается выбором оптимального давления рабочего газа, амплитуды и длительности тока дуги.

Повышение давления газа и (или) увеличение ускоряющего напряжения приводят к снижению напряжения зажигания и горения разряда, сокращению

времени запаздывания зажигания разряда и длительности фронта импульса, увеличению эффективности извлечения электронов из плазмы, возрастанию обратного ионного потока из пучковой плазмы.

В системах на основе тлеющего разряда с полым катодом обратный ионный поток существенно усиливает неоднородность радиального распределения плотности эмиссионной плазмы. В дуговых плазменных источниках обратный ионный поток в меньшей степени влияет на равномерность распределения плотности тока электронного пучка. При увеличении тока пучка на его равномерность также оказывает влияние собственное магнитное поле тока пучка, приводящее в условиях компенсации пространственного заряда ускоренных электронов к сжатию пучка в процессе его транспортировки.

Компенсация отрицательного заряда сильноточного импульсного электронного пучка, приносимого на электрически изолированную поверхность мишени, обеспечивается ионным потоком из пучковой плазмы и ионами несамостоятельного разряда, возникающего между отрицательно заряженной мишенью и заземленными стенками вакуумной камеры.

Значима практическая ценность работы. Созданы плазменные источники широкоапертурных импульсных электронных пучков в рабочем диапазоне давлений от единиц до 30 Па, ускоряющем напряжении до 15 кВ и частоте повторения импульсов до 50 имп./с при использовании для генерации эмиссионной плазмы тлеющего разряда с полым катодом обеспечивают при длительностях импульса до 1 мс ток пучка до 120 А, плотность энергии пучка в импульсе до 10 Дж/см², неравномерность распределения плотности тока по сечению пучка не более 10%. Использование в электронном источнике катодной дуги делает возможным повышение тока электронного пучка до 170 А, плотности тока пучка до 15 А/см², длительности импульса до 20 мс и плотности энергии пучка в импульсе до 60 Дж/см².

Результаты диссертационной работы использованы: акт внедрения от 06.10.20017 № 423 ООО Научно-производственная компания Томские электронные технологии; акт об использовании результатов диссертационной работы АО Научно-производственная фирма «Микран».

Наряду с достаточным изложением научно обоснованных новых технических и технологических решений, в диссертации обнаруживаются следующие замечания:

- в выносимом на защиту научном положении (с. 8, п. 1) утверждается *«В форвакуумной области давлений генерация широкоапертурных импульсных электронных пучков микро-миллисекундного диапазона длительностей с использованием плазменных источников электронов может быть реализована в результате сочетания постоянного ускоряющего напряжения и импульсных систем для генерации эмиссионной плазмы на основе тлеющего разряда с полым катодом или катодной дуги»*. Научное положение выглядит тривиальным т.к. общеизвестно импульсный пучок электронов на основе эмиссии электронов из газоразрядной плазмы может быть получен, либо при постоянном извлекающем напряжении и

импульсном разряде, либо при импульсном напряжении и стационарном разряде, либо в режиме одновременного сочетания импульсов ускоряющего напряжения с импульсами инициирования разряда;

- в основных результатах диссертационной работы отмечается (раздел «Заключение», п. 11, с. 258) *«Продемонстрировано применение полученных электронных пучков для поверхностной обработки различных непроводящих материалов ... без создания специальных условий для нейтрализации заряда пучка...»*, правильной для нейтрализации отрицательного заряда, наведенного электронным пучком, при облучении поверхности диэлектрика;

- в автореферате (с. 9, рисунок 1) неудачно введено название *«плоский анод»*, хотя на (с. 11, абзац 1) электрод указан как *«...эмиссионная сетка...»*, кроме того в диссертации (с. 70, рисунок 2.4) - как *«анодная сетка»*; на (с. 72, рисунок 2.6) - как *«эмиссионный электрод»*, более логично название сетчатый анод;

- введение и глава 1 *«Генерация низкоэнергетических широкоапертурных импульсных электронных пучков в системах с плазменным катодом (обзорная)»* с вытекающей постановкой задач исследования в объеме диссертации чрезмерно перегружены, занимают 67 страниц;

- требует пояснения (с. 81, рисунок 2.13), почему время τ_d *«...запаздывания зажигания разряда...»* не зависит от ускоряющего напряжения в области 1-7 кВ при давлении 16 Па и в области 3,5-9 кВ при давлении 10 Па, при этом наблюдается сильная зависимость τ_d , соответственно, в диапазоне 0-1 кВ и 3-3,5 кВ;

- в автореферате отсутствует раздел *«выводы (основные результаты) диссертационной работы»*;

- в диссертации утверждается, слово *«...форвакуумный...»* свидетельствует о новом типе плазменных источников электронов, хотя представленные плазменные источники электронов не дают основание признать их таковыми;

- в автореферате (раздел *«Список работ, опубликованных автором по теме диссертации»*, с. 31-36) в ряде публикаций не указан полный перечень авторов, что в определенной мере влияет на наукометрические показатели не указанных соавторов статей;

- в диссертации утверждается (с. 251) *«...повышение микротвердости поверхности политетрафторэтилена свидетельствует о химических превращениях и структурно-фазовых изменениях, происходящих под воздействием пучка электронов»*, хотя известно энергетическое воздействие импульсного пучка электронов на поверхность политетрафторэтилена приводит к изменению соотношения основных химических связей в поверхностных слоях, образованию новых связей $-\text{CF}_3$, $-\text{CF}$, $-\text{C}-\text{O}$, в диссертации отсутствуют сведения о характере химических и структурно-фазовых изменений на поверхности политетрафторэтилена, в частности, методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии.

Принимая во внимание достаточную степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации и

выдвигаемых автором для публичной защиты, их достоверность и новизну. Наукометрические показатели А.В. Медовника (российский научный индекс цитирования, научную продуктивность ученого, *h index* – 14). Достаточный научный уровень 28 статей в рецензируемых российских и зарубежных научных журналах, из них. 20 статей в журналах, входящих в реферативные базы данных Web of Science и Scopus, 10 текстов докладов в трудах международных и всероссийских научных и научно-практических конференциях и семинарах. Предложенные автором новые принципиальные технические решения строго аргументированы и критически оценены по сравнению с другими известными решениями и защищены 6 патентами RU на изобретения и полезные модели и 4 свидетельствами о регистрации программы для ЭВМ. Результаты работы легли в основу 2 монографий «Форвакуумные плазменные источники электронов» и «Применение форвакуумных плазменных источников электронов для обработки диэлектриков». Результаты диссертации докладывались и обсуждались на 12 международных и российских научных конференциях.

Диссертационная работа «Плазменные источники электронов для генерации широкоапертурных импульсных пучков в форвакуумной области давлений» полностью соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. № 842, ее автор, МЕДОВНИК Александр Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук, по специальности 1.3.5 – физическая электроника.

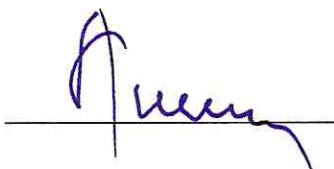
Главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФМ СО РАН), доктор технических наук по специальности 01.04.04 - физическая электроника, профессор по специальности 01.04.04 - физическая электроника,

Семенов Александр Петрович.

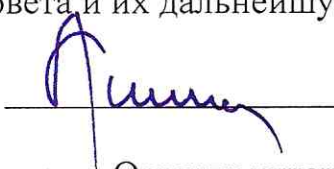
670047 Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6,

телефон: 8(3012)433184,

e-mail: semenov@ipms.bscnet.ru


_____ А.П. Семенов

Согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.


_____ А.П. Семенов

Подпись удостоверяю, начальник Организационного отдела Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук,



Красикова М.В.

Почтовый адрес: 670047, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6.

Телефон: 8(3012)433184 E-mail: dir@ipms.bsnet.ru

« 11 » октября 2022 г.