

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

ОТЗЫВ

официального оппонента Шахатова Вячеслава Анатольевича на диссертационную работу Левченко Владимира Александровича «Генерация ультрафиолетового излучения ртутным разрядом с высокой плотностью тока при низких давлениях», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 - «физика плазмы».

Актуальность темы.

В настоящее время, как в нашей стране, так и за рубежом, источники электромагнитного излучения, созданные на основе ртутных и амальгамных газоразрядных ламп, работающих в ультрафиолетовом (УФ) диапазоне длин волн, находят все большее технологическое применение для генерации озона, для обеззараживания и высокопроизводительной фотохимической очистки поверхностей, воздушной и водной среды от вредных для физиологии человека органических примесей и микроорганизмов. Особое внимание уделяется разработке амальгамных газоразрядных ламп, являющимися источниками вакуумного ультрафиолетового излучения на длине волны 185 нм. Это связано с широким кругом их потенциальных применений. Низкотемпературная плазма таких источников излучения мало изучена, что обусловлено экспериментальными трудностями проведения спектральных исследований в вакуумном УФ диапазоне длин волн. Недостаток экспериментальных данных о параметрах разряда стимулирует развитие столкновительно – излучательных моделей, необходимых для описания неравновесной плазмохимии и оптимизации газоразрядных ламп. Создание и оптимизация экологичных, надежных и простых в эксплуатации, с большим сроком службы и высоким коэффициентом полезного действия амальгамных газоразрядных ламп является актуальным как с точки зрения фундаментальных основ теории неравновесной плазмохимии газовых разрядов, так и с точки зрения решения многочисленных экологических и экономических задач в сельском хозяйстве, в здравоохранении и пищевой промышленности.

Структура и содержание диссертации.

Диссертация включает обширный экспериментальный материал, полученный лично автором, и состоит из Введения, четырех глав и Заключения. В конце каждой главы приведено краткое заключение, содержащее основные результаты данной главы. Перечень литературы содержит 117 источников, достаточно полно отражающих имеющиеся публикации по теоретическим и экспериментальным исследованиям низкотемпературной плазмы в смесях инертных газов с парами ртути. Общий объем диссертации - 127 страницы, 70 рисунков и 6 таблиц.

Во введении: обоснована актуальность выбранной темы; обсуждается научная и практическая значимость работы, научная новизна и степень достоверности полученных результатов; сформулирована цель работы; перечислены задачи, решенные в диссертации; определен личный вклад автора; приведен список основных публикаций по теме диссертации; представлены апробация, структура и объем диссертации.

Первая глава работы посвящена литературному обзору. Дана сводка делений на диапазоны по длинам волн УФ излучения. Затронуты вопросы, касающиеся хронологии развития и технологического применения генераторов УФ излучения. Описаны физические принципы действия, разработки согласованных физических и математических моделей источников УФ. Обсуждаются результаты исследований механизмов физико-химических процессов, обуславливающих формирование спектрального состава излучения низкотемпературной плазмы в смесях инертных газов с парами ртути при низких давлениях. Установлены макропараметры газовых разрядов, влияющих на спектральный состав и интенсивность излучения, ресурс службы газоразрядной лампы. На основе обзора обоснованы и сформулированы задачи, решаемые в диссертации.

Во второй главе диссертации развивается столкновительно - излучательная модель разрядов переменного тока низкого давления (0.1 - 2 Торр) в смесях инертных газов с парами ртути. Приведены основные уравнения модели – кинетическое уравнение для функции распределения электронов по энергиям и уравнения для концентраций нейтральных и заряженных частиц, с учетом процессов диффузии частиц и переноса излучения в плазме (модель Бибермана-Холстейна), которые решаются в самосогласованной постановке. Описывается алгоритм определения параметров разряда, из которых наиболее важными являются поток резонансного излучения разряда на длинах волн 185 нм и 254 нм. Модель, дополненная и усовершенствованная автором диссертации, имеет важное практическое и теоретическое значение для исследований столкновительно - излучательных процессов в сложных по компонентному составу газовых смесях в неравновесной плазме. Автором реализована возможность моделирования разряда не только в аргоне с парами ртути, но и при использовании в качестве буферного газа смеси неон-аргон. Достоверность результатов численного моделирования обосновывается их сравнением с результатами измерений коэффициентов полезного действия и потоков УФ излучения для безэлектродного индукционного разряда трансформаторного типа и электродного дугового разряда.

В третьей главе диссертации приведено описание разработанных и созданных автором целого ряда экспериментальных установок для спектральных исследований дугового электродного и индукционного разрядов переменного тока. Важное практическое значение имеют развитые в диссертации методики: спектральных измерений потоков УФ излучения от источников, имеющих относительно большие линейные размеры; исследования износа защитных покрытий; электрофизических измерений тока, напряжения и мощности, поглощаемой плазмой разрядов. Достоверность экспериментальных данных обосновывается повторяемостью результатов измерений и анализом погрешности определения потоков УФ излучения, коэффициентов полезного действия и мощности, поглощаемой плазмой, источников излучения. Следует отметить, что это часть очень сложной и трудоемкой исследовательской работы экспериментатора выполнена автором диссертации на очень высоком научном уровне с использованием современных методов регистрации сигналов и автоматизированной обработки полученных данных.

Четвертая глава диссертации посвящена обсуждению результатов экспериментальных исследований параметров газовых разрядов, которые имеют важное научное и практическое значение с точки зрения развития моделей газовых разрядов, конструирования и оптимизации эксплуатационных характеристик источников УФ излучения: потоков УФ излучения; амплитуд напряженности электрического поля и тока; потерь мощности в приэлектродных слоях; коэффициентов полезного действия и спектрального состава источников излучения;

ресурса службы электродного узла лампы и её защитных покрытий – смеси шпинеля с простыми оксидами щелочноземельных металлов. Впервые измерены и рассчитаны потоки резонансного излучения на длинах волн 185 нм и 254 нм электродного дугового и безэлектродного индукционного разряда в смеси неон - аргон и парах ртути в диапазоне давлений 0.1 – 1 Торр. Теория и эксперимент находятся в хорошем согласии. Впервые получена немонотонная зависимость потока УФ излучения на длине волны 185 нм от процентного содержания неона в буферной смеси неон - аргон и парах ртути в электродном дуговом разряде, имеющая максимум в диапазоне давлений 0.1 – 0.6 Торр. Положение максимума зависит от процентного содержания неона в смеси. Установлено, что величина мощности, поглощаемой плазмой в приэлектродных областях, определяется плотностью тока и давлением неон - аргонной смеси. Показано, что добавка (менее 1%) криптона к неон – аргонной смеси продлевает время работы газоразрядной лампы низкого давления в режиме её работы при высокой плотности тока.

В Заключение приведены основные результаты и положения, выносимые на защиту.

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

Достоверность и новизна научных результатов.

Достоверность результатов расчетов, полученных автором, подтверждается их хорошим согласием с большим набором экспериментальных данных. **Достоверность экспериментальных результатов** подтверждается тем, что они получены автором независимыми методами на современном поверенном оборудовании с использованием большого количества образцов и подтверждается их сравнением с результатами расчетов.

Результаты исследований представлены в 26 печатных работах, из которых 11 опубликованы в рецензируемых научных журналах, входящих в список ВАК, 15 – в сборниках материалов всероссийских и международных конференций.

Новизна основных результатов не вызывает сомнений.

Практическая значимость работы состоит в получении экспериментальных данных для электродного дугового разряда и безэлектродного индукционного разряда трансформаторного типа в неон – аргонных и неон – аргон - криптоновых смесях с парами ртути при низких давлениях 0.1 – 1 Торр: мощности, поглощаемой плазмой; потока и коэффициента полезного действия генерации УФ излучения. Выполненная в диссертации селекция защитных покрытий на основе смеси шпинелей с простыми оксидами щелочноземельных металлов увеличивает время работы безэлектродных ламп при высоких плотностях разрядного тока.

Теоретическая значимость работы состоит в развитии столкновительно-излучательной модели низкотемпературной плазмы в смесях неон – аргон с добавками ртути при низких давлениях 0.1 – 2 Торр. Модель воспроизводит большой массив экспериментальных данных с погрешностью 20–30%. Она позволяет: интерпретировать механизмы физико-химических процессов, обуславливающих резонансное излучение атомов ртути на длинах волн 185 и 254 нм; предсказывать мощность, поглощаемую плазмой дугового разряда низкого давления, коэффициент полезного действия и потоки УФ излучения газоразрядных ламп.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов работы.

Экспериментальные данные могут быть использованы для тестирования, усовершенствования и развития столкновительно – излучательных моделей плазмы, а также для проектирования и оптимизации источников УФ излучения. Созданный комплекс экспериментальной аппаратуры и развитая столкновительно - излучательная

модель низкотемпературной плазмы могут быть применены в решении фундаментальных и прикладных задач в физике газовых разрядов.

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 и используемой терминологии, например, на рис.1.12 (стр. 39) отсутствует обозначение по оси ординат.

К недостаткам содержания работы можно отнести следующие замечания.

1. При изложении допущений, принятых при построении модели газового разряда, автор ограничивается обсуждением локальности ФРЭЭ, а также пространственно – однородным приближением. При этом в диссертации отсутствует перечень основных общих предположений, на основе которых строятся столкновительно - излучательные модели газовых разрядов:

- плазма является слабоионизованной, квазинейтральной и невырожденной средой;
- численное исследование параметров плазмы проводится в приближении идеального ионизованного газа;
- выполняется принцип детального равновесия.

Вывод кинетического уравнения для ФРЭЭ основан на справедливости приведенных выше общих предположений. Кроме локального и пространственно-однородного приближений поведение электронной компоненты в газовых разрядах переменного тока определяется в дрейфовом приближении и квазистационарном приближении. Эти основные предположения, желательно, было бы перечислить в диссертации.

2. При анализе баланса потерь энергии возбужденными частицами плазмы автором диссертации не обсуждаются процессы дезактивации внутренней энергии метастабильных и возбужденных атомов на стенке разрядной трубки. Как это может отразиться в результатах расчётов потоков резонансного излучения?

3. В диссертации не выполняются измерения таких важных макропараметров разрядов как поступательная температура и парциальное давление паров ртути. При этом исследования разрядов выполняется при высоких значениях тока. Температура также является исходной величиной в модели. Как это может отразиться на результатах оптимизации параметров источников УФ излучения?

4. При спектральных исследованиях источников излучения, помещенных в небольшой замкнутый объем, необходимо учитывать и устранять переотражение измеряемого излучения от внутренней поверхности объема. Это явление может существенно влиять на спектральный состав излучения и приводить к заметному искажению измеряемой величины сигнала. Обработывались ли внутренние поверхности используемых в диссертации экранов, коробов или измерительной камеры из нержавеющей стали специальным составом, уменьшающим этот эффект? Если не использовались, то, как это может отразиться на результатах измерения потоков УФ излучения?

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 В.А. Левченко.

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

Диссертация Левченко Владимира Александровича «Генерация ультрафиолетового излучения ртутным разрядом с высокой плотностью тока при низких давлениях» 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,
д.ф.-м.н. по специальности 01.04.08 – физика плазмы,

 Вячеслав Анатольевич Шахатов

119991, Россия, ГСП-1, Москва,
ИНХС РАН, Ленинский проспект, 29.
Телефон: 8 985 15 80 586; e-mail: shakhatov@ips.ac.ru; website: <http://www.ips.ac.ru/>

Подпись Шахатова В. А. заверяю:
Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Ордена Трудового Красного Знамени Институт нефтехимического синтеза им. А.В.
Топчиева Российской академии наук (ИНХС РАН)

канд. хим. наук

Дата: 30 ноября 2016 г.





Ирина Сергеевна Калашникова