

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.

« 19 » августа 2019 г.

ОТЗЫВ

официального оппонента

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

Изучение диссертации и публикаций в рецензируемых научных журналах 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» с изменениями постановления Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2016 г. № 335 "О внесении изменений в Положение о присуждении ученых степеней».

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. В диссертации приводятся сведения о практическом использовании полученных автором диссертации научных результатов. Предложенные автором диссертации решения строго аргументированы и оценены по сравнению с известными техническими решениями. Основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях.

Диссертацию И.Ю. Бакеева можно признать научным трудом, в котором изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения развития физической и плазменной эмиссионной электроники. В частности, определение условий, повышения плотности эмиссионного тока до 10 A/cm^2 через центральный эмиссионный канал в эмиттерном электроде разрядной системы с полым катодом в отсутствие перепада давления между разрядной областью и областью ускорения электронного пучка. Выяснение роли и степени влияния геометрии эмиссионных каналов, конфигурации ускоряющего промежутка и фокусирующей магнитной системы на удельные

параметры электронного пучка при давлениях рабочего газа 10-30 Па. Достижение уровня плотности мощности до 10^6 Вт/см² электронного пучка плазменного источника с магнитной фокусировкой в области повышенных давлений форвакуумного диапазона. Кроме того, характер результатов диссертации имеет важное значение для развития критических технологий Российской Федерации, в частности, «Технологии получения и обработки функциональных наноматериалов» и приоритетного направления Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации «Переход ... к новым материалам и способам конструирования...».

Диссертационная работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ проекты № 15-08-00871_а, № 17- 08-00239_ а, № 18-38-00305 мол_а и в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ проекты № 3.9605.2017/8.9 и № 11.1550.2017/4.6.

Актуальность избранной темы обуславливается неослабевающим интересом исследователей к разработке и изучению форвакуумных плазменных источников электронов, функционирующих в области давлений до 10^2 Па, позволяющих существенно упростить вакуумное оборудование благодаря сокращению ступеней откачки и способности данных источников работать в изобарическом режиме. Притом, представляет важный научный и практический интерес понимание процессов эмиссии, формирования и магнитной фокусировки непрерывного электронного пучка генерируемого форвакуумным плазменным источником и процессов электронно-лучевой обработки диэлектрических материалов без использования дополнительного оборудования для снятия заряда с обрабатываемой поверхности диэлектрика. К началу выполнения настоящей работы оставались недостаточно изученными новые подходы повышения плотности эмитирующей плазмы на оси разрядной системы с полым катодом, удельных параметров электронного пучка, особенностей влияния формы и размеров эмиттерного и ускоряющего электродов, параметров магнитной фокусирующей системы на процессы генерации и фокусировки электронного пучка в форвакуумной области давлений. Целесообразность исследований подтверждается обстоятельным критическим анализом реальной ситуации, сложившейся в последнее время при формировании сфокусированных электронных пучков плазменными источниками в форвакуумной области давлений для прецизионной обработки диэлектриков, их новых физических качеств.

Диссертация И.Ю. Бакеева, соответствует требованиям, предъявляемым к научным работам, направляемым в печать, содержит совокупность новых результатов и научных положений, обоснованность и достоверность которых сомнений не вызывает.

К наиболее значимым относятся:

Утверждение, что максимальная плотность эмитирующей плазмы при сохранении условий стабильного инициирования и горения разряда с полым катодом достигается оптимизацией геометрии катодной полости, обеспечивающей в случае отбора электронов из одиночного эмиссионного отверстия плотность тока эмиссии электронов из плазмы до 10 А/см².

Установление, повышение тока пучка возможно при использовании в источнике нескольких эмиссионных каналов, обеспечивающих рекордные значения величины плотности мощности уровня 10^6 Вт/см² для форвакуумных источников электронов при прецизионной электронно-лучевой обработке высокотемпературных диэлектриков на глубину до нескольких сантиметров.

Доказательство достижения минимального диаметра 0,4 мм ускоренного электронного пучка форвакуумного плазменного источника электронов в результате использования двойной магнитной фокусирующей системы, обеспечивающей уменьшение сферических аберраций.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается систематическим характером исследований, применением независимых экспериментальных методик, сопоставлением эксперимента и расчета, сравнением полученных результатов с уже признанными результатами других исследователей, демонстрацией послойного электронно-лучевого спекания керамического порошка для синтеза керамических изделий сложной формы.

Значима практическая ценность работы. Создан опытный образец форвакуумного плазменного источника электронов с двойной магнитной фокусирующей системой, обеспечивающий при давлениях рабочего газа вплоть до 30 Па генерацию электронного пучка с плотностью мощности 10^6 Вт/см². Продемонстрирована возможность применения форвакуумного источника сфокусированного электронного пучка для селективного электронно-лучевого спекания керамических порошков, прецизионной резки высокотемпературных диэлектрических материалов на глубину до нескольких сантиметров. Результаты работы могут быть использованы в других плазменно-эмиссионных приборах, функционирующих в области повышенных давлений форвакуумного диапазона давлений и имеющих аналогичные разрядные и эмиссионные системы.

При этом, как свидетельствует прилагаемый акт об использовании результатов диссертационной работы от 10.06.2019 № 120, результаты исследований использованы в ООО «Научно-производственная компания Томские электронные технологии» при выполнении комплексного проекта «Создание производства нового поколения электронно-лучевого оборудования на основе различных эмиссионных систем для сварки, пайки, обработки поверхностей и аддитивных технологий».

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

- подпись к рисунку 1.8 на с. 18, «...а – эмиссия происходит через потенциальный барьер ... в – эмиссия с открытой плазменной границы, «провисающей» в ускоряющий промежуток...» не соответствует рисунку 1.8 (а и в);

- требует пояснения (с. 54, рисунок 3.8) – почему эффективность извлечения электронов через эмиссионный канал диаметром 1,5 мм с ростом

тока разряда от 0,125 до 0,25 А резко снижается в 4 раза;

- ссылка [46] на рисунке 1.6 (б) с. 16 и ссылка [45] на с. 17 не соответствуют первоисточнику [44] из списка литературы;

- требует пояснения линейный характер роста эффективности извлечения электронов с увеличением диаметра катодной полости с 10 до 20 мм и экспоненциальное снижение эффективности извлечения с увеличением диаметра катодной полости с 20 до 45 мм (с. 53, рисунок 3.7);

- приводятся зависимости «... диаметра пучка d_b , тока пучка электронов I_b и плотности мощности пучка q от количества эмиссионных каналов N .» (рисунки 3.32 и 3.33 с. 78), при этом отсутствует схема расположения пяти и тем более 50 эмиссионных каналов;

- плазмообразующий газ нагнетался в вакуумную камеру, при этом не указан перепад давлений на эмиссионном канале диаметром 1,5 мм, не указано как измерялся эмиссионный электронный ток;

- в автореферате (с. 12-13) указано – «...при использовании пяти эмиссионных каналов эффективность извлечения электронов достигает 24 %, в то время как она не превышает 12 % для систем с одиночным каналом...», с другой стороны, в таблице 1 с. 14 отмечается «...эффективность извлечения до 25 % ... при диаметре канала 1,5 мм...»;

- в автореферате имеют место неудачные выражения: «...узел ускорения электронного пучка...» (с. 9) по существу - промежуток между катодной и анодной вставками, «...слоевая стабилизация плазменной границы...» (с. 12), «...эмиссионный электрод...», (с. 9 рисунок 1) по существу - сменная вставка в анод, «...ток разряда ток разряда...» (с.11 рисунок 5), в подписи к схемам рисунки 1 и 7 отсутствует сквозная нумерация позиций, так на рисунке 1 пропущены позиции 4, 8 и 9, на рисунке 7 пропущены позиции 4-10, 14-16, при этом сноской 1 отмечены «... полый катод..., основная..., дополнительная фокусирующая катушка...», в подписи к рисунку 7 сноски 15 и 16 имеются, на рисунке их нет.

Несмотря на отмеченные замечания. Принимая во внимание наукометрические показатели И.Ю. Бакеева (российский индекс научного цитирования – 65, научную продуктивность ученого, индекс Хирша – 4), достаточный научный уровень 23 печатных работ по теме диссертации, из них 7 в рецензируемых изданиях из перечня ВАК, в том числе 3 статьи индексируются на поисковых платформах Web of Science и Scopus с импакт-фактором 0,424 - 2,450. Апробацию результатов диссертации на 15 представительных научных форумах, из них 5 полнотекстовых докладов индексируются на поисковых платформах Web of Science и Scopus. Достаточную степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации и выдвигаемых автором для публичной защиты, их достоверность и новизну. Предложенные автором новые принципиальные технические решения строго аргументированы и критически оценены по сравнению с другими известными решениями, защищены 2 патентами на изобретения и 3 свидетельствами государственной регистрации программ.

Считаю, диссертационная работа «Генерация форвакуумным плазменным источником электронов сфокусированных непрерывных пучков для прецизионной обработки диэлектрических материалов» полностью соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, ее автор БАКЕЕВ Илья Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника.

Заведующий лабораторией физического материаловедения 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.

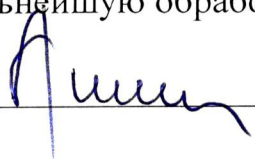
670047 Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6,

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 А.П.Семенова заверяю,
начальник организационного отдела


_____ Е.А. Карпова

« 19 » августа 2019 г.

