

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.268.04,
СОЗДАНОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» МИНИСТЕРСТВА
НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____,
решение диссертационного совета от 20.09.2019 г. № 169

О присуждении Бакееву Илье Юрьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Генерация форвакуумным плазменным источником электронов сфокусированных непрерывных пучков для обработки диэлектрических материалов» по специальности 01.04.04 – физическая электроника принята к защите 27 июня 2019 г., протокол заседания № 163, диссертационным советом Д 212.268.04, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 634050, Томск, пр. Ленина, д. 40, приказ о создании совета № 1030/нк от 30.12.2013 г.

Соискатель Бакеев Илья Юрьевич, 1992 года рождения.

В 2015 году соискатель окончил с отличием специалитет ТУСУР, в 2019 году очную аспирантуру ТУСУР, работает младшим научным сотрудником лаборатории плазменной электроники кафедры физики в ТУСУР.

Диссертация выполнена на кафедре физики ТУСУР.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Окс Ефим Михайлович, заведующий лабораторией плазменной электроники/заведующий кафедрой физики ТУСУР.

Официальные оппоненты:

Семенов Александр Петрович, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией физического материаловедения Федерального государственного учреждения науки “Институт физического материаловедения” Сибирского отделения Российской академии наук;

Егоров Иван Сергеевич, кандидат технических наук, научный сотрудник Научно-производственной лаборатории «Импульсно-пучковых, электроразрядных и плазменных технологий» Инженерной школы новых производственных технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский Томский политехнический университет",

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки “Институт электрофизики” Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, в своем положительном заключении, подписанном Гавриловым Николаем Васильевичем, доктором технических наук, член-корреспондентом РАН, заведующим лабораторией пучков частиц, утвержденном Чайковским Станиславом Анатольевичем, доктором физико-математических наук, директором института, указала, что диссертация Бакеева И.Ю. представляет собой завершённую исследовательскую работу на актуальную тему. Новые научные результаты, полученные диссертантом, являются важным вкладом в развитие физической электроники, техники генерации электронных пучков и электроннолучевых технологий. Выводы и рекомендации достаточно обоснованы. Диссертационная работа соответствует требованиям п. 10, п. 11, п. 12, п. 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а автор Бакеев Илья Юрьевич заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника.

Соискатель имеет 24 опубликованные работы, в том числе 7 в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК для опубликования основных научных результатов диссертаций, а также включенных в библиографические базы цитирования Web of Sciences и Scopus, 2

патента РФ, 17 публикаций в материалах международных и всероссийских научных конференций. Соавторы, принимавшие участие в отдельных направлениях исследований, указаны в списке основных публикаций по теме диссертации. Все опубликованные работы выполнены при непосредственном личном участии автора. Общий объем публикаций составляет 9,1 печатных листа, из них личный вклад автора диссертации – 7,9 печатных листа.

Наиболее значительные работы по теме диссертации:

1. Generation of high power density electron beams by a forevacuum-pressure plasma-cathode electron source / I. Bakeev, A. Klimov, E. Oks, A. Zenin // Plasma Sources Science and Technology. – 2018. – Vol. 27. – Issue 7. –P. 075002.

2. Double-coil magnetic focusing of the electron beam generated by a plasma-cathode electron source / I.Yu. Bakeev, A.S. Klimov, E.M. Oks, A.A. Zenin // Rev. Sci. Instrum. – 2019. – Vol. 90. – P. 023302.

3. Forevacuum plasma source of continuous electron beam / A.S. Klimov, I.Yu. Bakeev, E.M. Oks, A.A. Zenin // Laser and Particle Beams. – 2019. V.37 (2), P.203–208.

4. О возможности прецизионной электронно-лучевой обработки протяженных диэлектрических изделий плазменным источником электронов в форвакууме / И.Ю. Бакеев, А.А. Зенин, А.С. Климов, Е.М. Окс // Прикладная физика. – 2017. – №3. – С. 26–30.

На диссертацию и автореферат поступило 6 отзывов, все отзывы положительные:

1) Отзыв из Учреждения образования «Полоцкий государственный университет», подписанный профессором кафедры физики доктором технических наук Груздевым Владимиром Алексеевичем и заведующим кафедрой энергетики и электроники кандидатом технических наук Антоновичем Дмитрием Анатольевичем. Имеются замечания:

1. Последний абзац на стр. 3 автореферата. Рассеяние электронного пучка при движении электронов в области повышенного давления не зависит от типа используемого источника электронов, а только от давления и рода газа. Своей формулировкой (в этом абзаце) автор работы сужает область значимости своих результатов.

2. В автореферате отсутствует анализ влияния значительного ионного заряда формируемого электронного пучка на формирование самого пучка.

3. Первое положение, выносимое на защиту, сформулировано недостаточно корректно. Вначале в нем утверждается, что сжатие положительного столба разряда обеспечивается в результате перекрытия торца катодной полости электродом с малым отверстием, а только потом поясняется, что причиной такого сжатия является отбор электронов из разряда. Но в условиях «слоевой стабилизации эмитирующей поверхности плазмы» уход электронов из осевой области разряда также происходит, как и в источнике, даже если нет отверстия в аноде разряда. Кроме этого, влияние отбора электронов на параметры разряда и необходимость оптимизации геометрии полости лучше было бы не констатировать, а пояснить в общих чертах физические процессы этого.

2) Отзыв из Национального исследовательского Томского государственного университета, подписанный профессором кафедры физической и коллоидной химии химического факультета, доктором физико-математических наук Курзиной Ириной Александровной. Замечаний нет.

3) Отзыв из Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет», подписанный заведующим кафедрой общей и космической физики физического факультета, профессором, доктором физико-математических наук Паперным Виктором Львовичем. Имеется замечание:

Изложение результатов работы носит описательный характер, в автореферате отсутствуют какие-либо физические соображения о природе наблюдаемых эффектов, оценки параметров плазмы и электронного пучка. Это тем более странно, что в списке публикаций присутствует программа расчета движения плазмы в эмиссионном канале данного источника.

4) Отзыв из Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Северо-Кавказский федеральный университет, подписанный профессором кафедры электроники и нанотехнологий, доктором технических наук Мартенсом Владимиром Яковлевичем. Имеются замечания:

1. В положении 1, выносимом на защиту (с. 5), и в п.1 заключения (с. 16) утверждается, что повышение плотности плазмы на оси разрядной системы обеспечивается сжатием плазмы электродом с малым отверстием, который устанавливается на торце полого катода. Однако никаких результатов, подтверждающих это явление, в автореферате не приводится.

2. В качестве цели работы (с. 4) автор определяет экспериментальное исследование и численное моделирование процессов в форвакуумном плазменном источнике электронов. В разделе «Личный вклад автора» (с. 7) указано, что автором самостоятельно разработаны модели и на их основе произведены расчеты. Однако в автореферате нет никакой информации об этом.

5) Отзыв из Линчёпингского университета (Линчёпинг, Швеция), подписанный доцентом кафедры физики, химии и биологии, кандидатом технических наук Жирковым Игорем. Имеются замечания:

1. Главным замечанием можно отметить некоторую неясность с описанием конструкции источника. Так, в работе указано, что повышение плотности плазмы обеспечивается перекрытием торца электродом с малым отверстием. Но не ясно, что это за электрод, и каким образом он влияет на разряд. На рисунке 1 указана некая вставка в катод. Это и есть электрод с малым отверстием? Не ясна необходимость сохранения размеров катодной полости. Возможно ли уменьшить диаметр самой полости без использования электрода с малым отверстием? В работе постоянно указывается, что повышение эмиссионного тока обеспечивается указанным выше электродом и некой оптимизацией геометрии катодной полости. Но разве электрод с малым отверстием не является частью данной геометрии? Что автор подразумевает под оптимизацией катодной полости?

2. Среди менее важных замечаний обращает внимание то, что для одного отверстия (заключение, пункт 2) указана получаемая мощность из $1,3 \cdot 10^6$ Вт/см², но для нескольких (в следующем пункте 3) указана рекордная (?) мощность $1 \cdot 10^6$ Вт/см². Также стоит отметить наличие сразу 3 единиц (полых катодов) на рисунке 7 и отсутствие даже мимолетного указания времени для рисунка 13 (обработка кварцевого стекла).

б) Отзыв из Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерной физики СО РАН, подписанный старшим научным сотрудником лаборатории № 10, кандидатом технических наук Астрелиным Виталием Тимофеевичем. Замечаний нет.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью своими достижениями в области физики газового разряда и низкотемпературной плазмы, включая технологические применения пучков заряженных частиц и плазмы, наличием публикаций в соответствующей сфере исследования и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая научная концепция комплексной оптимизации параметров и процессов функционирования разрядной ячейки, систем извлечения, формирования и фокусировки электронного пучка, позволяющая повысить плотность мощности электронного пучка до 10^6 Вт/см² в форвакуумной области давлений и применять электронно-лучевой метод для сварки и плавления керамических материалов и стекол;

предложены оригинальные технические решения по оптимизации конфигурации электродов разрядной системы форвакуумных плазменных источников электронов на основе разряда с полым катодом, позволившие улучшить удельные эксплуатационные параметры таких устройств;

доказана возможность использования обработки плазменным источником электронов диэлектрических материалов на глубину вплоть до нескольких сантиметров, а также селективного электронно-лучевого спекания керамических порошков.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана возможность повышения плотности плазмы на оси разрядной системы с полым катодом, функционирующим в изобарическом режиме, и уменьшения сферических aberrаций электронного пучка в результате оптимизации

геометрии электродов электронного источника и магнитной фокусирующей системы;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы комплекс независимых экспериментальных методик, таких как осциллография токов и напряжений, зондовая диагностика параметров плазмы, численные оценки и компьютерное моделирование, сканирующая электронная микроскопия и методы энергодисперсионного анализа;

изложены доказательства эффективной обработки плазменным источником стекла, керамических материалов и порошков;

раскрыты условия, обеспечивающие повышение удельной мощности сфокусированного магнитным полем электронного пучка в области повышенных давлений;

изучены факторы, обеспечивающие повышение плотности эмиссионной плазмы в разрядной системе с полым катодом, функционирующей в изобарическом режиме, и существенно улучшающие эффективность магнитной фокусировки электронного пучка при повышенных давлениях рабочего газа;

проведена модернизация моделей распространения газоразрядной плазмы в эмиссионном канале, эмиссии электронов из плазмы и формирования электронного пучка, а также магнитной фокусировки электронного пучка в условиях повышенных давлений рабочего газа.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены: методы повышения удельных параметров электронного пучка для электронных источников, выпускаемых Научно-производственной компанией Томские электронные технологии «ТЭТА»;

определены перспективы использования форвакуумных плазменных источников сфокусированного электронного пучка в технологиях электронно-лучевой обработки высокотемпературных непроводящих материалов;

создана система практических рекомендаций для проектирования форвакуумных плазменных источников электронов на основе разрядных систем с

полым катодом, обеспечивающих достижение плотности мощности пучка до 10^6 Вт/см² в диапазоне давлений уровня 30 Па;

представлены методические рекомендации по способам и режимам электронно-лучевой резки изделий из керамики и кварцевого стекла, а также селективного электронно-лучевого спекания керамических порошков.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты характеризуются удовлетворительным совпадением экспериментальных данных с результатами численного моделирования и теоретическими оценками, а также практической реализацией полученных научных положений и выводов при создании электронных источников и их применении;

теоретические оценки и результаты численного моделирования процессов эмиссии электронов из плазмы, формирования, транспортировки и фокусировки электронных пучков в области повышенных давлений согласуются с экспериментальными результатами, полученными в диссертации;

идея базируется на анализе и обобщении результатов исследований плазменных источников электронов;

использованы сравнения авторских данных и данных, полученных ранее другими авторами, по исследованию и разработке плазменных источников электронов;

установлено качественное совпадение полученных соискателем результатов с литературными данными, опубликованными в независимых рецензируемых источниках;

использованы апробированные экспериментальные методики, обеспечивающие получение достоверных результатов: измерение диаметра электронного пучка с помощью метода электромагнитного отклонения электронного пучка и пересечением им двух измерительных щелей; осциллография токов и напряжений; зондовая методика измерения параметров плазмы; пирометрические измерения температуры облучаемой поверхности керамики; растровая электронная микроскопия и энергодисперсионный анализ.

Личный вклад соискателя состоит: в создании экспериментальной установки и форвакуумного плазменного источника электронов для проведения исследований; в определении задач исследований и выборе методики эксперимента, проведении экспериментов и анализе полученных в ходе экспериментов результатов; в модернизации моделей для численного моделирования и производстве на их основе расчетов. Автором самостоятельно были выдвинуты защищаемые научные положения, сделаны выводы и составлены рекомендации, на основании которых произведена модернизация форвакуумного плазменного источника сфокусированного непрерывного пучка, применяемого для обработки диэлектрических материалов. Все результаты, составляющие научную новизну диссертации и выносимые на защиту, получены автором лично. Соавторы, принимавшие участие в исследованиях, указаны в списке основных публикаций по теме диссертации.

На заседании 20 сентября 2019 г. диссертационный совет принял **решение присудить** Бакееву Илье Юрьевичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении **тайного голосования** диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 8 докторов наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 17, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета Д 212.268.04,

доктор физико-математических наук, профессор  Шандаров С.М.

Учёный секретарь диссертационного совета Д 212.268.04,

доктор технических наук, профессор  Акулиничев Ю.П.

20 сентября 2019 г.