

УТВЕРЖДАЮ:

Первый проректор Томского государственного
университета систем управления и
радиоэлектроники, д.т.н., профессор



Ю. А. Шурыгин

30 » августа 2016 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»

Диссертация «Генерация электронных пучков в форвакуумной области давлений на основе плазменно-эмиссионных разрядных систем с полым катодом» выполнена на кафедре физики ТУСУР.

В период подготовки диссертации соискатель Климов Александр Сергеевич работал в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники» на кафедре физики, в должности старшего научного сотрудника.

В 2015 г. окончил обучение в докторантуре ТУСУРа без представления диссертационной работы

Научный консультант – Окс Ефим Михайлович, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», кафедра физики, зав. кафедрой физики, д.т.н., профессор.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Оценка выполненной соискателем работы.

Диссертация Климова Александра Сергеевича является научно-квалификационной работой, в которой представлены результаты решения имеющей важное хозяйственное значение научной проблемы создания нового поколения форвакуумных плазменных электронных источников,

обеспечивающих генерацию электронных пучков различных конфигураций с рекордными параметрами, более высокими эксплуатационными характеристиками и новыми функциональными возможностями.

Личное участие соискателя в получении результатов

В опубликованных работах Климовым А.С. определена актуальность исследования [1, 3–5, 7-10, 12-16, 17, 19, 20], подготовлены и проведены эксперименты [1, 4, 8-15, 17, 18, 21, 22], составлена физико-математическая модель и проведены расчеты [5, 13, 14, 23], проанализированы результаты и сделаны выводы [1-10, 12-14, 16-20, 22, 23], подготовлен полностью текст статьи [1, 4, 8, 12-15, 20, 22, 23], подготовлена часть публикуемого текста [2, 3, 5-7, 9-11, 16-19, 21]. Соавторы, принимавшие участие в отдельных направлениях исследований, указаны в списке основных публикаций по теме диссертации. Все результаты, составляющие научную основу диссертации и выносимые на защиту, получены Климовым А.С. лично.

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Подтверждается систематическим характером исследований, использованием независимых дублирующих экспериментальных методик, удовлетворительным совпадением расчетных зависимостей полученных на основе моделирования и моделей с экспериментальными данными и величинами, а также практической реализацией научных положений и выводов при создании и применении форвакуумных плазменных электронных источников, как в нашей стране, так и за рубежом.

Научная новизна работы заключается в том, что

1. Для источников электронов с плазменным катодом, функционирующих в форвакуумной области давлений, выявлены особенности процессов эмиссии электронов из плазмы, формирования и транспортировки непрерывных электронных пучков различных конфигураций.

2. Определены и реализованы условия, обеспечивающие расширение рабочего диапазона давлений форвакуумных плазменных источников электронов в область более высоких значений, а также достижение максимальных удельных и интегральных параметров электронных пучков.

3. Установлены основные физические механизмы, обуславливающие процессы генерации пучковой плазмы и нейтрализации отрицательного заряда, приносимого ускоренными электронами на облучаемую диэлектрическую мишень, и обеспечивающие, таким образом, возможность эффективной электронно-лучевой обработки электрически непроводящих материалов, в том числе высокотемпературных керамик.

Практическая значимость и ценность научных работ соискателя.

1. Результаты проведенных комплексных исследований вносят существенный вклад в понимание физических процессов генерации плазмы в разрядных системах с полым катодом, эмиссии электронов, формирования, ускорения и транспортировки электронных пучков в области повышенных давлений газа форвакуумного диапазона.

2. Решена крупная научно-техническая задача, заключающаяся в создании нового поколения форвакуумных плазменных источников электронов, обеспечивающих генерацию электронных пучков различных конфигураций с рекордными параметрами, более высокими эксплуатационными характеристиками и новыми функциональными возможностями.

3. Возможности электронно-лучевых технологий существенно расширены за счет вовлечения в номенклатуру обрабатываемых изделий диэлектрических материалов, в том числе и высокотемпературных керамик.

4. Полученные результаты в настоящее время используются при разработке электронно-лучевого оборудования и могут быть использованы при разработке широкого класса электронно-лучевых технологических установок, имеющих аналогичные разрядные структуры и функционирующих в области повышенных давлений.

5. Результаты исследований использованы при выполнении работ по 14-ти проектам, поддержанным грантами Российского фонда фундаментальных исследований №№05-02-98000, 05-08-01319, 08-08-12005, 09-08-99023, 10-08-00257, 11-08-00074, 11-08-12052, 11-08-98004, 12-08-00074-а, 12-08-31043, 14-08-00047, 14-08-00775, 15-08-00871, 15-38-20264; Федеральными целевыми программами «Электронно-лучевой синтез оксидных керамических материалов» 2012-2013 гг. ГК№14.В37.21.0935 и «Исследование керамических материалов синтезированных облучением электронным пучком» 2012-2013 гг. ГК№14.В37.21.1162; Грантом финансово-хозяйственного управления Администрации Томской области ГК №572 от 01.11.2011 «Электронно-лучевая обработка керамических материалов»; Аналитической ведомственной целевой программой (АВЦП) «Развитие научного потенциала высшей школы» № 2.1.2/1951 «Физические основы электронно-лучевой обработки диэлектрических материалов в системах с плазменным катодом» (2009-2011), АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» №7.3101.2011 «Научные основы технологий синтеза и модификации керамических материалов электронными пучками, формируемыми плазменными источниками в области повышенных давлений» (2012-2014), грантом Минобрнауки №3.49.2014/К «Создание нового поколения плазменных источников электронов, функционирующих в области

повышенных давлений среднего вакуума, для электронно-лучевой обработки диэлектрических материалов», грантом Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ №14.Z57.16.6700-НШ, а также стипендией Президента Российской Федерации молодым учёным и аспирантам, осуществляющим перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики 2012-2014 гг. и 2015-2017 гг.

6. Разработанные в результате выполнения работы технические решения защищены 8-ю Патентами РФ, в том числе получено 3 патента на изобретение (№2434726 Способ электронно-лучевой сварки керамики, №2516532 Способ спекания изделий диэлектрической керамики, №2515722 Способ изготовления трубчатого соединения алюмооксидной керамики с металлом) и 5 патентов на полезные модели (№116734 Газоразрядный электронный источник, №148124 Держатель образцов для электронно-лучевого спекания непроводящей керамики, №156057 Форвакуумный плазменный электронный источник ленточного пучка, №158153 Приспособление для размещения спекаемых компактов, №159299 Приспособление для размещения спекаемого компакта).

Специальность, которой соответствует диссертация

Диссертационная работа Климова Александра Сергеевича по своему содержанию соответствует специальности 01.04.04 – Физическая электроника в области исследований «Эмиссионная электроника, включая процессы на поверхности, определяющие явления эмиссии, эмиссионную спектроскопию и все виды эмиссии заряженных частиц» (п. 1 паспорта); «Вакуумная электроника, включая методы генерирования потоков заряженных частиц, электронные и ионные оптические системы, релятивистскую электронику» (п. 3 паспорта); «Плазменная электроника, включая физические процессы в плазменных электронных приборах: СВЧ-генераторах, усилителях, плазменных (коллективных) ускорителях, плазменно-пучковых разрядах» (п. 5 паспорта); «Изучение физических основ плазменных и лучевых (пучковых) технологий, в том числе модификации свойств поверхности, нанесение тонких пленок и пленочных структур» (п. 6 паспорта).

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

Результаты диссертационной работы в полной мере опубликованы в 23 статьях в журналах, входящих в перечень ВАК РФ, в 32 текстах докладов в трудах международных и 16 всероссийских научных и научно-практических конференций и семинаров. Результаты работы легли в основу поддержанной

грантом РФФИ монографии «Форвакуумные плазменные источники электронов» написанную в соавторстве с В.А. Бурдовициным, А.В. Медовником, Е.М. Оксом, Ю.Г. Юшковым.

Результаты работ докладывались и обсуждались на 40-ой и 42-ой Международных IEEE конференциях по исследованию и применению плазмы (PPC&ICOPS 2013, Сан-Франциско, США, ICOPS 2015, Анталия, Турция), 9-ой и 11-ой международных конференциях по электронно-лучевым технологиям (Варна, Болгария, 2009, 2014 гг.), VI и VII международных конференциях «Лучевые технологии и применение лазеров» (Россия, Санкт-Петербург, 2009 и 2012 гг.), на 15-ом Международном симпозиуме по сильноточной электронике (Россия, Томск, 2008, г.), на 10-ой, 11-ой и 12-ой Международных конференциях по модификации материалов пучками частиц и потоками плазмы (Россия, Томск, 2010, 2012, 2014 гг.), 11-ой и 12-ой Международных конференциях «Газоразрядная плазма и ее применение» (Россия, Томск, 2013, 2015 гг.), на III и V Международном Крейнделевском семинаре «Плазменная эмиссионная электроника» (Россия, Улан-Удэ, 2009, 2015 гг).

Список работ, опубликованных по теме диссертации:

Статьи в журналах, включенных в Перечень ВАК.

1. Электронно-лучевое испарение керамики в форвакуумном диапазоне давлений / А. С. Климов, А. А. Зенин, Е. М. Окс, М. В. Шандриков, Ю. Г. Юшков // Прикладная физика. – 2016. – № 3. – С. 40–44.

2. Тюньков, А. В. Мониторинг масс-зарядового состава пучковой плазмы модернизированным квадрупольным анализатором в форвакуумной области давлений / А. В. Тюньков, Ю. Г. Юшков, А. С. Климов // Прикладная физика. – 2016. – № 1. – С. 96–99.

3. Особенности фокусировки электронного пучка плазменного источника в форвакуумном диапазоне давлений / А. А. Зенин, И.Ю. Бакеев, Ю.А. Бурачевский, А.С. Климов, Е.М. Окс // Письма в ЖТФ. – 2016. – Т. 42, № 13. – С. 104–110.

4. Формирование ленточного электронного пучка форвакуумным плазменным источником электронов / А. С. Климов, В. А. Бурдовицин, А. А. Гришков, Е. М. Окс, А. А. Зенин, Ю. Г. Юшков // Прикладная физика. – 2015. – № 1. – С. 35–39.

5. Особенности зарядовой нейтрализации карбида кремния при спекании электронным пучком в форвакуумной области давлений / А. С. Климов, В. А. Бурдовицин, А. А. Зенин, Е. М. Окс, О. Л. Хасанов, Э. С. Двилис, А. О. Хасанов // Письма в ЖТФ. – 2015. – Т. 41, № 15. – С. 69–74.

6. Особенности формирования сфокусированного пучка электронов форвакуумным плазменным источником при повышенных давлениях / Е. М. Окс, Ю.А. Бурачевский, В.А. Бурдовицин, А.А. Гришков, А.А. Зенин, А.С. Климов // Успехи прикладной физики. – 2013. – Т. 1, № 1. – С. 60–64.

7. Генерация стационарных электронных пучков форвакуумным плазменным источником в области давлений 100 Па / А. А. Зенин, А. С.Климов, В. А. Бурдовицин, Е.М. Окс // Письма в ЖТФ. – 2013. – Т. 39, № 10. – С. 9–14.

8. Расширение рабочего диапазона форвакуумных плазменных источников электронов в область более высоких давлений / В.А. Бурдовицин, А.К. Гореев, А.С. Климов, А.А. Зенин, Е.М. Окс // Журнал технической физики. – 2012. – Т. 82, № 8. – С. 62–66.

9. Электронно-лучевая сварка керамики с металлом с использованием форвакуумного плазменного источника электронов / А. К. Гореев, В. А. Бурдовицин, А.С. Климов, Е. М. Окс // Перспективные материалы. – 2012. – №3. – С. 77–80.

10. Особенности плавления керамики под воздействием электронного пучка / Е.В. Скрябин, В.А. Бурдовицин, А.К. Гореев, А.С. Климов, Е.М. Окс // Физика и химия обработки материалов. – 2011. – № 5. – С. 10–14.

11. Электронно-лучевая обработка керамики / А. В. Медовник, В. А. Бурдовицин, А. С. Климов, Е. М. Окс // Физика и химия обработки материалов. – 2010. – № 3. – С. 39–44.

12. Бурдовицин, В. А. О возможности электронно-лучевой обработки диэлектриков плазменным источником электронов в форвакуумной области давлений / В. А. Бурдовицин, А. С. Климов, Е. М. Окс // Письма в ЖТФ. – 2009. – Т. 35, № 11. – С. 61–66.

13. Использование разряда с неоднородным протяженным полым катодом для повышения плотности тока в форвакуумном плазменном источнике ленточного пучка электронов / А. С. Климов, Ю. А. Бурачевский, В. А. Бурдовицин, Е. М. Окс // Журнал технической физики – 2008. – Т. 78, № 4. – С. 43–46.

14. Климов, А. С. Локализация плазмы в протяженном полой катод плазменного источника ленточного электронного пучка в форвакуумной области давлений / А.С. Климов, В. А. Бурдовицин, Е. М. Окс // Известия ВУЗов. Физика. – 2007. – № 6. – С. 3–10.

15. Бурдовицин, В. А. Локализация плазмы в протяженном полой катод плазменного источника ленточного электронного пучка / В. А. Бурдовицин, А. С. Климов, Е. М. Окс // Журнал технической физики. – 2006. – Т. 76, № 10 – С. 62–65.

16. Electron beam treatment of non-conducting materials by a fore-pump-pressure plasma-cathode electron beam source / V. A. Burdovitsin, A. S. Klimov, A. V. Medovnik, E. M. Oks // Plasma Sources Sci. Technol. – 2010. – № 19. – P. 055003.

17. Electron Beam Sintering of Zirconia Ceramics / V. Burdovitsin, E. Dvilis, A. Zenin, A. Klimov, E. Oks, V. Sokolov, A. Kachaev, O. Khasanov // Advanced Materials Research. – 2014. – Vol. 872. – P. 150–156.

18. Золотухин, Д. Б. Параметры плазмы, создаваемой электронным пучком в форвакууме / Д. Б. Золотухин, А. С. Климов, А. А. Зенин // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2013. – № 4 (30). – С. 79–82.

19. Зенин, А. А. Электронно-лучевая пайка алюмооксидной керамики с металлом с применением форвакуумного плазменного источника электронов / А. А. Зенин, А. С. Климов // Доклады томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники – 2013. – Т. 2, № 1(27). – С. 10–13.

20. Казаков, А. В. Электронно-лучевой синтез диоксидциркониевой керамики / А. В. Казаков, А. С. Климов, А. А. Зенин // Доклады томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2012. – Т. 2 – 2(26). – С. 186–189.

21. Саврук, Е. В. Модификация поверхности Mn-Zn-феррита пучком низкоэнергетических электронов / Е. В. Саврук, С. В. Смирнов, А. С. Климов // Доклады томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2012. – Т. 2, 2(26). – С. 172–174.

22. Климов, А. С. Особенности функционирования плазменного электронного источника при повышенных давлениях / А. С. Климов, А. С. Жигалкина, В. А. Бурдовицин // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2011. – № 2 (24). – С. 157–160.

23. Климов, А. С. Тлеющий разряд с неоднородным полым катодом для форвакуумных плазменных источников электронов / А. С. Климов, Ю. А. Бурачевский, И. С. Жирков // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2008. – № 2 (18). – С. 53–58.

Статьи в сборниках статей и трудов конференций:

24. Особенности генерации плазмы ленточным электронным пучком в форвакуумном диапазоне давлений / А. С. Климов, А. А. Зенин, Е. М. Окс, Ю. Г. Юшков // Известия ВУЗов. Физика. – 2015. – Т. 58, №9/2. – С. 161–166.

25. Формирование сфокусированного электронного пучка плазменным источником в форвакуумном диапазоне давлений / И. Ю. Бакеев, Ю. А. Бурачевский, А. А. Зенин, Д. Б. Золотухин, А. С. Климов, Е. М. Окс // Известия ВУЗов. Физика. – 2015. – Т. 58, № 9/2 – С. 44–49.

26. Мониторинг масс-зарядового состава пучковой плазмы при давлении до 10 Па / Д. Б. Золотухин, А. С. Климов, К. П. Савкин, А. В. Тюньков, Ю. Г. Юшков // Известия ВУЗов. Физика. – 2015. – Т. 58. – №9/3. – С. 106–110.

27. Климов, А. С. Особенности формирования и транспортировки ленточного электронного пучка в форвакуумном диапазоне давлений / А. С. Климов, Е. М. Окс // Плазменная эмиссионная электроника. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН. – 2015. – С. 81–84.

28. Electron beam sintering of ceramics / A. S. Klimov, A.A. Zenin, E.M. Oks, I.O. Khasanov, E.S. Dvilis, A.O. Khasanov // Electrotechnica & Electronica. – 2014. – Vol. 49, № 5-6. – P. 315–318.

29. Климов, А. С. Форвакуумный плазменный источник ленточного электронного пучка с повышенной плотностью тока на основе разряда с протяженным полым катодом / А. С. Климов, В. А. Бурдовицин, Е. М. Окс // Труды III международного крейделевского семинара «Плазменная эмиссионная электроника». – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2009. – С. 105–111.

30. Особенности транспортировки электронного пучка, генерируемого плазменным источником в форвакуумной области давлений / А. А. Зенин, А. С. Климов, Д. Б. Золотухин, Е. М. Окс // Известия ВУЗов. Физика. – 2014. – Т. 57, № 3/3. – С. 136–140.

31. Климов, А. С. Тепловые процессы при спекании керамики с использованием плазменного электронного источника / А. С. Климов, А. А. Зенин, А. С. Жигалкина // Известия ВУЗов. Физика. – 2014. – №3/3. – С. 176–181.

32. Sintering of Alumina Ceramics Using Plasma Electron Source / A. A. Zenin, A. S. Klimov, A. V. Kazakov, E. M. Oks, E. S. Dvilis, O. L. Khasanov // Изв. ВУЗов. Физика. – 2012. – №12/3. – С. 216–219.

33. Features of functioning plasma electron source based on discharge with hollow cathode at high pressure / A. A. Zenin, A.S. Klimov, A.V. Kazakov, V.A. Burdovitsin, E.M. Oks // Известия ВУЗов. Физика. – 2012. – Т. 55, № 12/3. – С. 220–222.

34. Electron beam treatment of ceramics / V.A. Burdovitsin, Yu.A. Burachevsky, E.M. Oks, A.S. Klimov, A.V. Medovnik // Beam Technologies and Laser Application: Proceedings of the six international scientific and technical conference. Saint-Petersburg: Publishing house SPbSPU, 2009. – P. 249–254.

35. Электронный пучок в форвакууме – инструмент для обработки керамики / Е. М. Окс В.А. Бурдовицин, А.А. Зенин, Ю.Г. Юшков, А.С. Климов, А.В. Медовник // Beam Technologies and Laser Application: Proceedings of the seven international scientific and technical conference. – SPb.: Publishing house SPbSPU, 2013. – P. 287–293.

36. Ribbon beam generation by plasma cathode electron source / V.A. Burdovitsin, Yu.A. Burachevsky, A.S. Klimov, E.M. Oks, A.V. Tjunkov // Electrotechnica & Electronica. – 2009. – Vol. 44, № 5-6. – P. 198–200.

37. Electron beam processing of dielectrics by fore-pump plasma cathode electron source / V.A. Burdovitsin, A. S. Klimov, E.M. Oks, Yu. A. Burachevsky, A.V. Medovnik, A.K. Goreev // Electrotechnica & Electronica. – 2009. – Vol. 44, № 5-6. – P. 195–197.

Патенты, свидетельства о регистрации программного продукта:

38. Патент РФ №2434726. Способ электронно-лучевой сварки керамических деталей / Бурдовицин В. А., Климов А. С., Окс Е. М., Медовник А. опубл. 27.11.2011, Бюл. № 33.

39. Патент РФ №116734. Газоразрядный электронный источник / Бурдовицин В. А., Гореев А. К., Зенин А. А., Климов А. С., Окс Е. М. опубл. 27.05.2012, Бюл. № 15. – 3 с.: ил.

40. Патент РФ №2516532. Способ спекания изделий из диэлектрической керамики / Бурдовицин В.А., Зенин А. А., Климов А.С., Окс Е.М. опубл. 20.05.2014, Бюл. № 14.

41. Патент РФ №2515722. Способ изготовления трубчатого соединения алюмооксидной керамики с металлом / Бурдовицин В. А., Зенин А. А., Климов А. С., Окс Е. М. опубл. 27.12.2013, Бюл. № 36.

42. Патент РФ №148124. Держатель образцов для электронно-лучевого спекания непроводящей керамики / Климов А.С., Зенин А.А., Окс Е.М. опубл. 27.11.2014, Бюл. № 33.

43. Патент РФ №156057. Форвакуумный плазменный электронный источник ленточного пучка / Климов А.С., Бурдовицин В.А., Зенин А.А., Окс Е.М. опубл. 27.10.2015 Бюл. № 30.

44. Патент РФ №158153. Приспособление для размещения спекаемых компактов / Климов А.С., Зенин А.А., Окс Е.М. опубл. 20.12.2015, Бюл. № 35.

45. Патент РФ №159299. Приспособление для размещения спекаемого компакта / Климов А. С., Зенин А. А., Окс Е. М. опубл. 10.02.2016, Бюл. № 4.

Диссертация «Генерация электронных пучков в форвакуумной области давлений на основе плазменно-эмиссионных разрядных систем с полым катодом» Климова Александра Сергеевича рекомендуется к защите на

соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника.

Заключение принято на заседании научного семинара кафедры «Физики», с привлечением специалистов кафедр «Электронные приборы», «Физическая электроника», а также научных сотрудников лаборатории плазменных источников, института сильноточной электроники СО РАН.

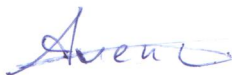
Присутствовало на заседании 23 чел., в том числе докторов наук – 6, кандидатов наук – 12. Результаты голосования: «за» – 23 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 21 от « 30 » 08 2016 г.

Председатель семинара



Бурдовицин Виктор Алексеевич
доктор технических наук, профессор,
каф. физики

Секретарь семинара



Медовник Александр Владимирович,
кандидат технических наук,
доцент каф. физики