

В диссертационный совет Д 002.110.02 Федерального
государственного бюджетного учреждения науки
Объединённого института высоких температур
Российской академии наук
по адресу: 125412, г. Москва,
ул. Ижорская, д. 13, стр. 2, ОИВТ РАН

ОТЗЫВ

официального оппонента Шахатова Вячеслава Анатольевича
на диссертационную работу Кавыршина Дмитрия Игоревича
«Получение и исследование сильноионизованной квазистационарной плазмы гелия
атмосферного давления», представленную на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности 01.04.08 - «Физика плазмы».

Актуальность темы

Получение и исследование сильноионизованной плазмы атмосферного давления является актуальным для фундаментальных и прикладных исследований: абляции материалов; плазмохимических реакций; восстановления металлов из окислов; нанесения и модификации покрытий; резки и сварки металлов и неметаллов; синтеза наноматериалов и ультрадисперсных порошков тугоплавких материалов и т.д.

Структура и содержание диссертации

Диссертация включает экспериментальный и теоретический материал, полученный лично автором, и состоит из введения, трех глав, выводов и списка литературы. Перечень литературы содержит 83 источника. Он полно отражает имеющиеся публикации по теме диссертации. Общий объем диссертации - 143 страницы, 63 рисунка и 6 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы. Обсуждается научная новизна полученных результатов, научная и практическая значимость работы. Сформулированы цели и задачи работы. Перечислены методы исследования, применяемые в работе для решения обозначенных задач. Приведены положения, выносимые на защиту и список основных публикаций по теме диссертации. Определен личный вклад автора. Представлены аннотация, структура и объем диссертации.

В первой главе диссертации приведен обзор литературы. Определены особенности получения плазмы дугового разряда в атмосфере гелия. Рассмотрены известные подходы к её изучению.

Вторая глава диссертации посвящена развитию уровневой столкновительно-излучательной модели оптически тонкой плазмы дугового разряда в гелии при атмосферном давлении. Модель включает процессы столкновений первого и второго рода максвеллизированных электронов с возбужденными нейтральными и ионизованными атомами гелия, трехчастичной электрон-ионной рекомбинации, радиационного тушения нейтральных и ионизованных атомарных возбужденных состояний, диффузии заряженных и нейтральных частиц из разрядной зоны. В ней также учитывается различные механизмы уширения линий (Штарк - и Доплер эффекты). Создана база данных столкновительно-излучательных характеристик процессов. Модель, имеет практическое значение для интерпретации механизмов формирования спектрального состава излучения пространственно-неоднородной плазмы, для обработки результатов спектральных измерений и обоснования методик определения температуры и концентрации электронов, температуры тяжелых частиц, констант штарковского уширения и излучательных вероятностей для дипольно-разрешенных переходов

между возбужденными состояниями нейтрального атома гелия, для оценки тепло- и электропроводности плазмы.

В третьей главе диссертации описывается разработанный и созданный автором экспериментальный стенд для исследования стационарной и квазистационарной сильноионизованной плазмы дугового разряда в атмосфере гелия (напряженность электрического поля 20 В/см при удельном энергокладе $50 - 500 \text{ кВт/см}^2$). Он позволяет воспроизводить параметры разряда в диапазоне силы тока дуги от 100 до 400 А. Стенд включает: дуговой плазматрон; диагностический комплекс для оптической визуализации горения дуги, для измерений (относительных и абсолютных) интенсивностей спектров испускания плазмы (в диапазоне длин волн 200 – 1100 нм) с пространственным (30-50 мкм) и временным (5-50 мкс) разрешением, для калибровки оптических средств измерений, для электрофизических измерений тока и напряжения. Усовершенствование конструктивных элементов плазматрона позволило, впервые, для подобного типа установок, увеличить температуру электронов до 35000 К в стационарном режиме его работы. Практическое значение для развития техники электродугового подогрева и сжатых дуг имеет предложенный в диссертации способ увеличения тока дуги (до 4,5 кА) в квазистационарном (импульсном) режиме работы плазматрона (длительностью 1000 мкс). Оптимизация параметров импульсного источника питания и конструкции плазматрона позволило, впервые, для подобного режима работы плазматронов, увеличить степень ионизации газа на 50% и температуру электронов до 43000 К по сравнению со стационарным режимом горения дуги. Практическое значение для диагностики сильноионизованной плазмы имеют развитые в диссертации методики измерений излучения от источников, имеющих по отношению к размерам канала плазматрона небольшие линейные размеры и пространственно-неоднородное распределение по его сечению.

В четвертой главе диссертации приведены и обсуждаются результаты исследований. Автором разработано программное обеспечение для анализа и обработки результатов относительных и абсолютных измерений распределения интенсивностей от длины волны. С привлечением разработанной в диссертации модели плазмы автором выполнен анализ спектрального состава излучения дугового разряда и оптимальный выбор атомных линий для определения параметров дуги. Посредством преобразования Абеля восстановлены радиальные распределения спектральных профилей выбранных атомных линий по сечению канала плазматрона в диапазоне тока 200 - 400 А. Впервые определено радиальное распределение поступательной температуры газа (диапазон изменения на оси канала 20000 – 25000 К) с использованием смешанного контура инфракрасной линии атома гелия на длине волны 1083 нм. Уточнены константы штарковского уширения и излучательные вероятности для 14 дипольно-разрешенных переходов между возбужденными состояниями нейтрального атома гелия. Это позволило определить радиальные распределения концентрации (на оси канала $8,6 \times 10^{16} - 9,3 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$) и температуры (на оси канала 34100 – 35700 К) электронов, а также восстановить распределение абсолютных заселенностей по электронным уровням нейтрального атома гелия в более широком диапазоне энергий возбуждения 20,96 – 24,20 эВ, чем в предыдущих исследованиях. Установлено, что распределение заселенностей отличается от распределения Больцмана при измеренной температуре электронов, которая заметно превышает поступательную температуру газа. Эти данные свидетельствуют о наличии неравновесности ионизационного типа в гелиевой плазме атмосферного давления. Полученные результаты имеют практическое значение с точки зрения развития уровневых столкновительно - излучательных моделей сильноионизованной плазмы гелия атмосферного давления.

В выводах приведены основные результаты и научные положения, выносимые на защиту.

Степень обоснованности научных положений, рекомендаций и выводов, полученных соискателем достаточная.

Достоверность и новизна научных результатов

Достоверность экспериментальных результатов подтверждается тем, что они получены автором независимыми методами на современном поверенном оборудовании в многочисленных экспериментах.

Результаты исследований представлены в 6 печатных работах, опубликованных в рецензируемых научных журналах, входящих в список ВАК. Девять публикаций представлены в сборниках материалов всероссийских и международных конференций.

Новизна основных результатов не вызывает сомнений.

Практическая значимость работы состоит в создании экспериментального стенда, который может быть использован для развития техники электродугового подогрева. Полученные экспериментальные данные для дугового разряда в гелии атмосферного давления, такие как концентрация и температура электронов, поступательная температура газа, распределение абсолютных заселенностей по электронным уровням нейтрального атома гелия могут быть использованы для развития уровневых столкновительно - излучательных моделей сильноионизированной плазмы. Разработанные автором методы спектральной диагностики могут найти применение в фундаментальных и прикладных исследованиях газовых разрядов.

Теоретическая значимость работы состоит в развитии уровневой столкновительно-излучательной модели плазмы дугового разряда в гелии при атмосферном давлении для интерпретации и обработки результатов спектральных измерений в сильноионизированной плазме.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов работы

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы в ИИХС РАН, на Физическом факультете и Институте механики МГУ, СПбГУ, ТРИНИТИ, МФТИ, Институте химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, ИОФРАН, Новосибирском государственном университете, Ивановском химико-технологическом университете и др.

Оценка содержания и завершенности диссертации

Представленная работа, судя по автореферату и тексту диссертации, является завершенным исследованием. Автореферат отражает содержание диссертации и даёт полное представление о ней. Диссертация представляет собой специально подготовленную рукопись, содержит совокупность новых научных результатов, имеет внутреннее единство.

Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации

Оформление диссертации отвечает требованиям ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации. Все результаты диссертации получены автором лично или при его определяющем участии (п.10 «Положения»).

К работе имеются небольшие редакционные замечания, касающиеся оформления диссертации, например, на стр.11 и на рис.31 (стр.79) имеют место опечатки «...характеристик паравоснесности...» и «Серия Фоулера», соответственно.

По тексту диссертации и автореферата имеются следующие замечания.

1. Из текста диссертации не совсем понятно, какому типу дуг автор классифицирует исследуемую дугу - к коротким дугам или длинным дугам? При оценке температуры на оси канала дуги нужно ли учитывать потери вкладываемой энергии на аноде и катоде? Какой тип формы привязки дуги к анодному и катодному пятнам?

2. Какие столкновительные и излучательные процессы (электронов с нейтральными атомами гелия) автор диссертации рассматривает при определении времени релаксации распределении энергии по электронно-возбужденным состояниям гелия?

3. В диссертации обсуждается применимость модели ЛТР плазмы для обработки результатов спектральных измерений. Автором приведено экспериментальное доказательство наличия в дуге атмосферного давления в гелии ионизационной неравновесности вследствие пространственной неоднородности, что ограничивает применение модели ЛТР плазмы для обработки спектральных измерений. При обсуждении применимости модели ЛТР плазмы автором не рассматриваются результаты, приведенные в книгах Райзера Ю.П. (Физика газового разряда. М.: Наука, 1992.) и Грановского В.Л. (Электрический ток в газе. М.: Гостехиздат, 1950.), которые, напротив, свидетельствуют о том, что для дуги атмосферного давления в гелии при токе 200 А и выше модель ЛТР плазмы применима для интерпретации измерений. Экспериментальные условия по компонентному составу, диапазонам давления и тока, при которых получены эти результаты, идентичны условиям эксперимента диссертационной работы. Не мог бы автор диссертации разъяснить этот вопрос?

Высказанные критические замечания не изменяют основных научных положений и результатов диссертации, не снижают их научной и практической значимости и не оказывают влияния на положительную оценку диссертационной работы Кавыришина Д.И..

Соответствие диссертации и автореферата требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней»

Диссертация Кавыришина Дмитрия Игоревича «Получение и исследование сильноионизированной квазистационарной плазмы гелия атмосферного давления» является научно-квалификационной работой высокого уровня и соответствует требованиям п. 9-11 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени по специальности 01.04.08, - «Физика плазмы».

Даю свое согласие на обработку персональных данных.

Ведущий научный сотрудник, Лаборатории №14 «Плазмохимии и физикохимии импульсных процессов»

д.ф.-м.н. по специальности 01.04.08 - физика плазмы.

Вячеслав Анатольевич Шахматов

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Трудового Красного Знамени Института нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева Российской академии наук (ИНХС РАН, website: <http://www.ips.ac.ru/>)

119991, Россия, ГСП-1, Москва.

ИНХС РАН, Ленинский проспект, 29.

Телефон: 8 985 15 80 586; e-mail: shukhutov@ips.ac.ru

Подпись в.н.с., д.ф.-м.н. Шахматова В. А. заверяю;

Ученый секретарь ИНХС РАН, канд. хим. наук



Ирина Сергеевна Калашникова

Дата: 07 сентября 2014 г.