

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 537.533:621.384(043.3)

ЗАЛЕССКИЙ

Виталий Геннадьевич

ЭМИССИОННЫЕ И ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ПЛАЗМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОНОВ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
доктора физико-математических наук

по специальности
01.04.04 – физическая электроника

Минск 2015

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

Научная работа выполнена в УО «Полоцкий государственный университет».

Научный консультант —

Груздев Владимир Алексеевич,

доктор технических наук, профессор,
лауреат Государственной премии России в области науки и техники, профессор кафедры физики УО «Полоцкий государственный университет».

Официальные оппоненты:

Асташинский Валентин Миронович

доктор физ.-мат. наук, член-корреспондент НАН Беларуси,
заместитель директора по научной работе и инновационной деятельности ГНУ «Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси»;

Гончаров Виктор Константинович

доктор физ.-мат. наук, профессор,
заведующий отделом радиофизики НИУ «Научно исследовательский институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета;

Кундас Семён Петрович

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры ЮНЕСКО «Энергосбережение и возобновляемые источники энергии» Белорусского национального технического университета.

Оппонирующая организация —

ГНУ «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси».

Защита состоится 27 февраля 2015 г. в 10-00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.01.10 при Белорусском государственном университете по адресу: 220030, г. Минск, ул. Ленинградская, 8 (корпус юридического факультета), ауд. 407; телефон учёного секретаря (+375 17) 209 57 09.

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной библиотеке Белорусского государственного университета

Автореферат разослан «___» января 2015 г.

Учёный секретарь совета по защите диссертаций
кандидат технических наук

А.Ф. Романов

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Широкий спектр технологических возможностей электронно-лучевого воздействия определил использование электронных пучков во многих технологических процессах, в том числе для резки, плавки, сварки и термической обработки: закалки, упрочнения и модификации поверхности, в плазмохимии. Одновременно с исследованием физических основ обработки материалов электронными пучками сформировалось научное направление по созданию электронно-оптических систем (ЭОС) формирования электронных пучков с требуемыми параметрами.

Опыт широкой технологической эксплуатации ЭОС с термокатадами выявил ряд их существенных недостатков: недолговечность, требуемое низкое давление остаточных газов, интенсивное разрушение термокатодов парами некоторых обрабатываемых материалов. Это актуализировало исследования альтернативных термокатодным ЭОС на основе плазменных образований, в частности, на основе высоковольтного тлеющего разряда (ВТР) с основным ускорением электронов в анодном падении потенциала, на основе ВТР с основным ускорением электронов в катодном падении потенциала и источников электронов с плазменным эмиттером. Наиболее близкими концептуально к ЭОС с термокатадами оказались источники электронов с плазменным эмиттером (ИЭП, ПИЭЛ, или ЭОС с плазменным эмиттером).

Накопленные результаты исследований и практического применения ЭОС с плазменным эмиттером показали, что они, во-первых, способны формировать электронные пучки с параметрами (яркость, плотность мощности), приближающимися к параметрам пучков ЭОС с термокатадами. Во-вторых, к ЭОС с плазменным эмиттером применимы принципы регулирования и стабилизации параметров пучка, концептуально подобные разработанным для ЭОС с термокатадами. В-третьих, вследствие меньшей чувствительности ЭОС с плазменным эмиттером к вакуумным условиям и парам обрабатываемого материала, они способны обеспечить в идентичных технологических условиях более высокую долговечность (наработку на отказ) и производительность электронно-лучевого оборудования, чем ЭОС с термокатодом. В-четвертых, физические принципы, реализуемые в ЭОС с плазменным эмиттером, позволяют формировать не только сфокусированные электронные пучки, но и электронные пучки большого сечения, а также ионные пучки.

Однако до настоящего времени создано всего несколько типов таких ЭОС, пригодных для применения в промышленности. Это обусловлено, в частности, недостаточностью теоретического анализа физических основ формирования пучков в ЭОС с плазменным эмиттером. Поэтому дальнейшее развитие теории таких ЭОС, исследование путей улучшения их эксплуатационно-технологических характеристик, а также разработка новых типов плазменных эмиттеров представляются актуальными.

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа выполнялась в УО «Полоцкий государственный университет» по заданиям Республиканских научно-технических программ, БРФФИ, а также в рамках совместных проектов с российскими научными организациями:

1. Государственная программа фундаментальных и опытно-исследовательских работ «Плазмодинамика 02» (№ гос. регистрации 2002801) «Теоретические и экспериментальные исследования эффективности переключения электронного тока в плазменных источниках электронов с замагниченной эмитирующей плазмой» (2003 – 2005 гг.).

2. Государственная программа прикладных научных исследований «Материалы в технике», задание 1.36.2 (№ гос. регистрации 20072125) «Разработка процессов и технологических основ получения изделий из отходов тугоплавких металлов электронно-лучевым переплавом» (2007 – 2010 гг.).

3. Государственная программа научных исследований «Конвергенция», задание 2.4.03 (№ гос. регистрации 20111981) «Разработка принципов формирования электронных пучков с помощью плазменных образований» (2011 – 2013 гг.).

4. Государственная программа научных исследований «Функциональные и машиностроительные материалы, наноматериалы» подпрограмма «Материалы в технике», задание 4.3.03 (№ гос. регистрации 20111413) «Исследование и разработка технологических параметров получения модифицированных поверхностных структур с целью упрочнения и повышения износостойкости инструмента и деталей машин» (2011 – 2013 гг.).

5. Совместный проект УО «ПГУ» и РУП «МТЗ», г. Минск (договор № 24396 от 01.11.04) «Разработка и изготовление опытного образца электронно-лучевой пушки с плазменным источником электронов» (2004 – 2008 гг.).

6. Проект по заданию инновационного фонда Министерства образования РБ (договор № 05-54 от 17.04.10, № гос. регистрации 20102193) «Разработать опытный образец отечественного электронно-лучевого энергокомплекса на базе пушки с плазменным эмиттером» (2010 – 2012 гг.).

7. Совместный проект УО «ПГУ» и Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (г. Новосибирск, Россия, договор № Ф10Р-219 от 01.05.10, № гос. регистрации 20101999) в рамках гранта БРФФИ и РФФИ «Вычислительные технологии решения задач анализа и синтеза электронно-оптических систем» (2010 – 2012 гг.).

8. Совместный проект УО «ПГУ» и ЗАО «Институт плазмохимических технологий», (г. Новосибирск, Россия, договор № 13155 от 10.04.2013) «Численное моделирование электронно-оптической системы электростатического формирования пучка и расчёт на его основе оптимальной геометрии электронно-оптической системы с целью повышения токопрохождения в пушке с плазменным эмиттером» (2013 г.).

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

Цель и задачи исследования

Целью диссертационного исследования является разработка теоретических основ формирования электронных пучков в системах с плазменным эмиттером и создание на их основе новых типов плазменных источников электронов. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Провести анализ эмиссионных и ионизационных процессов в ЭОС с плазменным эмиттером, установить взаимосвязь между этими процессами и степень их влияния на условия формирования эмитирующей плазмы и горения разряда.

2. Разработать физико-математические модели и на их основе алгоритмы, учитывающие совместное влияние ионизационных процессов в ускоряющем промежутке, подвижности и формы плазменной поверхности, а также процессов в разряде на свойства плазменного эмиттера, условия формирования пучка и свойства электронно-оптической системы.

3. Экспериментально и теоретически исследовать влияние основных факторов, таких как повышенное (относительно типичных для ИЭП значений) давление в ускоряющем промежутке, влияние геометрии системы формирования пучка и потенциала эмиттерного электрода на условия формирования эмитирующей плазменной поверхности и ток эмиссии и, учитывая это влияние, разработать физические принципы формирования электронных пучков в источниках с плазменным эмиттером.

4. Разработать системы диагностики (программное обеспечение и аппаратуру) параметров электронно-оптических систем (эмиттанса, яркости, расходимости, положении кроссовера и др.) и эмитирующей плазмы и провести сравнительный анализ параметров пучков, формируемых в различных источниках с плазменным эмиттером.

5. На основе разработанных принципов формирования электронных пучков в ЭОС с плазменным эмиттером предложить способы повышения эффективности таких систем, создать новые конструкции ИЭП различного технологического назначения и исследовать их характеристики для оценки технологической пригодности таких источников.

Объект исследования – генераторы эмитирующей плазмы, электронно-оптические системы с плазменным эмиттером и электронные пучки, формируемые в них.

Предмет исследования – физические принципы формирования эмиссионного тока и эмитирующей плазмы, а также характеристики электронных пучков в системах с плазменным эмиттером.

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

Научная новизна

- Концепция плазменного эмиттера, включающая разработанные принципы генерации эмитирующей плазмы, формирования эмитирующей плазменной поверхности и эмиссионного тока, а также физико-математические модели процессов в ИЭП и созданные на их основе алгоритмы для численного моделирования процессов в ЭОС с плазменным эмиттером;
- Дрейфовый механизм формирования эмиссионного тока, обуславливающий переключение электронного тока в газоразрядной структуре и возмущение эмитирующей плазмы отбором электронов в ИЭП, основанный на гипотезе о существенной, зависящей от эффективности извлечения, роли плазменных электронов в формировании плазмы и электронного пучка;
- Физические принципы использования в ИЭП изолированных эмиттерных электродов и способы повышения эффективности извлечения в ИЭП;
- Способ и аппаратура для экспресс-диагностики параметров эмитирующей плазмы и пучков электронов, формируемых в системах с плазменным эмиттером, основанные на анализе трёхмерных фазовых портретов электронных пучков;
- Конструкции плазменных источников электронов различного технологического назначения, в которых реализованы разработанные принципы генерации плазмы и формирования пучков.

Положения, выносимые на защиту

1. Разработанная концепция плазменного эмиттера, включающая модели процессов в ускоряющем промежутке, эмиссионном канале и генераторе плазмы, а также совокупность созданных соответствующих согласованных алгоритмов, позволяют реализовать численное моделирование эмитирующей плазменной поверхности и фазовых портретов электронных пучков, осуществлять анализ ранее не рассматриваемых в известных моделях процессов в ЭОС с плазменным эмиттером в стационарном и нестационарном режимах, проводить оптимизацию таких ЭОС по току эмиссии или расходимости пучка.
2. Электронно-оптические системы с катодным, анодным или промежуточным («плавающим») потенциалом эмиттерного электрода принципиально отличаются условиями формирования эмитирующей поверхности плазмы, проникающей в эмиссионный канал, позволяющими: в ЭОС с изолированным эмиттерным электродом увеличить эффективность извлечения до 60% (в 1,5 – 2 раза выше в сравнении с известными ЭОС с катодным потенциалом эмиттерного электрода) и существенно снизить вероятности пробоев высоковольтного промежутка; в ЭОС с анодным потенциалом эмиттерного электрода формировать пучки с высокой яркостью и стабильностью геометрии при изменении энергии электронов пучка.

3. Временная и пространственная динамика ионного объёмного заряда и вторичной плазмы, возникающей в эмиссионном канале ИЭП при превышении критического давления (0,4 – 0,8 Па в зависимости от параметров эмитирующей плазмы и геометрии ЭОС), приводит к периодическому процессу изменения формы и смещения поверхности эмитирующей (первичной) плазмы из эмиссионного канала в разрядную камеру ИЭП вплоть до подавления и последующего восстановления разряда, что составляет суть установленного физического механизма экспериментально обнаруженной модуляции эмиссионного тока в мегагерцовом диапазоне частот.

4. Формирование эмиссионного тока в ИЭП с анодным потенциалом эмиттерного электрода обусловлено существованием дополнительного (дрейфового) механизма, отличающегося от известного диффузионного (связанного с осевой неоднородностью распределения концентрации плазмы), возникновением в плазме градиента потенциала порядка 100 В/м, вызывающего дрейф электронов из всего объёма плазмы в область эмиссионного канала, вследствие чего обеспечивается увеличение вклада плазменных электронов в ионизационные процессы формирования эмитирующей плазмы в ИЭП, сравнимого по интенсивности со вкладом γ_{ie} -электронов (эмитированных катодом в результате ионно-электронной эмиссии), и достигается существенное (более 40% для ИЭП, формирующих фокусируемые электронные пучки) увеличение эффективности извлечения электронов в ИЭП такого типа.

5. Новые принципы конструирования ИЭП, заключающиеся в создании условий для реализации установленных физических механизмов повышения эффективности и улучшения эксплуатационно-технологических характеристик плазменных источников, позволяют создавать оригинальные конструкции ИЭП с изолированным или анодным потенциалами эмиттерного электрода, которые обладают широким спектром возможностей как для реализации традиционных электронно-лучевых технологий, так и решения специфических технологических задач.

Личный вклад соискателя учёной степени

Личный вклад соискателя заключается в постановке задач исследований, в непосредственном выполнении основных исследований, анализе и интерпретации полученных результатов. Научный консультант д.т.н., проф. В.А. Груздев участвовал в выборе направления и обсуждении полученных результатов, оказывал помощь при формулировании выводов. Ряд экспериментов проводились совместно с к.т.н. Ю.П. Голубевым, к.т.н. Д.А. Антоновичем, к.т.н. А.С. Снарским и к.т.н. В.И. Сороговцом. Изготовление экспериментальной аппаратуры осуществлялось совместно с И.С. Русецким. В разработке отдельных моделей и алгоритмов моде-

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

лирования процессов в ЭОС принимала участие к.т.н. О.Н. Петрович. Программное обеспечение на основе разработанных алгоритмов создано к.т.н. О.Н. Петрович и Д.Г. Руголем. Остальные соавторы, фамилии которых указаны в списке публикаций, принимали участие в разработке отдельных вопросов, не относящихся к научным положениям диссертации. Все результаты, составляющие научную новизну диссертации, получены автором лично.

Апробация диссертации и информация об использовании её результатов

Результаты исследований, включённые в диссертацию, докладывались автором на следующих конференциях и семинарах:

1. II, III, IV Международном крейнделевском семинаре по плазменной эмиссионной электронике, 2006, 2009, 2012, г. Улан-Уде, Россия;
2. II, III, IV, V, VI International Conference on Plasma Physics and Plasma Technology, 2001, 2003, 2006, 2009, 2012, Minsk, Belarus;
3. VII, IX, X, XI International Conference on Electron Beam Technologies, 2003, 2009, 2012, 2014, Varna, Bulgaria;
4. X Всероссийском семинаре по проблемам теоретической и прикладной электронной и ионной оптики, 2011, г. Москва, Россия;
5. 21st International Conference on Plasma Physics and Technology, 2004, Prague, Czech;
6. V симпозиуме Беларуси, Сербии и Черногории по физике и диагностике лабораторной и астрофизической плазмы (ФДП-V 2004), 2004, Минск, Беларусь;
7. Международной научно-технической конференции «Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств», 2008, Новополоцк, Беларусь;
8. I и II Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии в машиностроении», 2011, 2013, г. Новополоцк, Беларусь.

Разработанные конструкции источников запатентованы и прошли апробацию на ОАО «Минский тракторный завод» и в лаборатории электрофизики Государственного научного учреждения «Физико-технический институт НАН Беларуси».

Опубликование результатов диссертации

Основные результаты диссертации опубликованы в 73 научных работах, в том числе в 1 монографии (объёмом 11,57 а.л.) и 35 статьях в научных журналах (общим объёмом 28,9 а.л.), удовлетворяющих требованиям п. 18 Положения о присуждении учёных степеней и присвоении учёных званий в Республике Беларусь, а также в 2 монографиях (Полоцк-Минск, 2005; С.-Петербург, 2012), 25 статьях в сборниках материалов и трудов научных конференций, 10 тезисах.

На основании результатов диссертации получено 5 патентов. Общий объём материалов, опубликованных по теме диссертации, составляет 59,3 а.л.

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

Структура и объём диссертации

Диссертационная работа состоит из перечня сокращений и условных обозначений, введения, общей характеристики работы, шести глав с выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка, приложений. Полный объём диссертации составляет 316 страниц, в том числе 85 рисунков на 70 страницах, 4 приложения на 4 страницах. Библиографический список состоит из 301 наименования, включая собственные публикации автора.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава «Исходная концепция плазменного эмиттера электронов» содержит анализ сложившейся физической модели ИЭП и основных физических процессов, определяющих энергетическую и эксплуатационно-технологическую эффективность ЭОС с плазменным эмиттером. Рассмотрены механизмы переключения электронного тока из плазмы в ускоряющий промежуток ИЭП на основе теории зонда в невозмущённой плазме с бесконечной эмиссионной способностью; факторы, влияющие на эффективность переключения; условия формирования эмитирующей плазменной поверхности и влияние параметров эмиссионного канала на параметры эмитирующей плазмы и ток эмиссии. Обсуждаются основные факторы и процессы в ЭОС с плазменным эмиттером, определяющие электронно-оптические характеристики электронного пучка, ионизационные процессы в основных типах газоразрядных структур (генераторах эмитирующей плазмы), используемых в ИЭП, а также способы регулирования и стабилизации параметров электронного пучка.

На основе анализа характеристик практически реализованных ИЭП выявлен ряд особенностей, которые не объясняются сложившимися физическими представлениями, обоснованы и сформулированы конкретные задачи исследований, необходимые для дальнейшего развития концепции плазменного эмиттера, создания плазменных источников нового типа и улучшения характеристик разработанных ранее типов ИЭП.

Во второй главе «Моделирование электронно-оптических свойств ИЭП» предложены модели физических процессов в ускоряющем промежутке и алгоритмы численного моделирования ЭОС с плазменным эмиттером, учитывающие их особенности, представлены результаты решения стационарной и нестационарной задач моделирования таких ЭОС в условиях повышенного (порядка 10^{-1} Па) давления в различной геометрии электродов ЭОС и при различных потенциалах эмиттерного электрода.

В предложенных алгоритмах движение электронов пучка описывается известным методом деформируемых ламинарных трубок тока с разбиением

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Монографии

1. Закономерности электронно-лучевого воздействия на борсодержащие материалы и принципы оптимизации электронно-лучевого оборудования для технологий упрочнения и восстановления / Ф.И. Пантелеенко, В.А. Груздев, А.С. Снарский, В.Г. Залесский, В.И. Сороговец – Минск : Технопринт; Полоцк : ПГУ, 2005. – 120 с.
2. Технологические процессы и системы в микроэлектронике / А. П. Достанко, В.Г. Залесский, С.В. Русецкий, В.Л. Ланин, И.Б. Петухов, Д.А. Голосов, Е.В. Телеш, С.В. Бордусов, С.М. Завадский; под общей ред. А.П. Достанко. – Минск : Беспринт, 2009. – 200 с.
3. Плазменные эмиссионные системы с ненакаливаемыми катодами для ионно-плазменных технологий / В.Т. Барченко, О.Л. Вересов, О.И. Гребнев, В.А. Груздев, В.Г. Залесский, А.А. Лисенков; под общ. ред. В.Т. Барченко. – СПб. : Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. – 220 с.

Статьи в журналах

4. Груздев, В.А. Плазменный источник электронов с пучком большого сечения / В.А. Груздев, Ю.П. Голубев, В.Г. Залесский // Инженерно-физ. журн. – 2002. – Т. 75, № 3. – С. 166–170.
5. Залесский, В.Г. Управление параметрами модифицируемого слоя при электронно-лучевой обработке / В.Г. Залесский, А.Г. Маняк, Д.Г. Руголь // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2003. – № 4. – С. 120–124.
6. Плазменные источники электронов – перспективные устройства для электронно-лучевых технологий / В.А. Груздев, В.Г. Залесский, Д.А. Антонович, Ю.П. Голубев // Мир технологий. – 2003. – № 1. – С. 45–54.
7. Возможности и перспективы использования плазменных источников электронов для реализации электронно-лучевых технологий в машиностроении / В. А. Груздев, В. Г. Залесский, Д. А. Антонович, Ю. П. Голубев // Тяжелое машиностроение. – 2004. – № 9. – С. 25–32.
8. Антонович, Д.А. Генератор эмитирующей плазмы как сложная нагрузка систем электропитания плазменных источников электронов / Д.А. Антонович, В.Г. Залесский, И.С. Русецкий // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2004. – № 11. – С. 86–90.
9. Universal plasma electron source / V.A. Grusdev, V.G. Zaleski, D.A. Antonovich, Yu.P. Golubev // Vacuum. – 2005. – № 77. – P. 399–405.
10. Груздев, В.А. Анализ возможности стабилизации эмиссионного тока плазменных эмиттеров при возмущении плазмы отбором электронов / В.А. Груз-

дев, Ю.П. Голубев, В.Г. Залесский // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2005. – № 4. – С. 103–109.

11. Источник питания плазменного эмиттера / Д.А. Антонович, В.А. Груздев, В.Г. Залесский, И.С. Русецкий // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2005. – № 4 – С. 122–127.

12. Блок питания разряда плазменного источника электронов. / Д.А. Антонович, В.А. Груздев, В.Г. Залесский, И.С. Русецкий / Приборы и техника эксперимента. – 2006. – № 5. – С. 130–132.

13. Залесский, В.Г. Электронно-лучевая обработка быстроизнашивающихся деталей / В.Г. Залесский, Ю.П. Голубев, Ю.В. Мазаник // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2005. – № 10. – С. 63–66.

14. Автоматизированная система управления параметрами электронно-лучевой пушки с плазменным эмиттером / В.Г. Залесский, П.В. Павловец, Д.Г. Руголь, И.С. Русецкий // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2006. – № 10. – С. 83–89.

15. Груздев, В.А. Моделирование температурного поля в поверхностном слое при импульсном электронно-лучевом воздействии / В.А. Груздев, В.Г. Залесский, Д.Г. Руголь // Инженерно-физ. журн. – 2007. – № 2. – С. 134–142.

16. Влияние давления газа на эмиссионные свойства плазменного эмиттера / Д.А. Антонович, В.Г. Залесский, Д.Г. Руголь, И.С. Русецкий // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2007. – № 4. – С. 122–127.

17. Груздев, В.А. Физические процессы формирования электронных пучков в плазменных источниках / В.А. Груздев, В.Г. Залесский // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2007. – № 9. – С. 2–14.

18. Zaleski, V.G. Peculiarities of plasma electron sources operation at high pressures / V. G. Zaleski, D.A. Antonovich // J. Phys. D, Appl. Phys. – 2007. – № 40. – P. 7771–7777.

19. Антонович, Д.А. Эмиссионные свойства плазменного эмиттера электронов / Д.А. Антонович, В.А. Груздев, В.Г. Залесский // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2008. – № 9. – С. 114–123.

20. Способ и устройство для диагностики электронно-оптических систем плазменных источников электронов / В.А. Груздев, В.Г. Залесский, Д. Г. Руголь, И.С. Русецкий // Докл. БГУИР. – 2009. – № 1 (39). – С. 71–77.

21. Программно-аппаратный комплекс для диагностики электронно-оптических систем и пучков заряженных частиц / В.А. Груздев, В.Г. Залесский, Д. Г. Руголь, И. С. Русецкий // Приборы и техника эксперимента. – 2009. – № 2. – С. 177–178.

22. Груздев, В.А. Формирование эмиссионного тока в плазменных эмиттерах электронов (Emission current formation in Plasma electron emitters) /

В.А. Груздев, В.Г. Залесский // Прикладная физика. – 2009. – № 5. – С. 82–90; Plasma Physics Reports. – 2010. – Vol. 36 (13). – P. 1191–1198.

23. Antonovich, D.A. The gas-discharge structure for the formation of radial electron beams / D.A. Antonovich, V.A. Gruzdev, V.G. Zalesski // Electrotechnica and electronica (Bulgaria). – 2009. – V. 44, № 5-6. – P. 186–188.

24. Залесский, В.Г. Особенности формирования эмитирующей поверхности в плазменных источниках электронов / В.Г. Залесский, О.Н. Петрович // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2009. – № 9. – С. 69–76.

25. Залесский, В.Г. Программная компонента визуализации датчиков для автоматизированных систем управления электронно-лучевыми энергокомплексами / В.Г. Залесский, А.К. Корольков, П.В. Павловец // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2009. – № 3. – С. 127–130.

26. Залесский, В.Г. Автоматизированное управление электронно-лучевой пушкой с плазменным эмиттером, реализуемое на базе персонального компьютера / В.Г. Залесский, А.К. Корольков, П.В. Павловец // Доклады БГУИР. – 2009. – № 8 (39). – С. 57–62.

27. Способы повышения эффективности извлечения электронов в источниках с плазменным эмиттером / Д.А. Антонович, В.А. Груздев, В.Г. Залесский, И.С. Русецкий // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2010. – № 3. – С. 103–108.

28. Груздев, В.А. Плазменный источник электронов с изолированным эмиттерным электродом / В.А. Груздев, В.Г. Залесский, И.С. Русецкий // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2010. – № 9. – С. 61–67.

29. Груздев, В.А. Численное моделирование фазовой характеристики электронного пучка / В.А. Груздев, В.Г. Залесский, О.Н. Петрович // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2010. – № 9. – С. 102–110.

30. Залесский, В.Г. Энергетическая эффективность плазменных источников электронов (Energy efficiency of electron plasma emitters) / В.Г. Залесский // Прикладная физика. – 2011. – № 1. – С. 63–71; Plasma Physics Reports. – 2011. – Vol. 37 (13). – P. 1196–1201.

31. Груздев, В.А. О роли плазменных электронов в формировании газоразрядной плазмы (Role of plasma electrons in the generation of a gas discharge plasma) / В.А. Груздев, В.Г. Залесский, И.С. Русецкий // Прикладная физика. – 2012. – № 1. – С. 64–72; Plasma Physics Reports. – 2012. – Vol. 38 (13). – P. 1056–1064.

32. Залесский, В.Г. Моделирование ЭОС с плазменным эмиттером на основе метода декомпозиции расчётной области / В.Г. Залесский, О.Н. Петрович, В.М. Свешников // Прикладная физика. – 2012. – № 2. – С. 40–44.

33. Залесский, В.Г. Алгоритм оптимизации ЭОС с плазменным эмиттером на основе метода декомпозиции расчётной области / В.Г. Залесский, О.Н. Петрович, В.М. Свешников // Вестн. ХНТУ. – 2012. – № 2 (45). – С. 320–324.

34. Gruzdev, V.A. The electron gun with a plasma emitter and isolated emitter electrode / V.A. Gruzdev, V.G. Zalesski, I.S. Rusetski // Electrotechnica and Electronica (Bulgaria). – 2012. – V. 47, № 5-6. – P. 89–92.

35. Груздев, В.А. Плазменный ионно-электронный источник // В.А. Груздев, В.Г. Залесский, П.Н. Солдатенко / Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2013. – № 4. – С. 63–68.

36. Груздев, В.А. О механизме возникновения электрического поля в плазме при эмиссии электронов / В.А. Груздев, В.Г. Залесский // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2014. – № 4. – С. 103–108.

37. Антонович, Д.А. Электронно-ионный источник для реализации комбинированного воздействия на поверхность / Д.А. Антонович, В.А. Груздев, В.Г. Залесский // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2014. – № 4. – С. 113–118.

38. Gruzdev, V.A. Electron-optical characteristics of the beam generated by the electron plasma sources / V.A. Gruzdev, V.G. Zalesski // Electrotechnica and Electronica (Bulgaria). – 2014. – V. 49, № 5-6. – P. 264–268.

Доклады на конференциях

39. Plasma source of charged particles based on superdense pulse glow discharge / V.A. Grusdev, V.G. Zalesski, D.A. Antonovich, Yu.P. Golubev // Plasma Physics and Plasma Technology : proc. III Intern. Conf., Minsk, 18–22 Sept. 2000 / Institute of Molecular and Atomic Physics National Academy of Sciences of Belarus. – Minsk, 2000. – Vol. I. – P. 60–63.

40. Grusdev, V.A. Disturbance of the gas-discharge plasma by switching of electron current to a probe / V.A. Grusdev, V.G. Zalesski // Plasma Physics and Plasma Technology : proc. III Intern. Conf., Minsk, 18–22 Sept. 2000 / Institute of Molecular and Atomic Physics National Academy of Sciences of Belarus. – Minsk, 2000. – Vol. I. – P. 153–156.

41. Импульсный плазменный источник электронов / В.А. Груздев, В.Г. Залесский, Д.А. Антонович, Ю.П. Голубев // Ресурсосберегающие эко-технологии : возобновление и экономия энергии, сырья и материалов : материалы 4-й Междунар. науч.-техн. конф., Гродно, 11–13 окт. 2000 г. / ГрГУ. – Гродно, 2001. – Ч. II. – С. 19–25.

42. Залесский, В.Г. Особенности электронно-лучевого воздействия на борсодержащие износостойкие наплавленные покрытия / В.Г. Залесский, А.С. Снарский, В.И. Сороговец // Теоретические и технологические основы

упрочнения и восстановления изделий машиностроения : сб. науч. тр. / Полоц. гос. ун-т. – Минск, 2001. – С. 378–381.

43. Изучение влияния электронно-лучевого воздействия на структуру и свойства боридостали / Ф.И. Пантелеенко, В.Г. Залесский, А.С. Снарский, В.И. Сороговец // Пленки и покрытия 2001 : тр. 6-ой междунар. конф., СПб., 3–5 мая 2001 г. / СПбГТУ – СПб., 2001. – С. 582–586.

44. Gruzdev, V.A. Processes of self-organizing in plasma at simulated local infringement of its quasi-neutrality / V.A. Gruzdev, V.G. Zalesski // Nonlinear phenomena in complex systems : proc. X Annual seminar. Minsk, 15-18 May 2001 / Institute of Molecular and Atomic Physics National Academy of Sciences of Belarus. – Minsk, 2001. – P. 318–320.

45. Плазменный электронно-ионный источник для термической модификации поверхностей материалов / Д.А. Антонович, Ю.П. Голубев, В.Г. Залесский, А.Г. Маняк // Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения : сб. науч. тр. / Полоц. гос. ун-т. – Минск, 2001. – С. 369–372.

46. Golubev, Yu.P. Investigation of processes in an expander of plasma of electron sources with large cross section beam / Yu.P. Golubev, V.A. Gruzdev, V.G. Zalesski // on Plasma Physics And Plasma Technology : proc. IV Intern. Conf., Minsk, 15–19 Sept. 2003 / Institute of Molecular and Atomic Physics National Academy of Sciences of Belarus. – Minsk, 2003. – Vol. II. – P. 118–121.

47. Gruzdev, V.A. Energy balance of plasma electron emitter / V.A. Gruzdev, V.G. Zalesski, D.A. Antonovich // Proc. Int. Conf. on Plasma Physics and Technology, Prague, 14–17 June 2004. – Prague, 2004. – P. 149–151.

48. Груздев, В.А. Плазма как источник технологических электронных пучков / Д.А. Антонович, В.А. Груздев, В.Г. Залесский // ФДП-V 2004 : тр. V симп. Беларуси, Сербии и Черногории по физике и диагностике лабораторной и астрофизической плазмы, Минск, 20–23 сент. 2004 г. / ИМАФ. – Минск, 2004. – С. 187–191.

49. Применение электронных пушек с плазменным эмиттером для сварки и других электронно-лучевых технологий / В.А. Груздев, В.Г. Залесский, Д.А. Антонович, Ю.В. Мазаник, Д.Г. Руголь // Электротехнология : материалы заседаний секции «Источники питания и системы автоматического управления сварочным оборудованием» 3-й Междунар. выставки, СПб., 25–26 мая 2005 г. / СПбГТУ. – СПб., 2005. – С. 51–62.

50. Груздев, В.А. Особенности работы плазменных источников электронов (ПИЭЛ) при повышенных давлениях / В.А. Груздев, В.Г. Залесский, Д.А. Антонович // Плазменная эмиссионная электроника : тр. II Междунар.

крейнделевского семинара, Улан-Уде, 17-24 июня 2006 г. / БНЦ СО РАН. – Улан-Уде, 2006. – С. 70–78.

51. Gruzdev, V.A. Gas discharge plasma disturbance by electron extraction / V.A. Gruzdev, V.G. Zaleski, D.A. Antonovich // Plasma Physics and Plasma Technology : proc. V Intern. Conf. on, Minsk, 18-22 Sept. 2006. / Institute of Molecular and Atomic Physics National Academy of Sciences of Belarus. – Minsk, 2006. – Vol. I. – P. 154–157.

52. Залесский, В.Г. Перспективы применения электронно-лучевых технологий в тракторостроении / В.Г. Залесский, В.А. Лактионов, Ю.В. Мазаник // НТК «Сварка и резка материалов» : сб. докл., Минск, 27–30 марта 2007 г. / Ин-т сварки и защитных покрытий. – Минск, 2007. – С. 341–348.

53. Антонович, Д.А. Формирование прерывистых электронных пучков в пушках с плазменным эмиттером / Д.А. Антонович, В.Г. Залесский, И.С. Русецкий // Материалы, технологии и оборудование в производстве, в ремонте и модернизации машин : сб. науч. тр. VI междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 25–27 апр. 2007 г. / Полоц. гос. ун-т. – Новополоцк, 2007. – Т.3. – С. 92–95.

54. Особенности применения плазменных источников электронов для сварки и родственных технологий / В.И. Дьяченко, В.Г. Залесский, В.А. Лактионов, Ю.В. Мазаник // Технологии и оборудование ЭЛС–2008 : материалы Междунар. науч.-техн. конф., СПб., 19–22 мая 2008 г. – СПб., 2008. – С. 183–189.

55. Антонович, Д.А. Плазменный эмиттер для формирования радиально расходящихся электронных пучков / Д.А. Антонович, В.А. Груздев, В.Г. Залесский // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств : сб. материалов V Междунар. науч.-техн. конф.: в 3-х т., Новополоцк, 29–30 мая 2008 г. / Полоц. гос. ун-т. – Новополоцк, 2008. – Т. II. – С. 48–51.

56. Программно-аппаратный комплекс для оптимизации конструкции плазменных источников электронов / В.А. Груздев, В.Г. Залесский, Д.Г. Руголь, И.С. Русецкий // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств : сб. материалов V Междунар. науч.-техн. конф. : в 3-х т., Новополоцк, 29–30 мая 2008 г. / Полоц. гос. ун-т. – Новополоцк, 2008. – Т. III : Информатика. – С. 67–70.

57. Груздев, В.А. Электронные пушки с плазменным эмиттером для плавки материалов / В.А. Груздев, В.Г. Залесский, И.С. Русецкий // III Междунар. науч.-техн. конф., : сб. материалов, Минск, 15-17 окт., 2008 г. : в 4-х кн. – Минск, 2008. – Кн. 2 «Высокоэнергетические технологии получения и упрочнения материалов и деталей машин». – С. 263–268.

58. Груздев, В.А. Режимы эмиссии электронов в плазменных источниках двух типов / В.А. Груздев, В.Г. Залесский // Плазменная эмиссионная электрони-

ка : тр. III Междунар. крейнделевского семинара, Улан-Уде, 23–30 июня 2009 г. / БНЦ СО РАН. – Улан-Уде, 2009. – С. 22–29.

59. Гордиенко, А.И. Переработка отходов штамповки сплава Co–Cr–Mo с использованием электронно-лучевого переplава / А.И. Гордиенко, И.Л. Поболь, В.Г. Залесский // Плазменная эмиссионная электроника : тр. III Междунар. крейнделевского семинара, Улан-Уде, 23–30 июня 2009 г. / БНЦ СО РАН. – Улан-Уде, 2009. – С. 145–150.

60. Zaleski, V.G. Ways of the plasma electron sources operation / V.G. Zaleski, I.S. Rusetski // Plasma Physics and Plasma Technology: proc. VI Intern. Conf., Minsk, 18–22 Sept., 2009 / Institute of Molecular and Atomic Physics NAS of Belarus. – Vol. I. – P. 173–176.

61. Антонович, Д.А. Применение плазменных источников электронов при повышенных давлениях в рабочей камере / Д.А. Антонович, В.Г. Залесский // Инновационные технологии в машиностроении : тр. Междунар. конф., Новополоцк, 19–20 сент. 2011 г. / Полоц. гос. ун-т. – Новополоцк, 2011. – С. 95–97.

62. Груздев, В.А. О возможном механизме автомодуляции электронного тока плазменного эмиттера / В.А. Груздев, В.Г. Залесский, И.С. Русецкий // Плазменная эмиссионная электроника : тр. III Междунар. крейнделевского семинара, Улан-Уде, 25–30 июня 2012 г. / БНЦ СО РАН. – Улан-Уде, 2012. – С. 21–28.

63. Effect of plasma processes on the electron-optical properties of the plasma emitter source / V.A. Gruzdev, O.N. Petrovich, V.G. Zaleski, V.T. Barchenko // Plasma Physics and Plasma Technology : proc. VII Intern. Conf., Minsk, Sept. 17–21, 2012 / Institute of Physics NAS of Belarus. – Minsk, 2012. – Vol. II. – P. 573–576.

Тезисы

64. Голубев, Ю.П. Применение плазменного источника электронов для упрочняющей обработки поверхностей / Ю.П. Голубев, В.Г. Залесский, А.С. Снарский // Наука – образованию, производству, экономике : реф. докл. междунар. науч.-тех. конф. : в 2-х т., Минск, 4–7 февр. 2003 г. / БНТУ. – Минск, 2003. – Т. I. – С. 15.

65. Залесский, В.Г. Способ управления параметрами газового разряда в плазменном источнике электронов / В.Г. Залесский, Д.А. Антонович // Наука – образованию, производству, экономике : реф. докл. междунар. науч.-тех. конф. : в 2-х т., Минск, 4–7 февр. 2003 г. / БНТУ – Минск, 2003. – Т. I. – С. 201.

66. Залесский, В.Г. Управление параметрами модифицируемого слоя при электронно-лучевой обработке / В.Г. Залесский, А.Г. Маняк, Д.Г. Руголь // Материалы, технологии для упрочнения и восстановления деталей машин : темат. сб. / Полоц. гос. ун-т. – Минск, 2003. – С. 250–251.

67. Antonovich, D.A. Features of systems of automated management by electron energy-complexes on the basis of e-beam guns with the plasma emitter / D.A. Antonovich, V.G. Zalesski, P.V. Pavlovets // European and National Dimension in Research : Junior Researchers Conf., Novopolotsk, 15-16 Apr. 2009 / Polotsk State University. – Novopolotsk, 2009. – P. 17–20.

68. Залесский, В.Г. Расчёт ЭОС с плазменным эмиттером на основе метода декомпозиции расчётной области / В.Г. Залесский, О.Н. Петрович, В.М. Свешников // Проблемы теоретической и прикладной электронной и ионной оптики : тез. докл. X Всерос. семинара, Москва, 24–26 мая 2011 г. / Гос. науч. центр РФ ФГУП НПО «ОРИОН». – Москва, 2011. – С. 13–14.

69. Залесский, В.Г. Механизмы снижения электрической прочности в ПИЭЛ с эмиттером большого сечения / В.Г. Залесский, О.Н. Петрович // Проблемы теоретической и прикладной электронной и ионной оптики : тез. докл. X Всерос. семинара, Москва, 24–26 мая 2011 г. / Гос. науч. центр РФ ФГУП НПО «ОРИОН». – Москва, 2011. – С. 68–69.

70. Залесский, В.Г. Электронно-лучевые энергокомплексы сварочного типа на основе пушек с плазменным эмиттером / В.Г. Залесский, В.А. Лактионов, Ю.В. Мазаник // Сварка и родственные технологии : тез. докл. Междунар. симп., Минск, 15–17 мая 2012 г. / Ин-т сварки и защитных покрытий. – Минск, 2012. – С. 112–116.

71. Залесский, В.Г. Электронно-лучевые энергокомплексы на основе пушек с плазменным эмиттером / В.Г. Залесский, В.А. Лактионов, Ю.В. Мазаник // Новые материалы и технологии : порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка : тез. докл. X междунар. конф., Минск, 12-14 сент. 2012 г. / Ин-т порошковой металлургии. – Минск, 2012. – С. 90–92.

72. Zalesski, V.G. Features of systems of automated management by electron energy-complexes on the basis of e-beam guns with the plasma emitter // V.G. Zalesski, P.N. Soldatenko // European and National Dimension in Research : Junior Researchers Conf., Novopolotsk, 15-16 Apr. 2012 / Polotsk State University. – Novopolotsk, 2012. – P. 21–25.

73. Zalesski, V.G. / Plasma devices for combined electron-ion beam influence on small details // V.G. Zalesski, P.N. Soldatenko // European and National Dimension in Research : Junior Researchers Conf., Novopolotsk, 24-25 Apr. 2013 / Polotsk State University. – Novopolotsk, 2013. – P. 89–92.

Патенты

74. Плазменный источник электронов с пучком большого сечения : пат. 469 Респ. Беларусь, Н 01 J 3/04/ В.А. Груздев, В.Г. Залесский, Ю.П. Голубев; за-

явитель Полоц. гос. ун-т - № u20010194; заявл. 31.07.2001; Оpubл. 08.11.2001// Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства РБ. – 2002. – № 1. С. 221–222.

75. Плазменный источник электронов : пат. 7573 Респ. Беларусь, Н 01 J 3/02/ В.А. Груздев, В.Г Залесский; заявитель Полоц. гос. ун-т. – № u 20000085; заявл. 01.06.00 ; опубл. 30.12.2005 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2005. – № 4 (47), ч. 1. – С. 240.

76. Блок питания разряда : пат. 2539 Респ. Беларусь, Н 01 J 37/077/ Д.А. Антонович, В.А. Груздев, В.Г Залесский; И.С. Русецкий; заявитель Полоц. гос. ун-т. – № u 20050410; заявл. 05.07.05; опубл. 28.02.2006 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2006. – № 1 (48). – С. 217.

77. Источник электронов с плазменным эмиттером для получения радиального пучка : пат. 4995 Респ. Беларусь, Н 01 J 3/00/ Д.А. Антонович, В.А. Груздев, В.Г Залесский; заявитель Полоц. гос. ун-т. – № u 20080551; заявл. 07.07.08; опубл. 15.10.2008// Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – № 1 (66). – С. 209.

78. Плазменный источник электронов : пат. 15662 Респ. Беларусь, Н 01 J 3/00/ В.А. Груздев, В.Г. Залесский, И.С. Русецкий; заявитель Полоц. гос. ун-т. – № а 20100180 от 08.02.2010; опубл. 26.12.2011// Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 5 (82), С 39.

РЭЗЮМЭ

Залескі Віталій Генадзьевіч

ЭМІСІЙНЫЯ І ЭЛЕКТРОННА-АПТЫЧНЫЯ СІСТЭМЫ ПЛАЗМАВЫХ КРЫНІЦ ЭЛЕКТРОНАЎ

Ключавыя словы: плазма, плазмавыя эмітары, узбурэнне плазмы, газавыя разрады, электронныя і іонныя пучкі, электронна-прамянёвыя тэхналогіі.

Мэта даследавання: распрацоўка тэарэтычных асноў фарміравання электронных пучкоў у сістэмах з плазмавым эмітарам і стварэнне на іх аснове новых тыпаў плазмавых крыніц электронаў.

Метады даследавання. У працы выкарыстоўваліся метады колькаснага мадэлявання фізічных працэсаў, розныя мадыфікацыі метаду зондавых вымярэнняў, стандартныя метады вымярэння электрафізічных велічынь, метады дыферэнцыяльнага і інтэгральнага вылічэння.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. Распрацавана канцэпцыя плазмавага эмітара, што ўключае ў сябе мадэлі працэсаў у паскараючым прамежку, генератары плазмы і эмісійным канале плазмавай крыніцы электронаў, якія ўлічваюць уплыў патэнцыялу эмітарнага электрода, пераразмеркаванне токаў у разрадзе і ўзбурэнне плазмы адборам электронаў. Прапанаваны алгарытмы колькаснага мадэлявання працэсаў у паскараючым прамежку электронна-аптычных сістэм з плазмавым эмітарам, якія ўлічваюць сукупны ўплыў рухомасці плазмавай мяжы і іонізацыйных эфектаў. Уведзены ў разгляд параметры пераключэння і энергетычны параметр, якія дазваляюць абгрунтаваць і ўлічыць розныя механізмы фарміравання току эмісіі. Створаны шэраг канструкцый плазмавых крыніц электронаў, у якіх рэалізуецца дрэйфавы механізм фарміравання току эмісіі. Крыніцы дазваляюць фарміраваць электронныя пучкі высокай яркасці і пучкі вялікага сячэння, а таксама забяспечваць камбінаванае электронна-іоннае ўздзеянне. Распрацаваны шэраг новых канструкцый крыніц электронаў на аснове разрадаў з полым катодам, якія забяспечваюць фарміраванне электронных пучкоў як для рэалізацыі традыцыйных электронна-прамянёвых тэхналогій, так і для вырашэння нетрадыцыйных задач, у тым ліку атрымання радыяльных электронных пучкоў для апрацоўкі ўнутраных цыліндрычных паверхняў. Прапанавана метадыка і распрацавана апаратура для экспрэс-дыягностыкі эмісійных і электронна-аптычных уласцівасцей крыніц з плазмавым эмітарам.

Галіна ўжывання: развіццё тэорыі плазмавых эмітараў, пашырэнне галіны прымянення электронна- і іонна-прамянёвых тэхналогій, распрацоўка сучасных тэхналагічных крыніц электронаў з плазмавым эмітарам.

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

РЕЗЮМЕ

Залесский Виталий Геннадьевич

ЭМИССИОННЫЕ И ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ПЛАЗМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОНОВ

Ключевые слова: плазма, плазменные эмиттеры, возмущение плазмы, газовые разряды, электронные и ионные пучки, электронно-лучевые технологии.

Цель работы: разработка теоретических основ формирования электронных пучков в системах с плазменным эмиттером и создание на их основе новых типов плазменных источников электронов.

Методы исследования. В работе использовались методы численного моделирования физических процессов, различные модификации метода зондовых измерений, стандартные методы измерения электрофизических величин, методы дифференциального и интегрального исчисления.

Полученные результаты и их новизна. Разработана концепция плазменного эмиттера, включающая в себя модели процессов в ускоряющем промежутке, генераторе плазмы и эмиссионном канале плазменного источника электронов, учитывающие влияние потенциала эмиттерного электрода, перераспределение токов в разряде и возмущение плазмы отбором электронов. Предложены алгоритмы численного моделирования процессов в ускоряющем промежутке электронно-оптических систем с плазменным эмиттером, учитывающие совокупное влияние подвижности плазменной границы и ионизационных эффектов. Введены в рассмотрение параметры переключения и энергетический параметр, позволяющие обосновать и учесть различные механизмы формирования тока эмиссии. Создан ряд конструкций плазменных источников электронов, в которых реализуется дрейфовый механизм формирования тока эмиссии. Источники позволяют формировать электронные пучки высокой яркости и пучки большого сечения, а также обеспечивать комбинированное электронно-ионное воздействие. Разработан ряд новых конструкций источников электронов на основе разрядов с полым катодом, обеспечивающих формирование электронных пучков как для реализации традиционных электронно-лучевых технологий, так и решения нетрадиционных задач, в том числе получения радиальных электронных пучков для обработки внутренних цилиндрических поверхностей. Предложена методика и разработана аппаратура для экспресс-диагностики эмиссионных и электронно-оптических свойств источников с плазменным эмиттером.

Область применения: развитие теории плазменных эмиттеров, расширение области применения электронно- и ионно-лучевых технологий, разработка современных технологических источников электронов с плазменным эмиттером.

SUMMARY

Zaleski Vitali

EMISSION AND ELECTRON-OPTICAL SYSTEMS OF ELECTRON PLASMA SOURCES

Key words: plasma, plasma emitter, plasma disturbance, gas discharge, electron and ion beams, electron-beam technologies.

Objective of research: the development of the theoretical framework of electron beams formation in systems with plasma emitter and the creation of new types of plasma electron sources.

Research methods: methods of the numerical simulation of physical processes, various modifications of the probe measurements, standard methods for measuring electro-physical values, methods of differential and integral calculus were used in the present research.

The results obtained and their novelty. The concept of the plasma emitter, which includes models of processes in the accelerating gap, in the plasma generator and in the emission channel of plasma electron source, and takes into account the effect of the emitter electrode potential, the redistribution of the currents in the plasma discharge and plasma disturbance by electrons selection was developed. The algorithms for the numerical simulation of the processes in the accelerating gap of the electron-optical systems with plasma emitter were proposed. They take into consideration the cumulative effect of the plasma boundary mobility and ionization effects. Switching parameters and the energy parameter, that allow justifying and accounting for different mechanisms of emission current formation were introduced. The number of structures of plasma electron sources was created. They implement the drift mechanism of the emission current formation. The sources enable to create high-brightness electron beams and beams of large cross-section, as well as to provide a combined electron-ion impact. The number of new electron sources, based on hollow cathode discharge, was developed. They ensure electron beams formation both for the implementation of traditional electron-beam technologies and non-traditional tasks solution, including the obtainment of the radial electron beams for treatment of internal cylindrical surfaces. The technique and equipment were designed for rapid diagnosis of emission and electron-optical properties of sources with plasma emitter.

Application field: the development of the plasma emitter theory, the extension of the application scope of electron- and ion-beam technologies, the development of modern technological electron sources with plasma emitter.

