

ОТЗЫВ официального оппонента

на диссертационную работу Климова Александра Сергеевича
«ГЕНЕРАЦИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ В ФОРВАКУУМНОЙ ОБЛАСТИ
ДАВЛЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПЛАЗМЕННО-ЭМИССИОННЫХ РАЗРЯДНЫХ
СИСТЕМ С ПОЛЫМ КАТОДОМ»,

представленной на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 01.04.04 – Физическая электроника.

Актуальность темы диссертации.

Источники электронов с плазменным катодом созданы более 50 лет назад и постоянно совершенствовались в течение прошедшего времени. Одно из новых и, безусловно, перспективных направлений развития источников подобного типа связано с так называемыми форвакуумными плазменными источниками электронов, способными генерировать электронные пучки в недоступной ранее области повышенных давлений форвакуумного диапазона. Развитие данного направления требует совершенствования существующих источников электронных пучков, поскольку технологические операции, связанные с обработкой диэлектрических поверхностей, как правило, сопровождаются большим газовыделением. Поэтому задача создания нового типа электронных источников, способных работать в тяжелых вакуумных условиях, является весьма актуальной и важной.

В диссертации Климова А.С. рассматриваются и решаются задачи, направленные на изучение возможностей практической реализации процессов электронно-лучевой обработки диэлектрических материалов в форвакуумной области давлений при использовании плазменно-эмиссионных разрядных систем с полым катодом с целью придания им новых свойств и расширяющих сферу их применения. К настоящему времени результаты исследований возможности генерации электронных пучков при отборе с эмиссионной границы плазмы в области повышенных давлений, достигающих 100 и более Па, позволяют утвер-

ждать о конкурентоспособности в сравнении с результатами, полученными традиционными способами, основанными, например, на использовании термоэмиссионных источников, работающих в диапазоне $10^{-3} - 10^{-4}$ Па. При этом получение новых данных связано с неизменным расширением масштаба проблем, зачастую более сложных, чем решенные ранее. В определенной степени это относится к рассматриваемой работе.

Актуальность темы диссертации подтверждается большим количеством научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, выполненных с участием автора по различным государственным и отраслевым программам. Эти работы не только определили круг теоретических задач, но и послужили базой для экспериментальной проверки и внедрения научных результатов, изложенных в диссертации.

Диссертационная работа выполнена в объеме 302 страниц печатного текста, содержит введение, пять глав и заключение, 193 рисунка, 12 таблиц. Список цитируемой литературы включает 302 источника.

Научная новизна.

Научные положения обладают новизной, хорошо обоснованы, ясно и грамотно сформулированы как в публикациях автора, так и в диссертации. Большая часть научных положений, выводов и рекомендаций получена экспериментальным путем. Экспериментальные данные, как правило, использовались также для демонстрации или подтверждения расчетных параметров процессов. К новым результатам диссертации можно отнести следующее:

1. Показано, что на предельное рабочее давление форвакуумных плазменных источников электронов существенное влияние оказывает ток высоковольтного тлеющего разряда (ВТР) в ускоряющем промежутке, рассеяние электронного пучка на остаточном газе и нарушение электрической прочности ускоряющего промежутка. В связи с этим автором предложены конструктивные решения, обеспечившие снижение тока ВТР и позволившие повысить предельное

рабочее давление электронного источника до рекордных 160 Па при работе на гелии и до 100 Па на воздухе.

2. Определены особенности формирования в форвакуумной области давлений ленточного электронного пучка с повышенной плотностью тока. Показано, что оптимальным способом повышения плотности эмиссионного тока является использование катодной полости с различной шириной в поперечном сечении. Такая конструкция позволяет повысить концентрацию эмиссионной плазмы без нарушения однородности вдоль ее протяженного размера.

3. Показано, что в форвакуумной области давлений возможна генерация электронных пучков с рекордными параметрами как цилиндрической, так и ленточной конфигурации в зависимости от геометрии разрядной и эмиссионной систем. На базе исследований созданы плазменные источники электронов на основе разряда с полым катодом для генерации электронных пучков различной конфигурации в широком диапазоне рабочих давлений – от 5 до 100 Па.

4. Продемонстрирована возможность эффективного использования разработанных электронных источников для обработки диэлектрических (в частности, керамических) материалов. Определены режимы работы источника при его использовании в технологиях сварки керамики, соединения керамики с металлом, спекания керамических материалов, испарения и нанесения керамических покрытий.

Практическая значимость работы

Практическая значимость работы определяется разработкой новой аппаратуры и усовершенствованием действующих установок. Автором созданы плазменные источники электронов для генерации электронных пучков различной конфигурации в широком диапазоне рабочих давлений – от 5 до 100 Па. Определены режимы работы источников при использовании их в технологиях сварки керамики, соединения керамики с металлом, спекания керамических материалов, испарения и нанесения керамических покрытий.

Обоснованность и достоверность результатов и выводов.

Обоснованность и достоверность основных результатов и выводов определяется корректностью сделанных допущений, использованием адекватного математического аппарата, совпадением результатов, полученных с помощью предложенных методов расчета, с результатами, полученными известными ранее методами, а также с экспериментальными результатами. Достоверность выполненных автором исследований подтверждается их систематическим характером, использованием независимых дублирующих современных методик измерений. Подробно изучены полученные в работах других авторов результаты по направлению исследований и сопоставлены с собственными выводами.

При выполнении работ использована современная диагностическая аппаратура, применены как оригинальные, так и традиционные, хорошо проверенные методы исследований.

Представленные в работе результаты опубликованы в 23 статьях в ведущих научных отечественных и зарубежных журналах, неоднократно докладывались на авторитетных международных конференциях и симпозиумах. Результаты работы легли в основу монографии «Форвакуумные плазменные источники электронов», написанной в соавторстве с В.А. Бурдовицыным, А.В. Медовником, Е.М. Оксом, Ю.Г. Юшковым. Разработанные в результате выполнения работы технические решения защищены 8 патентами РФ.

Диссертация написана ясным языком, с использованием принятой терминологии, оформление диссертации замечаний не вызывает.

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Замечания по диссертации и автореферату

1. В первом научном положении речь идет об оптимизации геометрии ускоряющего промежутка и выборе гелия в качестве плазмообразующего газа, параметр предельного рабочего давления указан как 160 Па для сфокусирован-

ных электронных пучков и до 50 Па для широкоапертурных и ленточных пучков. Однако в тексте диссертации на стр. 152 «Таблица 4.1 Эксплуатационные параметры источника ленточного электронного пучка» и на стр. 165 «Таблица 4.2 – Основные параметры источника электронов» параметры рабочего давления указаны как 5-15 Па и 100 Па соответственно.

2. Пятая глава диссертации посвящена различным методам модификации поверхностей (сварка, пайка, размерная обработка, и.т.д.) керамики электронным пучком и изучению их свойств до и после облучения. Все внимание направлено на изучение механических свойств поверхности, в частности микроструктуры, микротвердости, механической прочности. Однако основным назначением оксидной керамики является работа при высоких температурах и в химически агрессивных средах. Из текста диссертации не следует, что соискателем проведены исследования изменений термостойкости и коррозионной стойкости материала до и после модификации.

3. В разделе диссертации 5.4 «Получение керамических покрытий в форвакуумной области давлений» говорится об «исследовании микроструктуры и элементного состава пленки, образовавшейся на поверхности стеклянных образцов в результате испарения керамики», измерена толщина пленок, и элементный состав. Однако одним из важных параметров любых покрытий является адгезия и механическая устойчивость, которая может быть обеспечена только при условии адгезии с подложкой. К сожалению, таких данных в диссертации нет. Кроме того в этом пункте имеются некоторые неточности, «для более толстых пленок использовался трехмерный бесконтактный профилометр (Micro Measure 3D Station) с диапазоном измерения до 80 мкм», однако диапазон этого прибора составляет 0.001-300 мкм.

Заключение

Указанные замечания не затрагивают сущность защищаемых научных положений, а также полученных в работе основных результатов, и не влияют на

ее общую положительную оценку. В целом диссертация является научно-квалифицированной работой, с предложенными теоретическими положениями и техническими устройствами, которые можно рассматривать как научное достижение в развитии физики генерации электронных пучков.

Таким образом, диссертация Климова Александра Сергеевича на тему «Генерация электронных пучков в форвакуумной области давлений на основе плазменно-эмиссионных разрядных систем с полым катодом» соответствует всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, и соответствует п. 9 «Положения ВАК РФ о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника.

Официальный оппонент,
доктор технических наук,
начальник лаборатории КЛ-8 НТЦ «ЛКиТ»
АО «НИИЭФА»



С.Л. Косогоров

196641, Санкт-Петербург, пос. Металлострой,
дорога на Металлострой, д. 3
тел.: 8-921-791-90-11
Эл. почта: kosogorov@niiefa.spb.su

Подпись С.Л. Косогорова удостоверяю
Ученый секретарь АО «НИИЭФА»,
доктор технических наук, профессор



Г.Л. Саксаганский

«28»  2016 г.