

ОТЗЫВ

официального оппонента Бурдакова Александра Владимировича на диссертационную работу Медовника Александра Владимировича «Плазменные источники электронов для генерации широкоапертурных импульсных пучков в форвакуумной области давлений», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 1.3.5 – "физическая электроника"

Актуальность избранной темы.

Интерес к источникам широкоапертурных импульсных электронных пучков обусловлен возможностью использования их в технологиях поверхностной модификации изделий большой площади. Как правило, обработке подвергаются материалы, по своим электрическим свойствам относящиеся к проводникам. В случае обработки поверхности диэлектриков возникает необходимость снижения потенциала, приносимого электронами пучка на облучаемую поверхность. Преимуществом источников электронов, функционирующих в так называемом форвакуумном диапазоне давлений, является возможность непосредственной обработки диэлектриков. Созданные к настоящему времени форвакуумные плазменные источники электронов используют для создания эмиссионной плазмы тлеющего разряда с полым катодом и в основном функционируют в непрерывном режиме, что не позволяет использовать их для контролируемой модификации тонких поверхностных слоев диэлектриков. Получение импульсных электронных пучков в форвакуумной области давлений позволит расширить возможности электронно-лучевых технологий и в этом плане тематика диссертационной работы Медовника А.В. является актуальной.

Цели и задачи диссертационной работы

Цель работы состояла в исследовании особенностей зажигания и горения импульсных тлеющего и дугового разрядов в форвакуумной области давлений, генерирующих эмиссионную катодную плазму, используемую для формирования широкоапертурных электронных пучков, создания на этой основе плазменных источников импульсных электронных пучков большого сечения и использования таких пучков для поверхностной обработки протяженных изделий из диэлектрических материалов. С этой целью были решены задачи изучения физических процессов при генерации плазмы, исследования её эмиссионных свойств, формирования и транспортировки пучков, разработаны и исследованы макеты источников таких пучков,

продемонстрировано их применение для обработки поверхности диэлектрических изделий.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций,
сформулированных в диссертации.

Выдвинутые автором научные положения, выводы и рекомендации основаны на постановке конкретных целей и задач работы, систематическом характере исследований и детальном анализе полученных результатов. Результаты исследований опубликованы в ведущих рецензируемых российских и зарубежных физических журналах, а также прошли апробацию на международных конференциях.

Достоверность и новизна полученных результатов

Достоверность результатов диссертационной работы обеспечивается использованием современного экспериментального оборудования и методик для диагностики параметров плазмы и электронного пучка, а также детальным анализом результатов исследований, обоснованностью выводов и заключений и их сопоставлением с ранее полученными результатами по данному направлению исследований. В работе приведены новые результаты, к которым можно отнести следующие:

Выявлены особенности стабильного инициирования в форвакуумной области давлений импульсных систем на основе тлеющего разряда с полым катодом и катодной дуги, изучены параметры и характеристики таких разрядных систем и определены условия формирования на их основе развитой эмиссионной поверхности плазмы с высокой однородностью параметров, обеспечивающей эффективную генерацию широкоапертурных импульсных электронных пучков.

Определена степень влияния в форвакуумном диапазоне давлений обратного ионного потока из областей формирования и транспортировки широкоапертурного импульсного электронного пучка на условия инициирования и горения разряда, процессы эмиссии электронов из плазмы и формирования электронного пучка, а также на предельные параметры пучка.

Выявлены основные физические механизмы, обеспечивающие процесс нейтрализации отрицательного заряда, наведенного широкоапертурным импульсным электронным пучком, при облучении диэлектрических объектов.

Научная и практическая значимость полученных автором результатов

Полученные автором результаты значимы для науки и практики.

1. Решена важная научно-техническая проблема, состоящая в создании форвакуумных плазменных источников широкоапертурных импульсных электронных источников на основе тлеющего разряда с полым катодом и катодной дуги с параметрами электронного пучка, достаточными для эффективной электронно-лучевой модификации поверхностных свойств диэлектрических материалов.

2. Существенно расширены возможности электронно-лучевых технологий за счет возможности осуществления эффективной обработки диэлектрических изделий большой площади.

3. Выявленные закономерности инициирования и горения плазмообразующих разрядов, эмиссии электронов, формирования и транспортировки импульсного электронного пучка могут быть использованы в других устройствах, имеющих аналогичные принципы работы и функционирующих как в области повышенных давлений, так и в других диапазонах давлений.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты и выводы диссертации могут быть использованы для разработки новых источников широкоапертурных импульсных электронных пучков с плазменными эмиттерами на основе тлеющего и дугового разрядов в форвакуумных условиях. Такие пучки могут применяться в промышленности для обработки поверхности керамических и полимерных изделий для улучшения их технических характеристик. Новые научные знания, полученные автором, могут использоваться при анализе работы устройств с плазменными эмиттерами заряженных частиц.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность

По структуре, содержанию и изложению материала диссертационная работа Медовника А.В. является законченным научным трудом. Работа имеет структуру, соответствующую рекомендациям ВАК. Она состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа содержит 299 страниц текста, 220 рисунков, 10 таблиц и библиографический список из 265 наименований.

Во введении обосновываются актуальность, цель и задачи, научная новизна, научная и практическая ценность работы. Излагается краткое содержание диссертации и формулируются выносимые на защиту научные положения.

Первая глава посвящена обзору и сравнению разрядных систем для плазменных источников низкоэнергетичных широкоапертурных импульсных электронных пучков, описаны особенности функционирования плазменных источников электронов в

форвакуумной области давлений, приведены конструкции источников электронов, функционирующих в форвакуумной области давлений, и их применение для сварки керамических изделий и модификации поверхностных свойств органического стекла, получение углеродных покрытий разложением газообразных углеводородов и др. На основе обзора сделаны выводы и определены задачи диссертационного исследования.

Во второй главе представлена техника и методика эксперимента. Описаны макеты форвакуумных плазменных источников электронов, отличающихся типом используемых разрядов для формирования эмиссионной плазмы, а также площадью выходной апертуры плазменного эмиттера. Приведено используемое в работе диагностическое оборудование – модернизированный квадрупольный масс-спектрометр RGA-100 для измерения масс-зарядового состава ионов плазмы дугового разряда, ленгмюровский зонд, схема спектрометрических измерений. Описаны особенности инициирования и функционирования тлеющего разряда с полым катодом, дугового разряда с катодным пятном. Влияния различных факторов на радиальное распределение концентрации эмиссионной плазмы и влияние давления рабочего газа p на содержание металлических и газовых ионов в плазме дугового разряда для различных газов. Сделаны выводы по представленным результатам.

В третьей главе представлено исследование особенностей процессов эмиссии электронов из плазмы, формирования и транспортировки широкоапертурных импульсных электронных пучков в форвакуумной области давлений. Представлены схемы и фотографии внешнего вида экспериментальных макетов, а также их предельные параметры. Определено влияние обратного ионного потока на условия функционирования и параметры плазменного электронного источника на основе тлеющего разряда с полым катодом. Показано, что неоднородность распределения плотности тока по сечению пучка импульсного форвакуумного плазменного источника электронов обусловлена радиальной неравномерностью распределения концентрации разрядной плазмы, нарушением плоскопараллельности конфигурации эмиссионного и ускоряющего электродов и влиянием обратного потока ионов. Представлена конструкция двухэлектродной многоапертурной системы извлечения, позволившая снизить потери тока электронов на ускоряющем электроде с 30 до 5 % при сохранении высокой однородности распределения плотности тока пучка. Сделаны выводы по представленным результатам.

В четвертой главе описаны конструктивные особенности данных источников электронов, приведены их параметры и характеристики, а также показаны некоторые возможности их применения для модификации поверхностных свойств керамики и

полимеров. Показано, что генерируемые источниками электронные пучки позволяют производить поверхностную обработку диэлектриков, в частности, высокотемпературных керамик и различных полимеров, без создания специальных условий для нейтрализации заряда пучка.

В заключении дан общий вывод по результатам диссертационной работы.

Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации

Диссертация Медовника А.В. представляет собой научный труд, имеющий несомненную ценность, как для научного сообщества, так и для широкого применения полученных результатов. По тексту и содержанию диссертации имеются замечания.

1. На стр. 29 приведена известная формула (1.3) для отбора электронов из плазмы сплошным ускоряющим электродом (коллектором). Геометрия, к которой применена указанная формула (рис.1.7), существенно отличается от оригинальной. Следовало бы пояснить условия применимости или модифицировать формулу.

2. По тексту диссертации в выводах автор приводит различные диапазоны давлений рабочего газа, указывая, например, стр. 253 диапазон 1-20 Па, 3-30 Па, исследование двух стадий горения дуги – давления до 50 Па. При этом экспериментальные результаты представлены преимущественно для давлений газа не более 10-15 Па, что является довольно узким диапазоном давлений и возникает вопрос о стабильности параметров источника при реальной обработке материалов с высоким газоотделением, о которых говорится во введении диссертации.

3. На стр. 92 автор указывает, что «... на расстоянии $L = 35$ см пучок преимущественно «трансформируется» в пучковую плазму...». Что подразумевается под этим термином?

4. В выводе 4 к третьей главе указано, что «...ток электронного пучка в результате его рассеивания на столкновениях с молекулами газа уменьшается не более чем на 20 %...». Такое утверждение без указания протяженности участка транспортировки не обосновано.

5. На стр. 225 описано использование магнитного энергоанализатора для определения поверхностного потенциала керамической мишени по энергии вторичных электронов. Однако автор не обосновывает возможность использования такого анализатора в условиях высокого по сравнению с традиционным диапазоном давления.

6. На стр.88 использован термин "равномерность по сечению" – по-видимому, опечатка, если имелась в виду "однородность".

7. Во второй формуле (2.7) на стр. 101 опечатка: вместо E_t должно стоять E_n . В первой формуле (2.14) также есть опечатка в обозначениях.

Сформулированные замечания носят рекомендательно-дискуссионный характер, не затрагивают сущности выносимых на защиту научных положений и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.


Соответствие автореферата основному содержанию диссертации

Тематика диссертационной работы и её содержание полностью соответствуют специальности 1.3.5 – «Физическая электроника». Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Заключение


Таким образом, диссертация Медовника А.В. является законченной научно-квалификационной работой, имеющей научную и практическую ценность. Диссертация соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 1.3.5 – физическая электроника.

Главный научный сотрудник, советник
дирекции Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института ядерной физики им. Г.И. Будкера
Сибирского отделения Российской академии наук
доктор физико-математических наук

 / Бурдаков А.В./

Подпись Бурдакова А.В. заверяю:

Ученый секретарь
ИЯФ СО РАН, к.ф.-м.н.

 / Резниченко А.В. /

