

## ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Бакеева Ильи Юрьевича «Генерация форвакуумным плазменным источником электронов сфокусированных непрерывных пучков для прецизионной обработки диэлектрических материалов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.04 – Физическая электроника.

Диссертационная работа Бакеева И. Ю. посвящена экспериментальному исследованию и численному моделированию процессов эмиссии, формирования и магнитной фокусировки непрерывного электронного пучка, генерируемого форвакуумным плазменным источником, с целью повышения его удельных параметров.

Работа плазменных источников электронов в форвакуумных областях давлений делает их более удобным инструментом для решения практических задач по сравнению с глубже изученными плазменными источниками, работающими при более низких давлениях. Автор формулирует и решает в работе задачи по определению условий, обеспечивающих повышение плотности эмиссионной плазмы на оси разрядной системы с полым катодом в форвакуумном источнике электронов. Оценивает влияние конфигурации и параметров электродной и магнитной фокусирующей системы на процессы генерации и фокусировки электронного пучка в форвакуумной области давлений, что определяет научную ценность работы. Практическая ценность представлена в поиске методов и технических решений для повышения плотности мощности электронного пучка, которые были реализованы в опытном образце. Демонстрация возможности использования сфокусированного электронного пучка, генерируемого форвакуумным плазменным источником, проведена на примере прецизионной обработки высокотемпературных диэлектриков.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем диссертации составляет 130 страниц машинописного текста, содержащего 111 рисунков и 2 таблицы. Список литературы содержит 108 источников.

Диссертационная работа выстроена согласно логике проведения научного исследования: изучены литературные источники по тематике исследования, сформулированы цели и задачи, подобран и описан инструментарий, теоретически и модельно определены пути решения, которые затем нашли реализацию в опытном образце, подтвердившем свои возможности при практическом использовании.

Научные положения, выносимые на защиту, обладают новизной и хорошо обоснованы. Обоснованность и достоверность результатов и выводов определяются корректностью сделанных допущений, систематическим характером проведения исследований и использованием дублирующих современных методик измерения, а также удовлетворительным совпадением экспериментальных результатов с результатами, полученных с помощью расчетных методик.

К новым результатам, полученные впервые в данной диссертации, можно отнести следующие:

1. Определены условия, обеспечивающие максимальную плотность эмиссионной плазмы на оси разрядной системы с полым катодом в отсутствие перепада давления между разрядной областью и областью ускорения электронного пучка, что обеспечивает повышение плотности эмиссионного тока через центральный эмиссионный канал в эмиссионном электроде до  $10 \text{ A/cm}^2$ .

2. Определена роль и степень влияния геометрии эмиссионных каналов, конфигурации ускоряющего промежутка, а также фокусирующей магнитной

системы на удельные параметры электронного пучка при давлениях рабочего газа 10-30 Па.

3. Предложены оригинальные технические решения, обеспечивающие повышение плотности мощности электронного пучка плазменного источника с магнитной фокусировкой в области повышенных давлений форвакуумного диапазона, до уровня  $10^6$  Вт/см<sup>2</sup>.

Полученные результаты вносят существенный вклад в понимание физических процессов генерации сфокусированных электронных пучков плазменными источниками с полым катодом, функционирующими в области повышенных давлений газа форвакуумного диапазона. Их практическая значимость определяется разработкой и усовершенствованием действующего электронно-лучевого оборудования. При непосредственном участии автора создан плазменный источник для генерации при давлениях рабочего газа вплоть до 30 Па сфокусированного электронного пучка с плотностью мощности  $10^6$  Вт/см<sup>2</sup> и диаметром менее 0,4 мм. Создание оборудования для генерации такого пучка в условиях повышенных давлений открывает новые возможности для электронно-лучевой обработки высокотемпературных непроводящих материалов. В частности, автором продемонстрирована возможность применения форвакуумного источника сфокусированного электронного пучка с достигнутой удельной мощностью для резки керамики и кварцевого стекла на глубину до нескольких сантиметров, а также селективного электронно-лучевого спекания керамических порошков.

Материалы работы опубликованы в 7 статьях журналов из рекомендуемого перечня ВАК, сделаны 16 докладов. По результатам работы получен 1 патент на изобретение, 1 патент на полезную модель, 3 свидетельства о государственной регистрации программы на ЭВМ.

Диссертация написана ясным языком, с использованием общепринятых понятий и терминов. Оформление диссертации замечаний не вызывает.

Автореферат правильно и полностью отражает содержание диссертации.

При общей положительной оценке работы, можно сделать следующие **замечания:**

- На рисунке 23 диссертации (рис. 1 автореферата) изображение электронного пучка «оторвано» от эмиссионного электрода и плазмы, что затрудняет понимание физики процесса.

- В положении 1, выносимом на защиту, указано, что «в форвакуумном плазменном источнике электронов на основе разряда с полым катодом, функционирующем в изобарическом режиме, повышение плотности эмиссионной плазмы на оси разрядной системы обеспечивается сжатием положительного столба разряда в результате перекрытия торца протяженной катодной полости электродом с относительно малым отверстием». Определение «относительно малый» не характеризует реальных размеров отверстия, так как не указан объект сравнения, что препятствует однозначному пониманию положения.

Указанные замечания не являются критическими, не снижают научную и практическую значимость работы.

Диссертационная работа Бакеева И.Ю. «Генерация форвакуумным плазменным источником электронов сфокусированных непрерывных пучков для прецизионной обработки диэлектрических материалов» обладает научной новизной и практической ценностью, удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ.



Автор диссертации, Бакеев Илья Юрьевич, заслуживает присуждения  
ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.04 –  
Физическая электроника.

Научный сотрудник научно-производственной  
лаборатории "Импульсно-пучковых,  
электроразрядных и плазменных технологий"  
Инженерной школы новых производственных  
технологий НИ ТПУ,  
кандидат технических наук



Егоров И.С.

Подпись Егорова И.С. удостоверяю  
Ученый секретарь НИ ТПУ



Ананьева О.А.

Егоров Иван Сергеевич  
634050 г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: egoris@tpu.ru