

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Шемахина Александра Юрьевича «Математическая модель струйного ВЧИ-разряда пониженного давления с учетом слоя положительного заряда у поверхности твердого тела», представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 1.1.9 «Механика жидкости, газа и плазмы»

Актуальность темы диссертации обусловлена растущими потребностями современных высокотехнологичных отраслей промышленности в разработке эффективных и экономических методов модификации поверхностей различных материалов, включая их полировку и упрочнение, а также недостаточной проработкой ряда теоретических вопросов, связанных как с поддержанием устойчивого горения высокочастотного индукционного (ВЧИ) разряда пониженного давления, применяемого для обработки этих материалов, так и взаимодействия ВЧИ-плазменной струи с поверхностью. Автор справедливо отмечает, что существующие технологии с применением ВЧИ-плазмы не поддаются масштабированию, а экспериментальные исследования требуют значительных ресурсов. Разработка единой математической модели, позволяющей прогнозировать параметры плазменной обработки, является важным шагом в решении этой проблемы.

Научная новизна работы сформулирована чётко и убедительно. К наиболее значимым результатам можно отнести:

- разработку единой математической модели, объединяющей три области течения плазмы с разными пространственно-временными масштабами и разными электродинамическими процессами в них: в разрядной камере, плазменной струе и слое положительного заряда возле обрабатываемого тела. Создание этой модели потребовало объединения различных подходов и обоснования корректности объединения кинетического описания для несущего газа и модели сплошной среды для газа заряженных частиц и электромагнитного поля;

- теоретическое обоснование того, что плазменная струя является самостоятельным комбинированным разрядом, что подтверждено расчётами и экспериментами;

- учёт немаксвелловской функции распределения электронов по энергиям, что повышает точность модели;

выявление эффекта перегрева по периферии струи, который ранее не описывался в литературе.

Все заявленные положения новизны соответствуют паспорту специальности 1.1.9 и подкреплены публикациями в рецензируемых журналах.

Практическая ценность работы не вызывает сомнений. Разработанная модель использована при проектировании ВЧИ-плазменных установок для обработки медицинских инструментов, а внедрение технологического процесса, основанного на рассчитанных автором диссертации параметрах плазменного потока, позволило увеличить прочность иглодержателей, пинцетов и других инструментов в 2–2,5 раза. Внедрение этих результатов обеспечило экономический эффект в размере 13,32 млн рублей.

Результаты работы могут быть применены в микроэлектронике, автомобильной промышленности и других отраслях, а использованные при разработке математической модели подходы - при научных исследованиях частотных разрядов в других диапазонах давления и расхода газа, мощности разряда и частоты.

Автореферат структурирован логично, содержит все необходимые разделы: общую характеристику работы, научную новизну, практическую значимость, методологию, апробацию, положения выносимые на защиту и список публикаций. Стиль изложения соответствует научным стандартам.

Положительными моментами диссертации являются:

охват в модели всех ключевых областей течения плазмы, от входного отверстия разрядной камеры до выходного отверстия вакуумной (рабочей) камеры, включая взаимодействие плазменного потока с твердым телом, помещенным в плазменную струю. Такой подход достаточно редко встречается в подобных исследованиях;

- результаты расчетов подтверждены экспериментами, что повышает степень доверия к модели;

- работа сочетает методы механики жидкости, газовой динамики, физики плазмы и численного моделирования;

результаты уже нашли практическое применение, что говорит о высокой зрелости исследования.

Вместе с тем необходимо отметить, что работа не свободна от недостатков:

модель требует значительных вычислительных ресурсов, что может ограничить её применение в промышленности. Возможно, стоит разработать упрощённые версии для инженерных расчётов;

модель валидирована для аргоновой плазмы в определённом диапазоне параметров. Желательно расширить её на другие газы и режимы;

- из автореферата не ясно о каком порядке величины микронеоднородностей идёт речь при обработке поверхностей материалов ионным потоком, генерируемым струйным ВЧИ-разрядом?

Отмеченные недостатки не влияют на высокую оценку научной значимости и практической ценности выполненной работы.

Диссертация Шемакина А.Ю. представляет собой завершённое научное исследование, соответствующее критериям п. 9 действующего Положения о порядке присвоения ученых степеней, предъявляемым к докторским диссертациям. Автор демонстрирует глубокое понимание предмета, владение современными методами моделирования и экспериментирования, а также умение решать сложные научно-технические задачи.

Работа заслуживает высокой оценки, а её автор – присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы.

Главный научный сотрудник лаборатории плазменной эмиссионной электроники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН), доктор технических наук, профессор.



Коваль Николай Николаевич

30 сентября 2025 г.

Юридический адрес: 634055, г. Томск, проспект Академический, 2/3, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН)

Email: koval@opee.hcei.tsc.ru

Тел.: (3822) 492-792

Факс: (3822) 492-410

На обработку персональных данных согласен

Коваль Н.Н.

Подпись Ковалю Николаю Николаевичу, достоверно
заместитель директора по научной работе ИСЭ СО РАН,
к.ф.-м.н.



Батраков А.В.

Вход. № 05-8588
« 15 » 10 2025 г.
подпись 