



Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОФИЗИКИ
Уральского отделения
Российской академии наук
(ИЭФ УрО РАН)

Амундсена ул., д.106, г.Екатеринбург, 620016
Тел. (343) 267-87-96 Факс (343) 267-87-94
ОКПО 04839716 ОГРН 1026604936929
ИНН/КПП 6660007557/667101001

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ИЭФ УрО РАН

д.ф.-м.н.

В. Часова

Чайковский С.А.

«31»



31.10 2022 г. № 16346-1256-313

на № _____ от _____

[Отзыв на диссертационную работу]

ОТЗЫВ

Ведущей организации – Института электрофизики Уральского отделения Российской академии наук на диссертационную работу Медовника Александра Владимировича «Плазменные источники электронов для генерации широкоапертурных импульсных пучков в форвакуумной области давлений», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 1.3.5 «Физическая электроника»

Актуальность темы исследования

Плазменные источники электронов находят применение в технологических процессах электронно-лучевой сварки, пайки, и обработки поверхностей материалов и изделий с целью повышения эксплуатационных характеристик, определяющих срок службы машин и механизмов. Одной из главных особенностей таких источников является возможность стабильной генерации электронных пучков при повышенных давлениях рабочего и остаточного газа, в том числе и в области рабочих давлений форвакуумного диапазона (1-30 Па), что не только упрощает систему вакуумной откачки, но и открывает возможности для реализации новых электронно-пучковых технологий. К ним относится, например, обработка электронными пучками поверхностей материалов с большим электрическим сопротивлением, таких как полупроводники и диэлектрики. Если при обработке диэлектрика электронным пучком в высоком вакууме его поверхность неизбежно заряжается потоком электронов до практически полного отрицательного потенциала, сравнимого с энергией электронов пучка, что препятствует их попаданию на поверхность

диэлектрика, то в форвакуумном диапазоне давлений отрицательный потенциал поверхности диэлектрика нейтрализуется потоком ионов из пучковой плазмы, что позволяет проводить обработку материалов с высоким электрическим сопротивлением, в том числе и высокотемпературных керамик. Исследования, проводимые в данной работе и направленные на изучение и обоснование этого эффекта, открывают перспективу дальнейшего развития плазменных источников электронов и расширения их технологических возможностей. Достижение высокой однородности распределения плотности тока пучка в широкоапертурных плазменных источниках электронов представляется необходимым условием их применения для обработки поверхности любых конструкционных материалов, но при обработке поверхности керамики этот фактор имеет принципиальное значение, поскольку любой высокотемпературный диэлектрик, обладающий низкой теплопроводностью, легко разрушается от термических напряжений при неравномерном и быстром нагреве пучком электронов. Таким образом, тема диссертационной работы Медовника А.В., направленная на разработку широкоапертурных импульсных электронных пучков в форвакуумном диапазоне давлений, представляется актуальной для современной науки и техники.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения, содержит 299 страниц текста, 220 иллюстраций, 10 таблиц. Список цитируемой литературы включает 265 наименований. Материалы диссертационной работы опубликованы в 28 статьях 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, входящих в реферативные базы данных Web of Science и Scopus.

Научная новизна полученных результатов:

1. Выявлены особенности стабильного инициирования в форвакуумной области давлений импульсных систем тлеющего разряда с полым катодом и катодной дуги. Выявлены причины, приводящие к неоднородности распределения плотности тока пучка по его сечению, и предложены пути их устранения, в результате чего удалось достичь эффективную генерацию импульсных электронных пучков, с высокой однородностью параметров.

2. Выявлены основные физические механизмы, обеспечивающие процесс нейтрализации отрицательного заряда, наведенного широкоапертурным импульсным электронным пучком, при облучении диэлектрических объектов.

3. Определена степень 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 формирования электронного пучка, а также на предельные параметры пучка.

Практическая значимость диссертации

1. Научные положения, выносимые на защиту, сформулированные на основании проведенных исследований, вносят вклад в понимание особенностей процесса генерации импульсных электронных пучков в форвакуумной области давлений.

2. Созданы форвакуумные плазменные источники широкоапертурных импульсных электронных пучков на основе тлеющего разряда с полым катодом и катодной дуги с параметрами электронного пучка, обеспечивающими электронно-лучевую модификацию поверхностных свойств диэлектрических материалов.

3. Существенно расширены возможности электронно-лучевой обработки диэлектрических изделий большой площади.

Обоснованность и достоверность результатов и выводов подтверждаются 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.

Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы

Полученные в работе результаты могут быть использованы в научных и научно-производственных организациях, которые занимаются разработкой и применением электронных источников, модификацией поверхностей материалов на их основе. Это, прежде всего, Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры им. Д.В. Ефремова, Институт электрофизики УрО РАН, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Институт прикладной физики РАН», и предприятия Государственной корпорации «Росатом» и «Роскосмос».

Замечания по диссертации

1. На стр. 21 диссертации утверждается, что «принципиальным недостатком систем тлеющего разряда с полым катодом при их использовании в плазменных источниках широкоапертурных электронных пучков остается ограничение длительности и тока

разряда, связанное с переходом тлеющего разряда сначала в аномальную форму горения ..., а затем с переходом в дугу». Отметим, однако, что в реальных электронных источниках на базе тлеющего разряда используется почти исключительно аномальный тлеющий разряд, поскольку ток нормального тлеющего разряда невысок (10^{-4} - 10^{-2}) А.

2. В тексте диссертации не приводятся результаты измерений параметров вторичной пучковой плазмы. Однако, роль этой плазмы, как в процессах формирования пучка, так и в процессе облучения пучком диэлектрика исключительно важна, поскольку именно потоком ионов из этой плазмы нейтрализуется отрицательный заряд, вносимый электронным пучком на поверхности диэлектрика.

3. Ссылка [216] на странице 193 диссертации на «использование так называемых многоапертурных систем извлечения для формирования ионных пучков» в работе, сделанной в 2002 г, как минимум, некорректна. Одной из первых публикаций, в которой описывается применение многоапертурной ионно-оптической системы, была статья G. W. Hamilton, J. L. Hilton, and J. S. Luce, Plasma Phys. 10, 687 (1968). Фундаментальная работа по изучению свойств многоапертурных систем формирования ионных пучков была сделана Кауфманом с сотрудниками в 1978 г.

4. На стр. 193 диссертации отмечается, что «Перекрытие эмиссионного (плазменного) электрода многоапертурной системы мелкоструктурной сеткой стабилизирует положение эмиссионной плазменной границы....., обеспечивая более широкий диапазон изменения параметров при формировании ионных пучков [217]». Замечу, однако, что для формирования ионных пучков сочетание «апертура + мелкоструктурная сетка» не используется, это имеет смысл только при формировании электронных пучков (см. А.С. № 976806. Многоапертурная система извлечения заряженных частиц из плазменного источника. Гаврилов Н.В., Окс Е.М. Приоритет от 17.07.81 г.)

5. В тексте диссертации неоднократно упоминается об увеличении твердости поверхности керамики, облученной импульсным электронным пучком, однако в доказательства этому автор приводит только рис. 4.39, на стр. 240 диссертации, на котором представлено «Распределение микротвердости H по глубине образца». В диссертации не прописана методика измерения микротвердости, из текста не ясно, сделаны ли измерения на сколе образца или с поверхности при разной нагрузке. Измеренные значения микротвердости модифицированного электронным пучком слоя невысоки и не превышают значение исходной микротвердости использованной керамики.

6. В главе 2 автор излишне детально, по моему мнению, описывает исследование процесса инициирования дугового разряда. Методы надежной инициации вакуумно-дугового разряда достаточно давно известны.

7. Использование автором масс-зарядовой спектроскопии на основе модернизированного квадрупольного анализатора в форвакуумном диапазоне давлений, даже в совокупности с дифференциальной откачкой может приводить к значительным погрешностям измерений, обусловленными существованием области повышенного давления за входной апертурой и искажением спектра в результате резонансной перезарядки ионов на свободном газе. Эта проблема в работе не обсуждается должным образом.

8. На стр. 80 диссертации отмечается, что «Практическое отсутствие в традиционных плазменных источниках широкоапертурных электронных пучков перепада давлений между областями генерации плазмообразующего разряда и ускорения электронов для форвакуумных плазменных источников электронов компенсируется относительно высоким значением самого давления». В этой фразе кажется лишним словосочетание «в традиционных плазменных источниках широкоапертурных электронных пучков».

9. Стр. 88 диссертации. Фраза «Факт уменьшения времени стабильного горения разряда после тренировки хорошо согласуется с результатами, описанными в работе [145]» противоречит изложенным в тексте диссертации общеизвестным фактам.

10. Стр. 88 и везде в тексте диссертации. Равномерность и однородность не могут быть низкой или высокой. Предпочтительнее говорить о степени неоднородности или неравномерности.

11. Стр. 140 диссертации. Отмечается, что «Время формирования (длительность переднего фронта тока разряда) плазмообразующих тлеющего и дугового разрядов в форвакуумном диапазоне давлений уменьшается с ростом давления газа и тока разряда, что обусловлено ионизацией рабочего газа в разрядном промежутке потоком электронов с поверхности катода». Точнее было бы сказать, что обусловлено не просто ионизацией, а изменением частоты ионизаций. Кстати, термин «передний фронт» - это тавтология, «front» переводится как «передний», то, что сзади, обычно называется спадом импульса.

12. Стр. 155. Использовано неудачное выражение «перераспределение электронного компонента разрядного тока между анодом и эмиссией». Все же анод – это объект, а эмиссия – это процесс.

13. Стр. 226. Рисунок 4.27 – Зависимость потенциала диэлектрической пластины от тока эмиссии. Наверное, по оси абсцисс должны быть киловольты, а не вольты?

14. Утверждения на стр. 7 - 8 о достаточности параметров созданных источников для эффективной электронно-лучевой модификации поверхностных свойств диэлектрических материалов и существенном расширении возможностей электронно-лучевых технологий представляются недостаточно обоснованными и избыточно оптимистичными. Да,

электронно-лучевая обработка продемонстрировала изменение структуры и свойств некоторых диэлектрических материалов, да, широкие пучки, в принципе, позволяют обрабатывать большие поверхности, да, продемонстрирован определенный потенциал разработанных источников, но это не технология в ее классическом понимании.

Заключение

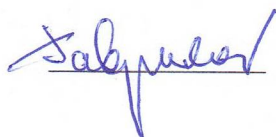
Сделанные замечания не снижают общей научной и практической ценности диссертационной работы. Диссертационная работа четко структурирована. Автореферат соответствует основному содержанию диссертационной работы, включает постановку цели и задач, основные результаты и выводы.

В целом, диссертация Медовника А.В., представляет собой завершённую научно-квалификационную работу. Основные результаты, представленные в диссертационной работе, обладают научной и практической значимостью. Результаты работы прошли апробацию на международных конференциях.

Считаем, 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.

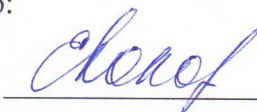
Доклад соискателя заслушан, отзыв на диссертационную работу и автореферат рассмотрен и утверждён на расширенном заседании научного семинара лаборатории пучков частиц ИЭФ УрО РАН, протокол заседания № 6 от 31 октября 2022 г.

Заведующий лабораторией
пучков частиц ИЭФ УрО РАН,
д.т.н., член-корреспондент РАН



Гаврилов Николай Васильевич
« 31 » октября 2022 г.

Подпись Н.В. Гаврилова удостоверяю:
учёный секретарь ИЭФ УрО РАН
к.ф.-м.н.



Кокорина Елена Евгеньевна
« 31 » октября 2022 г.