

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 Курнаева Валерия Александровича 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»

В настоящее время амальгамные газоразрядные лампы низкого давления являются наиболее востребованными источниками УФ и вакуумного ультрафиолетового (ВУФ) излучения, поскольку имеют большую мощность и высокий КПД по сравнению с другими типами разрядов. УФ излучение с длиной волны 254 нм обладает ярко выраженным бактерицидным эффектом и применяется при обеззараживании воды, поверхностей и воздуха. Излучение с длиной волны 185 нм поглощается в воздухе молекулярным кислородом и парами воды, и может быть использовано для генерации озона и радикалов (OH^\cdot , O^\cdot) для фотохимической очистки воздуха от вредных веществ и запахов. В настоящее время данное направление активно развивается, и газоразрядные лампы низкого давления применяются для очистки воздуха в промышленных масштабах. Поэтому разработке мощных амальгамных газоразрядных ламп, являющимися источниками ВУФ излучения на длине волны 185 нм и работающими при высоких (свыше $0,5 \text{ А/см}^2$) плотностях разрядного тока уделяется особое внимание. Вместе с этим стоит отметить, что в отличие от излучения с длиной волны 254 нм, закономерности генерации излучения с длиной волны 185 нм ртутным разрядом низкого давления изучены недостаточно хорошо. Недостаток экспериментальных данных об этих характеристиках не позволяет оптимизировать существующие источники ВУФ излучения, а также усовершенствовать математические модели электрического разряда в смеси паров ртути и инертного газа, которые могли бы послужить дополнительным инструментом при разработке газоразрядных источников ВУФ излучения. Поэтому исследования влияния параметров разряда на поток и КПД генерации ВУФ излучения, усовершенствование существующих моделей разряда и поиск способов увеличения срока службы амальгамных газоразрядных ламп низкого давления представляют научно-практический интерес. В связи с этим актуальность темы диссертации не вызывает сомнений.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка цитируемой литературы. Объем диссертации составляет 127 страниц, приведено 70 рисунков и 6 таблиц, библиографический список цитируемой литературы содержит 117 наименований.

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.

В первой главе проведён анализ литературы, посвященной генерации УФ излучения ртутным разрядом низкого давления. Затронуты вопросы, касающиеся хронологии развития и технологического применения генераторов УФ излучения. Описываются физические принципы генерации УФ излучения электрическим разрядом в смеси паров ртути и инертного газа, указываются параметры, влияющие на эффективность генерации УФ излучения ртутным разрядом низкого давления. Сформулированы и обоснованы задачи, решаемые в диссертации.

Во второй главе диссертации представлена математическая модель плазмы ртутного разряда смеси с инертным газом. В локальном приближении и без учета объёмной рекомбинации заряженных частиц решалось уравнение Больцмана для распределения электронов по энергиям. Учитываются процессы диффузии частиц и переноса излучения в плазме для двух резонансных линий с длинами волн 254 нм и 185 нм. Уравнения модели решаются в самосогласованной постановке, впервые реализована возможность моделирования разряда при использовании в качестве буферного газа смеси неон-аргон.

Третья глава диссертации посвящена описанию экспериментальных установок и методик, использованных в ходе проведения исследований дугового электродного и индукционного разрядов переменного тока. Описываются методики измерения как электрических характеристик вышеуказанных типов разрядов, так и методики измерения потока УФ/ВУФ излучения. При этом в основу метода измерения УФ излучения положен метод Кайтца и методика измерений, предложенная и разработанная в компании ЛИТ. Для измерения потока ВУФ излучения разработана схема измерений на основе вакуумного монохроматора. В конце третьей главы приводится метод исследования износа защитных покрытий, предназначенных для увеличения полезного срока службы газоразрядных источников.

В четвёртой главе диссертации обсуждаются результаты экспериментальных исследований параметров ртутного разряда низкого давления при различных условиях, приводится сравнение экспериментальных и расчетных данных и их обсуждение. При этом теоретические расчёты находятся в хорошем согласии с полученными экспериментальными зависимостями. В рамках диссертационной работы получены зависимости КПД генерации и потока ВУФ излучения линии 185 нм от давления и состава буферной смеси неон-аргон при низких давлениях 0,1-2 Торр и частоте разрядного тока 80 кГц. Впервые получена немонотонная зависимость потока УФ излучения на длине волны 185 нм от процентного содержания неона в буферной смеси неон-аргон и паров ртути в электродном дуговом разряде, имеющая максимум в диапазоне давлений 0,1–0,6 Торр. Положение максимума зависит от процентного содержания неона в смеси. Произведены измерения падения напряжения и величины рассеиваемой мощности в приэлектродных слоях электрического разряда в смеси паров ртути и инертных газов Ne-Ag при частоте тока 80 кГц. Установлено, что величина мощности, поглощаемой плазмой в приэлектродных областях, определяется плотностью тока и давлением смеси неон - аргон. Впервые получены характеристики индукционного разряда в безэлектродных лампах трансформаторного типа с внутренним диаметром разрядной трубки 16,6 мм для давлений буферной смеси Ne-Ag менее 1 Торр при частоте тока разряда 265 кГц. Показано, что генерация УФ излучения линии 254 нм такая же, как в линейных электродных лампах. Последний параграф четвёртой главы посвящён вопросу увеличения физического и полезного ресурса мощных газоразрядных источников УФ излучения. Показано, что добавка (менее 1%) криптона к смеси неон – аргон продлевает время работы газоразрядной лампы низкого

давления при высокой плотности тока. Экспериментальные исследования защитных покрытий смешанного состава оксид-шпинель для газоразрядных ламп низкого давления с высокой погонной мощностью показали высокую эффективность защитных покрытий смешанного состава оксид-шпинель, на уровне лучших защитных покрытий на основе плёнок оксидов редкоземельных элементов.

В Заключение приведены основные выводы диссертации.

Результаты данной работы могут быть использованы при разработке и усовершенствовании математических моделей электрического разряда в смеси паров ртути и инертного газа. Усовершенствованная модель ртутного разряда низкого давления воспроизводит большой массив экспериментальных данных с точностью 15-30% и, наряду с полученными экспериментальными данными, может быть использована при проектировании и оптимизации источников УФ излучения. Предложенные защитные покрытия смешанного состава оксид-шпинель представляются перспективными для применения в газоразрядных источниках УФ излучения с высокой плотностью разрядного тока.

Достоверность экспериментальных результатов подтверждается проведением измерений на современном поверенном оборудовании при использовании проверенных ранее методик, проведённым анализом погрешностей измерений исследуемых характеристик образцов. Измерения проводились на большом количестве экспериментальных образцов и показали хорошую воспроизводимость. Полученные результаты при более высоких давлениях совпадают с известными данными. Достоверность результатов расчетов подтверждается тем, что результаты численного моделирования находятся в хорошем согласии с экспериментальными результатами.

По диссертации имеются следующие замечания:

1. В диссертационной работе на стр. 51 при описании модели разряда указывается, что учитывалось 10 природных изотопов ртути. Однако, природная ртуть состоит из смеси 7 стабильных изотопов.

2. Автор на основе полученных экспериментальных данных показал, что в индукционном разряде с частотой 265 кГц эффективность генерации УФ излучения линии 254 нм такая же, как в линейных электродных лампах с частотой тока 80 кГц. Далее следует вывод, что это верно и для излучения с длиной волны 185 нм. Однако, эти две линии излучения соответствуют переходам с разных уровней, поэтому зависимость излучения линии 185 нм от частоты тока разряда может быть другой.

3. В диссертационной работе приводятся удельные (на длину 1 м) экспериментально полученные потоки УФ излучения, мощности и КПД разряда, при этом уделяется внимание учёту потерь мощности в приэлектродной зоне дуговых источников. Однако, не указывается, как определялись размеры самой приэлектродной зоны.

4. На рис. 4.3 (с. 82) не указано, при каких значениях разрядного тока производились измерения.

Сделанные замечания не влияют на положения, выносимые на защиту, и не снижают ценность полученных результатов.

Материалы диссертации опубликованы в 26 печатных работах, из которых 11 опубликованы в рецензируемых научных журналах, входящих в список ВАК, а также обсуждались на российских и международных конференциях. Статьи правильно представляют основное содержание диссертации.

Представленная работа является завершенным научным исследованием. Диссертация представляет собой специально подготовленную рукопись, содержит совокупность новых научных результатов, имеет внутреннее единство.

Автореферат отражает содержание диссертации и даёт полное представление о ней.

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».

Официальный оппонент

Заведующий кафедрой физики плазмы НИЯУ МИФИ,
д.ф.-м.н. по специальности 01.04.08 – физика плазмы,



Валерий Александрович Курнаев

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
115409, г. Москва, Каширское шоссе, д. 31
Телефон: 8 9037621942; e-mail: kurnaev@plasma.mephi.ru; website: <https://mephi.ru/>

Дата: 28 ноября 2016 г.



Шашкина Татьяна Сергеевна