

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Торбы Максима Сергеевича

«Источник интенсивного субмиллисекундного радиально сходящегося электронного пучка с многодуговым сеточным плазменным катодом»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.1. Вакуумная и плазменная электроника

Актуальность темы диссертации.

Изучение источников электронов различными научными коллективами осуществляется на протяжении многих десятилетий. Однако подобные исследования не потеряли своей актуальности до настоящего времени, что обусловлено в первую очередь широким спектром протекающих в источниках физических процессов и их обширным диапазоном применения. Это связано, с одной стороны, с богатством физических процессов, протекающих в таких источниках, а с другой - их чрезвычайно широким диапазоном применения – от обработки поверхности традиционных для них металлических изделий до поверхностей керамических и органических материалов с целью изменения их физико-механических/химических свойств. С учетом вышеизложенного, не вызывает сомнений актуальность данной работы, направленной на изучение физики процессов в системе радиально сходящегося интенсивного электронного пучка, разработку и создание на этой основе нового оборудования с уникальными параметрами, пригодного для решения прикладных задач.

Содержание работы.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов по результатам работы, списка литературы и приложения. Диссертация изложена на 153 страницах, содержит 59 рисунков и 1 таблицу, список литературы включает 130 источников. Диссертация структурирована и написана ясным литературным языком. Каждая глава содержит конкретные выводы по результатам исследований.

Во введении обосновывается актуальность и научная новизна исследований, проводимых в рамках диссертационной работы, формулируется цель и задачи, решению которых посвящена работа.

Первая глава является обзорной и представляет собой анализ исследований по тематике диссертации. На основе литературного анализа сформулированы и обоснованы цель и задачи исследований.

Во второй главе представлена методика и техника проведения исследований, приведено описание использованного экспериментального оборудования.

Третья глава посвящена генерации и зондовым исследованиям эмиссионной плазмы источника электронов, и установлению степени ее пространственной неоднородности.

В четвертой главе приведены результаты по генерации радиально сходящегося электронного пучка и его характеристикам. Оценена плотность энергии радиально сходящегося электронного пучка и её азимутальное распределение. Рассмотрены способы стабилизации и снижения неоднородности плотности тока интенсивного радиально сходящегося электронного пучка при наличии дестабилизирующих факторов. Продемонстрирована возможность модификации поверхности металлических образцов цилиндрической геометрии.

В заключении сформулированы основные выводы по диссертационной работе.

Среди результатов, обладающих **научной новизной**, следует отметить:

При субмиллисекундной длительности импульса для источника электронов со стабилизацией эмиссионной границы плазмы на основе дуги низкого давления получены стабильные режимы генерации радиально сходящегося электронного пучка с энергией до 700 Дж и плотностью энергии до 14 Дж/см^2 , обеспечивающие на цилиндрическом коллекторе диаметром 16 мм неоднородность плотности энергии на уровне $\pm 10\%$.

В источнике электронов с плазменным эмиттером на основе многодугового разряда разработана и создана ячейка, гарантирующая за один импульс тока длительностью 150 мкс генерацию радиально сходящегося в секторе 60° пучка электронов с параметрами (ток пучка 100 А, ускоряющее напряжение 30 кВ, плотность мощности 30 Дж/см^2) достаточными для модификации металлических изделий.

На основе компьютерного моделирования обнаружен эффект аксиальной самофокусировки радиально сходящегося электронного пучка, при этом в результате компенсации объемного заряда электронов ионами пучковой плазмы, токи пучка практически на порядок превышают токи Чайлда-Ленгмюра для цилиндрического диода.

Научная значимость.

Промоделированы режимы генерации радиально сходящегося пучка, экспериментальная реализация которых позволила увеличить микротвёрдость поверхности образца из титана с 1,8 ГПа до 4,7 ГПа и уменьшить шероховатость Ra поверхности нержавеющей стали с 2 мкм до 0,4 мкм.

Практическая значимость.

В результате проведенных исследований создан источник электронов с плазменным катодом на основе многодугового разряда, генерирующий радиально сходящийся электронный пучок субмиллисекундной длительности (до 500 мкс) с плотностью энергии пучка до 30 Дж/см^2 при ускоряющем напряжении до 50 кВ и частоте следования импульсов до 1 Гц, с использованием которого возможно осуществлять модификацию поверхностных слоев металлических образцов цилиндрической геометрии.

Следует отметить, что результаты работы соискателя проводились при финансовой поддержке Российского научного фонда (4 гранта, в 1 Торба М.С. являлся руководителем) и Министерства науки и высшего образования РФ (1 грант) и удостоены стипендии Президента Российской Федерации для аспирантов и адъюнктов, проводящих научные исследования в рамках реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации (2024-2025).

По диссертационной работе имеются следующие **замечания**:

1. В пункте 3 научной новизны и по тексту диссертации высокие значения тока электронов пучка автор связывает с компенсацией объемного заряда электронов ионами пучковой плазмы. Логичным было бы представить параметры этой плазмы, измеренные при генерации электронов хотя бы одной из 6 ячеек.

2. Конструкция источника ограничивает протяженность обрабатываемого изделия на уровне 5-15 см. Без конструктивных изменений желаемой протяженности в 1 м и более (закключение по работе, пункт 8) достичь не представляется возможным.

3. На рисунке 3.7 приведено аксиальное распределение концентрации эмиссионной плазмы для токов 90 и 120 А. В тексте диссертационной работы и автореферата отсутствует какое-либо объяснение превалирования концентрации плазмы на расстояниях свыше 18 см от плазмогенератора при токе разряда 90 А. Также нет объяснения отсутствия влияния давления рабочего газа на концентрацию эмиссионной плазмы (рисунок 3.4б).

4. Утверждение по практическим рекомендациям ...для решения прикладных задач по увеличению износостойкости поверхности... без прямых измерений износостойкости или указания взаимосвязи твердости и/или шероховатости с износостойкостью обрабатываемых в схожих условиях материалов выглядит безосновательным.

5. Имеются недочеты по оформлению:

- в выводах по 4 главе дублируется нумерация 4 пункта;
- размерность частоты следования импульсов представлена и в Гц и в с^{-1} ;
- на рисунках имеются пояснения на английском языке (например, рисунок.4.18).

Приведенные замечания не снижают значимость полученных в диссертационной работе научных результатов.

Диссертационная работа Торбы М.С. является законченным научным исследованием, выполненным на актуальную тему на высоком методическом уровне. Автореферат отражает содержание диссертации. Материалы диссертационной работы опубликованы в 10 работах в журналах, входящих в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук» или учитываемых в библиографических базах данных научного цитирования Web of Science и/или Scopus. Зарегистрирован 1 патент на изобретение. По уровню решаемых задач, научной новизне, практической значимости, объему полученных результатов диссертационная работа «Источник интенсивного субмиллисекундного радиально сходящегося электронного пучка с многодуговым сеточным плазменным катодом» соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (ред. от 16.10.2024) и удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям (Положение о порядке присуждения ученых степеней), а сам диссертант заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.1. Вакуумная и плазменная электроника.

Официальный оппонент:

д.т.н., доцент, старший научный сотрудник ФГАОУ ВО
«Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»
634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, Тел.: (3822) 41-33-69
e-mail: tyunkov84@mail.ru

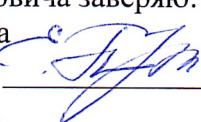


Тюньков Андрей Владимирович

«07»

августа 2026 г.

Подпись Тюнькова Андрея Владимировича заверяю:
Ученый секретарь совета университета



Прокопчук Елена Викторовна

августа

2026 г.