

способ управления слоистой структурой тлеющего разряда позволяет создать в межэлектродном пространстве область, в которой электрон осуществит необходимое, для выполнения условия самоподдержания, количество актов ионизации. Исходя из всего вышеизложенного, актуальность диссертационной работы не вызывает сомнений.

Оценка содержания и структуры работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников информации и приложения. Структура работы соответствует поставленной цели и задачам. Автор подробно исследует влияние распределения концентрации нейтральных частиц в межэлектродном пространстве, вызванное организацией поперечного сверхзвукового потока воздуха в ограниченной области межэлектродного пространства, на картины свечения и вольт-амперные характеристики тлеющего разряда при различных расходах воздуха через сопло Лавалья. В результате проведенного исследования диссертант делает обоснованные, логически выверенные и аргументированные выводы. Вышеизложенное позволяет утверждать, что работа обладает научной новизной и представляет несомненную теоретическую и практическую значимость.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследований, дана краткая характеристика полученных результатов.

В первой главе представлен анализ результатов исследований тлеющего разряда в дозвуковых, сверхзвуковых потоках газа, а также магнетронного разряда.

Во второй главе описаны экспериментальная установка, методика исследования тлеющего разряда в сверхзвуковом потоке газа, организованного в осесимметричном профилированном сопле Лавалья при низких давлениях. Приведены данные об условиях непрерывного существования тлеющего разряда в сверхзвуковом потоке газа, а также вольт-амперная характеристика тлеющего разряда в описанных условиях.

Третья глава посвящена экспериментальному исследованию тлеющего разряда в сверхзвуковом потоке воздуха, организованного в ограниченной области межэлектродного пространства. Приведено подробное описание экспериментальной установки, разрядного устройства с возможностью сверхзвуковой прокачки ограниченной области межэлектродного пространства. Описаны методики оценки концентрации нейтральных частиц, значения приведенной напряженности электрического поля в прокачиваемой области, снятия картин свечения и вольт-амперных характеристик тлеющего разряда в сверхзвуковом потоке воздуха, организованного в ограниченной области межэлектродного пространства. Оценены погрешности измерений. Приведены картины свечения, вольт-амперные характеристики тлеющего разряда в сверхзвуковом потоке газа в ограниченной области межэлектродного пространства, а так же показана возможность управления слоистой структурой.

В четвертой главе приведены результаты численного моделирования продольной структуры тлеющего разряда с неоднородным распределением концентрации нейтральных частиц вдоль межэлектродного пространства. Описана одномерная гибридная модель тлеющего разряда, включающая в себя уравнения непрерывности для электронов, положительных и отрицательных ионов, уравнение теплового баланса для электронов, уравнение Пуассона для электрического поля. Приведены распределения концентраций электронов, положительных ионов, отрицательных ионов, потенциала и напряженности электрического поля вдоль межэлектродного пространства для тлеющего разряда, включающего в себя 11 сортов частиц, в котором протекают 32 плазмохимические реакции. Показана возможность управления распределением концентраций носителей заряда, формирования прикатодных зон тлеющего разряда в условиях, когда разряд относится к левой ветви кривой Пашена с помощью неоднородного распределения концентрации нейтральных частиц.

Научная новизна

1) Разработан и осуществлён оригинальный способ управления распределением внутренними характеристиками тлеющего разряда с помощью организации сверхзвукового потока газа в ограниченной области межэлектродного пространства.

2) Впервые получены картины свечения и вольт-амперные характеристики тлеющего разряда со сверхзвуковым потоком газа, организованным в ограниченной области межэлектродного пространства.

3) Впервые разработана одномерная гибридная модель тлеющего разряда с неоднородным распределением концентрации частиц газа в межэлектродном пространстве с учётом нелокальной зависимости параметров разряда от электрического поля и прилипания электронов к нейтральным молекулам.

4) Впервые теоретически получены распределения концентраций электронов, положительных ионов, отрицательных ионов, потенциала и напряженности электрического поля тлеющего разряда с неоднородным распределением концентрации частиц газа в межэлектродном пространстве.

Теоретическая и практическая значимость полученных результатов и выводов

Гибридная модель и полученные распределения концентраций носителей заряда, электрического поля и потенциала тлеющего разряда с неоднородным распределением концентрации частиц газа в межэлектродном пространстве, могут найти применение в инженерной практике для проектирования генераторов плазмы.

Результаты исследований тлеющего разряда в сверхзвуковом потоке газа в ограниченной области межэлектродного пространства позволят осуществить нанесение покрытий способом катодного распыления при сверхнизких давлениях.

Достоверность полученных результатов

Экспериментальные исследования проведены с использованием измерительных приборов и оборудования, прошедших метрологическую поверку. Для снятия картин свечения и вольт-амперных характеристик разряда использованы апробированные методы исследования. В работе продемонстрирована надежная воспроизводимость результатов измерений и их удовлетворительное согласие с известными опытными данными других авторов.

Рекомендации по использованию полученных результатов

Полученные в диссертационной работе результаты могут быть использованы в организациях, в которых ведутся исследования по созданию и разработке плазменных технологий и техники. В настоящее время результаты работы могут быть рекомендованы к использованию в:

- Казанском (Приволжском) федеральном университете;
 - Объединенном институте высоких температур РАН;
 - Институте нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН;
 - Институте теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН;
 - Санкт-Петербургском государственном университете
- и других организациях, где проводятся исследования в данном направлении.

Замечания по работе

1) Во 2 главе отсутствуют данные о размерах сопла Лавалья, центрального тела, а также расхода газа через сопло при котором была получена вольт-амперная характеристика.

2) В главе 3 отсутствует обоснование выбора газа для осуществления сверхзвуковой прокачки газа через ограниченный участок межэлектродного пространства.

3) В главе 4 отсутствуют результаты моделирования продольной структуры тлеющего разряда для случая однородного распределения

СВЕДЕНИЯ О ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

по диссертационной работе Залялиева Булата Ринатовича «Управление внутренними характеристиками тлеющего разряда путем организации сверхзвукового потока газа», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы

№	Полное наименование организации, почтовый адрес (индекс, город, улица, дом), телефон, адрес электронной почты	Фамилия, Имя, Отчество, учёная степень, ученое звание авторов отзыва, должность с указанием структурного подразделения	Список основных публикаций работников (авторов отзыва) ведущей организации по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (но не более 15 публикаций)
1	<p>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет</p> <p>420008, Россия, РТ, г. Казань, Кремлевская, д. 18.</p> <p>Телефон справочной: +7 (843) 233-71-09.</p> <p>Адрес электронной почты: public.mail@kpfu.tu</p>	<p>Кашапов Наиль Фаикович, д.т.н, профессор, членкор АН РТ и Российской академии инженерных наук, проректор по инженерной деятельности, директор Инженерного института, заведующий кафедрой технической физики и энергетики</p>	<p>1. Гайсин А.Ф., Кашапов Н.Ф. Исследование физических процессов в зоне газового разряда между жидкими электродами // Прикладная механика и техническая физика. – 2018. - №4. – С.19 - 22.</p> <p>2. Гайсин А.Ф., Кашапов Н.Ф., Купутдинова А.И., Мухаметов Р.А. Разряд между струйным жидким и металлическими электродами // Журнал технической физики. – 2018. – Т. 88. - №5. – С. 717 – 721.</p> <p>3. Гайсин А.Ф, Сон Э.Е., Ефимов А.В., Гильмутдинов А.Х, Кашапов Н.Ф. Спектральная диагностика плазмы разряда между металлическим катодом и жидким анодом // Теплофизика высоких температур. – 2017. – Т.55. - №3.- С.472-475.</p> <p>4. Кашапов Р.Н., Кашапов Н.Ф., Кашапов Л.Н., Денисов Д.Г. Исследование плазменно-электролитного разряда в процессах получения металлических порошков // Вестник Технологического университета. – 2017. – Т.20. - №24. – С. 50-53.</p>

			<p>5. Gaisin A.F., Son E.E., Kashapov N.F. Discharge between the jet and dropping liquid cathode and metal anode // Journal of Physics: Conference Series. – 2017. – Vol.927. – P.012018.</p> <p>6. Денисов Д.Г., Кашапов Л.Н., Кашапов Н.Ф., Кашапов Р.Н. Применение газового разряда с жидкими электродами для финишной обработки изделий селективного лазерного сплавления // Низкотемпературная плазма в процессах нанесения покрытий. – 2016. – Т.1. - №7. – С. 199-203.</p> <p>7. Dautov G.Y., Kashapov N.F., Zakirova G.R., Dautov I.G. The influence of ripple current on characteristics of electric arc, stable in a cylindrical plasmatron channel // Journal of Physics: Conference Series. – 2016. – Vol.669. – P.012007.</p> <p>8. Volokitin G.G., Skripnikova N.K., Volokitin O.G., Shehovtsov V.V., Luchkin A.G., Kashapov N.F. Plasma technologies application for building materials surface modification // Journal of Physics: Conference Series. – 2016. – Vol.669. – P.012065.</p> <p>9. Лучкин А.Г., Кашапов Н.Ф. Применение аномального тлеющего разряда в присутствии реакционного газа для получения покрытий с мемрезисторным эффектом // В книге: Современные проблемы физики и технологий. Тезисы докладов IV Международной молодежной научной школы-конференции. – 2015. – С. 191-192.</p> <p>10. Кашапов Н.Ф., Кашапов Р.Н., Семушин В.Д. Плазменно-электролитное получение наночастиц никеля с экранированным катодом // Низкотемпературная плазма в процессах нанесения функциональных покрытий. – 2015. – Т.1 - №6. – С. 251-256.</p> <p>11. Кашапов Н.Ф., Фадеев С.А. Исследование влияния акустических</p>
--	--	--	--

			<p>колебаний на характеристики тлеющего разряда // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2014. – Т.57. - №3-2. – С. 110-113.</p> <p>12. Кашапов Р.Н., Лучкин А.Г. Применение низкотемпературной плазмы для нанесения упрочняющих покрытий на пластики // Известия высших учебных заведений. Физика. 2014. – Т.57. - №3-3. – С. 160-163.</p> <p>13. Кашапов Р.Н., Кашапов Н.Ф. Исследование влияния кислотности электролитического катода на протекание плазменно-электролитного катода // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2014. – Т.57 - №3-3. – С.167-167.</p>
--	--	--	---

Сведения о ведущей организации подтверждаю.

Проректор по научной деятельности ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», доктор геолого-минералогических наук, профессор,

Д.К. Нурғалиев

