

ОТЗЫВ

официального оппонента Александра Сергеевича Каменецких на диссертацию Чан Ван Ту «Форвакуумный плазменный источник ленточного электронного пучка для пучково-плазменной модификации диэлектриков», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.5. – Физическая электроника

Актуальность работы

Объектом исследований, выбранным диссертантом, является источник ленточного электронного пучка, предназначенный для вакуумно-плазменной обработки материалов в форвакуумном диапазоне давлений. Интерес к такому типу устройств обусловлен большой площадью сечения и продольным размером пучка, которые обеспечивают высокую производительность при обработке листовых материалов. Возможность работы в форвакуумном диапазоне давлений значительно упрощает и снижает стоимость средств откачки установки и, что более важно, позволяет создавать плотную пучковую плазму и осуществлять в ней модификацию диэлектрических материалов. Вместе с тем для эффективного использования источника ленточного электронного пучка в форвакууме требуется решение ряда задач, направленных на создание условий генерации однородной эмитирующей плазмы и обеспечения равномерного распределения плотности тока пучка, повышения надежности катодного узла и электронно-оптической системы. Диссертационная работа Чан Ван Ту, направленная на повышение рабочих характеристик форвакуумных плазменных источников ленточных электронных пучков и расширение их возможностей, в частности для модификации полимерных материалов, несомненно актуальна.

Степень обоснованности выводов

Выводы диссертационной работы основаны на результатах комплексных экспериментальных исследований, включающих различные методы диагностики плазмы, свойств модифицированных материалов. Каждый из результатов критически анализируется и сопоставляется с теоретическими моделями. Результаты исследований условий инициирования разряда с протяженным полым катодом и генерации пучковой плазмы в форвакуумном диапазоне давлений использованы при создании форвакуумного плазменного источника ленточного электронного пучка и применены для обработки полиэтилена высокой плотности. Все выводы, сделанные в работе диссертанта, являются обоснованными и аргументированными.

Достоверность и новизна

Результаты исследований, проведенных в диссертационной работе Чан Ван Ту, подвергались проверке независимыми дублирующими экспериментальными методиками, демонстрируют хорошее совпадение экспериментальных и расчётных данных, были опубликованы в 4 статьях в российских и международных изданиях, входящих в перечень для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, докладывались и обсуждались на различных международных и российских конференциях и изложены в 10 статьях в сборниках докладов. Достоверность результатов работы сомнений не вызывает.

Научная новизна работы заключается в выявлении особенностей возникновения эффекта полого катода в том случае, когда выходное отверстие электрода имеет форму щели с соотношением сторон 10:1. Показано, что однородность плазмы, генерируемой в такой электродной системе, обеспечивается при токах и давлениях газа, превышающих некоторое пороговое давление, определяемое протяженностью катода, а эффект полого катода проявляется при меньших значениях плотности тока, чем в устройствах с

аксиальной симметрией эмиссионного отверстия, и зависит от длины щели. Разработана оригинальная конструкция электронно-оптической системы, с помощью которой получен пучок в форме ленты с поперечными размерами 10×300 мм², энергией электронов до 8 кэВ и током до 100 мА.

Научная и практическая значимость

Диссертационная работа Чан Ван Ту вносит вклад в понимание физических процессов инициирования эффекта полого катода в протяженных газоразрядных системах, работающих в форвакуумном диапазоне давлений газа. С использованием результатов работы оптимизирована конструкция форвакуумного плазменного источника ленточного пучка электронов, что позволило повысить надежность устройства и значительно уменьшить степень неоднородности плотности тока пучка. Продемонстрирована возможность использования форвакуумного источника ленточного электронного пучка для улучшения его функциональных характеристик полиэтилена.

Диссертационная работа структурирована и хорошо оформлена. Однако по ее содержанию есть несколько замечаний и вопросов:

1) В главе 1 использовано довольно большое количество жаргонных и тавтологических выражений. Например, «многократная осцилляция», «переход из режима высоковольтного напряжения в режим тлеющего разряда», «локальная область», «экстракционная система» (вместо электронно-оптической), «спокойная» плазма, и т.п.

2) В главе 1 сказано, что «Работ, посвященных применению и исследованию многоапертурных систем в случае ленточного электронного пучка, в доступных источниках обнаружено не было...». Однако, в литературе можно найти циклы работ, например, Ковалья Н.Н., Воробьева М.С. и их соавторов, посвященный многоапертурным плазменным катодам и генерации протяженных электронных пучков (одна из которых М.С. Воробьев, Н.Н. Коваль, С.А. Сулакшин. Источник электронов с многоапертурным плазменным эмиттером и выводом пучка в атмосферу. // ПТЭ, 2015, №5, С.112–120). Задачи, решавшиеся в этих работах, несомненно, отличаются от поставленных диссертантом. Тем не менее, подобного рода исследования проводились, о чем следовало бы упоминать в диссертации.

3) Автор детально описывает экспериментальные методики, что является несомненным достоинством изложенного материала. Вместе с тем, следовало бы избегать избыточных подробностей, описывающий порядок работы с прибором, таких, как, например, настройка резкости и увеличения изображения в микроскопе.

4) Результат плазменно-пучковой обработки полимеров автор оценивает по краевому углу смачивания водой. С чем связан выбор этой тестовой жидкости, как это соотносится с дальнейшим применением обработанного материала? Почему не оценивалась поверхностная энергия материала, дающая более полную информацию и имеющая немногим более сложную методику определения?

5) На стр. 65 автор дает объяснение эффекту снижения разницы между напряжением зажигания и горения разряда при увеличении длины катодной полости, основанное на том, что «с ростом протяженности катодной полости повышается эффективность ионизации газа». Известно, что эффективность удержания электронов в полой катодной полости (длина траектории электронов в полости) определяется соотношением его объема и площади анода (выходной апертуры) [Метель А.С. ЖТФ 1984 54(2) 241-246]. Из простых геометрических соотношений следует, что в исследуемой газоразрядной системе увеличение протяженности катодной полости при сохранении других геометрических размеров приводит одновременно и к увеличению объема полости, и площади анода, а длина траектории электронов при этом не изменяется. Таким образом, приведенное в диссертации объяснение эффекта вызывает сомнения.

6) Для определения тока ионов, поступающих из ускоряющего промежутка в катод, измеряется ток в цепи катод-анод. Из описания эксперимента (стр. 66) не ясно, чем этот ток

отличается от тока разряда и каким образом из него может быть определен ток указанных ионов.

7) На стр. 76 автор рассматривает условия разрыва катодного слоя, обеспечивающие появление эффекта полого катода, где указывает, что «Катодное падение потенциала, как правило, слабо зависит от величины тока разряда». Однако, вольт-амперная характеристика тлеющего разряда растущая, и катодное падение в значительной степени зависит от тока разряда.

8) В разделе 3.2.2. рассматривается влияние геометрии ускоряющего промежутка и эмиссионных отверстий на величину потерь электронов пучка, также отмечается, что для форвакуумного источника существенным является влияние взаимодействия электронов пучка с газом в ускоряющем промежутке. Какой из двух указанных факторов является доминирующим в условиях формирования пучка в форвакуумном диапазоне давлений?

Сделанные замечания носят рекомендательный характер, не затрагивают основное содержание, не снижают научную значимость диссертационной работы Чан Ван Ту и не влияют на общую положительную оценку.

Общее заключение

Диссертационная работа Чан Ван Ту «Форвакуумный плазменный источник ленточного электронного пучка для пучково-плазменной модификации диэлектриков», является законченным научно-квалификационным трудом, в которой содержится решение задачи, имеющей значение для развития технических основ эмиссионной и плазменной электроники, плазменных и пучковых технологий для модификации свойств поверхности. Диссертационная работа по своему содержанию соответствует Паспорту специальности 1.3.5. – Физическая электроника. Работа выполнена автором самостоятельно. Полученные автором работы результаты достоверны, а выводы обоснованы. Автореферат соответствует содержанию диссертации. Основные результаты диссертации опубликованы в 4 статьях в рецензируемых изданиях, входящим в перечень ВАК, доложены на российских и международных конференциях.

Считаю, что диссертационная работа Чан Ван Ту соответствует всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к квалификационным работам кандидатов наук, а её автор заслуживает присуждения ему степени кандидата технических наук по специальности 1.3.5. – Физическая электроника.

Официальный оппонент,
старший научный сотрудник лаборатории пучков частиц
ФГБУН Института электрофизики УрО РАН,
кандидат физико-математических наук.
620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, д. 106.
Тел. (343)267-88-29
E-mail: alx@ier.uran.ru

Александр Сергеевич Каменецких

Подпись Каменецких Александра Сергеевича заверяю

Ученый секретарь Института электрофизики УрО РАН,
кандидат физико-математических наук,



Е.Е. Кокорина