

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Утверждаю

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«Рязанский государственный
радиотехнический университет
имени В.Ф. Уткина»

(ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотех-
нический университет им. В.Ф. Уткина»,

ФГБОУ ВО «РГРТУ», РГРТУ)

Гагарина ул., 59/1, г. Рязань, 390005

Телефон: (4912) 72-03-03

Факс: (4912) 92-22-15

E-mail: rgrtu@rsreu.ru

Проректор по научной работе
и инновациям РГРТУ,
доктор технических наук, доцент

Гусев С.И.

19.04

2022 г. № 1473/74

На №

от

2022 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Рязанский государственный радиотехнический университет" имени В.Ф. Уткина на диссертационную работу Киреева Сергея Геннадьевича «Разработка способов повышения эксплуатационных характеристик импульсного ксенонового источника УФ-излучения для опико-электронных систем обеззараживания», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.1 - «Вакуумная и плазменная электроника»

Общие сведения о диссертационной работе.

На рассмотрение ведущей организации были представлены диссертация Киреева Сергея Геннадьевича, объемом 193 страницы, включающая 89 рисунков, состоящая из введения, пяти глав, заключения, двух приложений и списка литературы из 157 наименований, и автореферат, отражающий краткое содержание вышеуказанной диссертации.

Актуальность темы диссертационного исследования

Диссертация С.Г. Киреева посвящена важной и актуальной задаче теоретического и экспериментального исследования процессов формирования плазменного канала при различных способах инициирования разряда во взаимосвязи с изучением механизмов деградации кварцевой оболочки на протяжении всего срока службы импульсной ксеноновой лампы. Поставленная в диссертации цель приобретает особую научную важность в связи с тем, что автор, выяснив причины уменьшения оптической

прозрачности кварцевой колбы, решает вопрос о снижении скорости процессов испарения и кристаллизации кварца путем оригинального технического решения, обеспечивающего условия формирования сильноточной стадии разряда из непрерывно горящего слаботочного плазменного канала (дежурной дуги). Особую значимость проведенным Киреевым С.Г. теоретическим и экспериментальным исследованиям придает необходимость повысить срок службы оптико-электронных систем (ОЭС) обеззараживания воздуха и поверхности, в которых используется УФ-излучение импульсных ксеноновых газоразрядных ламп в режимах редких вспышек, которые на сегодняшний день являются наиболее эффективными средствами борьбы с COVID-19. Кроме этого изучение физических механизмов, адекватно описывающих процессы в плазме и ограничивающей ее оболочке, представляет несомненный интерес, как с точки зрения фундаментальной физики, так и практических приложений, направленных на создание новых типов высокоинтенсивных газоразрядных источников излучения с повышенной эффективностью в различных спектральных диапазонах.

Содержание диссертационной работы

Во введении обоснована актуальность работы, дан обзор литературных источников, посвящённых экспериментальному и теоретическому исследованию импульсного ксенонового разряда во взаимосвязи с процессами в ограничивающей оболочке и схемах электрического питания, сформулирована цель диссертационного исследования, описаны основные задачи и представлены направления их решения.

Первая глава посвящена научному анализу современного состояния исследований в области физики пробоя при различных способах иницирования разряда и формированию основных направлений диссертационного исследования. Особое значение уделено научному анализу физико-химических процессов в плазме и на поверхности конструктивных элементов (оболочка, электроды) импульсной ксеноновой лампы и взаимосвязи с ее долговечностью. Скрупулезно рассмотрены факторы, определяющие КПД УФ-излучения, выполнен обзор методов, обеспечивающих увеличение эффективности излучения плазмообразующей среды и повышение срока службы импульсной ксеноновой лампы.

Во второй главе основное внимание уделяется разработке методик и аппаратного обеспечения исследований характеристик импульсных ксеноновых ламп. Данная проблема в настоящее время практически не решена, потому что использование импульсного УФ-излучения в качестве средства дез-

инфекции стало возможным только благодаря созданной в ООО «Мелитта» оптико-плазменной технологии обеззараживания. По этой причине автор подробно описывает разработанные им методики калибровки фотоэлектрических приемников импульсного излучения, измерения спектрально-энергетических характеристик импульсных газоразрядных ламп, исследования азимутальной неравномерности и ресурсных характеристик источника излучения. Отдельный раздел посвящен рассмотрению разработанной автором установки исследования характеристик УФ-излучения и электрических параметров газоразрядных импульсных ламп, обеспечивающей возможность учета энергетических потерь, как в разрядном контуре, так и в самой газоразрядной лампе.

В третьей главе рассматриваются результаты экспериментального исследования процессов, определяющих долговечность и параметры излучения импульсных газоразрядных ламп в ультрафиолетовом диапазоне спектра. Автором впервые выявлена азимутальная неравномерность оптической деградации кварцевой оболочки, обусловленная отклонением плазменного канала от оси лампы, установлено влияние осесимметричной организации газового разряда и параметров разрядного контура на долговечность импульсных газоразрядных ламп. В завершении главы с целью сокращения области поиска оптимальных конструктивных и эксплуатационных характеристик импульсного источника УФ-излучения Киреевым С.Г. подробно описывается расчетная методика для определения термодинамических параметров плазмы импульсной газоразрядной лампы.

В четвёртой главе выполнены расчетно-экспериментальные исследования по разработке конструктивных вариантов газоразрядных ламп с повышенными эксплуатационными характеристиками. В главе рассматриваются результаты выполненной серии экспериментов по двум основным направлениям. Во-первых, автором подробно рассматриваются результаты оптимизации размеров плазменного канала, предлагается и исследуется вариант конструктивного исполнения газоразрядной лампы с кварцевой оболочкой, в которой коаксиально расположена сапфировая трубка, ограничивающая импульсный ксеноновый разряд, описываются преимущества предложенного технического решения. Во-вторых, значительный объем главы освещает данные исследований по влиянию механизма инициализации разряда посредством введенного в межэлектродный промежуток дополнительного электрода зажигания на электрические параметры и характеристики УФ-излучения импульсной газоразрядной лампы со свободно расширяющимся плазменным каналом.

Пятая глава посвящена практической реализации полученных в

диссертации результатов и выработанных рекомендаций, направленных на улучшение эксплуатационных оптико-электронных систем обеззараживания воздуха и поверхностей, серийно выпускаемых ООО «НПП «Мелитта». Автором приводятся и анализируются результаты исследований активности импульсного излучения сплошного спектра в отношении микробиологической нагрузки при обеззараживании воздуха и поверхностей, совместного действия импульсного УФ-излучения и паров спирта в рамках проекта «Экзомарс».

В **заключении** представлены основные полученные результаты и сделанные выводы по диссертационной работе.

Научная новизна результатов диссертационной работы

В отличие от существующих методов формирования плазменного канала (внешний поджиг, последовательное зажигание и т.д.) в диссертационной работе определены условия развития разряда, при которых он формируется концентрично и воздействие его высокотемпературной области на кварцевую стенку лампы минимально. Введение режима слаботочной дуги, из которой за счет форсированной термической ионизации развивается сильноточный плазменный канал, приводит к значительному снижению процессов деградации прозрачности колбы.

Разработанная методика регистрации параметров импульсного УФ излучения, построенная на совместном измерении спектральных и энергетических характеристик импульсного ксенонового разряда, позволила ликвидировать имеющийся пробел в метрологии излучения в узком диапазоне длин волн 200 – 300 нм.

Введение в разрядный объем дополнительной оболочки из сапфира, обладающей температурой кипения на 1000°C больше, чем у кварца в существующих газоразрядных лампах, обеспечило рост КПД УФ-излучения на 15% за счет снижения эффекта оптического запыления излучения.

Предложенный принцип инициализации разряда, основанный на введении дополнительного электрода в межэлектродный промежуток, позволил повысить энерговыход в плазменную дугу неограниченного свободно расширяющегося разряда за счет сведения к минимуму потерь в разрядном контуре, что обеспечило рекордный на сегодня КПД излучения 5,4 % в спектральном диапазоне 250-290 нм.

Практическая значимость результатов работы

Полученные в диссертации Киреева С.Г. результаты имеют важное научное значение, как с точки зрения фундаментальных исследований процессов формирования плазменного канала, протекающих в разрядах высокого и сверхвысокого давлений при реализации различных способов инициализации.

зации разряда, так и для улучшения характеристик существующих импульсных источников УФ-излучения и ОЭС на их основе. Полученные в диссертации результаты служат базой для проектирования других типов газоразрядных источников некогерентного излучения в широком оптическом диапазоне, предназначенных для использования в различных областях плазменной электроники, квантовой электронике и светотехнике. Предложенные расчетные модели позволяют, исходя из эксплуатационных параметров систем обеззараживания, с высокой точностью провести расчет характеристик требуемого импульсного источника УФ-излучения, обеспечивающего максимальную эффективность дезинфекции воздуха и поверхностей.

Заложенные принципы в метрологическом обеспечении измерений спектрально-энергетических характеристик УФ-излучения могут быть рекомендованы для использования в конструкторских разработках газоразрядных источников излучения видимого и ИК-диапазонов спектра, например, в лампах накачки твердотельных лазеров, светосигнальных устройствах, аэродромных посадочных огнях, системах противодействия головкам самонаведения и т.д.

Достоверность результатов диссертационной работы

Обоснованность научных положений, выводов и достоверность результатов исследований базируется на положениях фундаментальных теоретических представлений и обеспечивается конкретной постановкой задач, применением известных и разработанных Киреевым С.Г. методик исследований с аппаратным обеспечением, аттестованным в установленном порядке. Результаты расчетного моделирования хорошо согласуются с данными экспериментов и научными сведениями других исследователей.

Достоверность представленных в диссертации экспериментальных материалов подтверждается экспертизой 22 статей при опубликовании полученных результатов в рецензируемых научных журналах, 12 докладов обсуждались со специалистами на международных научных конференциях, на разработанный в диссертации конструкторский вариант импульсного источника УФ излучения с двумя оболочками проведена патентная экспертиза, подтвердившая правомочность и приоритет предложенного технического решения.

Замечания к оформлению и содержанию диссертации и автореферата

По тексту диссертации и автореферата возникли следующие вопросы и замечания:

1. Чем обусловлено применение непрерывно горящего вспомогательного разряда (рисунок 38), в котором формируется сильноточный плазменный канал? Представляется более энергоэкономичным использование

режима вспомогательного разряда формирующего проводящее состояние разрядного промежутка только между силовыми импульсами тока.

2. Автором получены интересные результаты, связанные с уменьшением диаметра плазменного канала до 3 мм, дано обоснование увеличения долговечности импульсной лампы за счет применения специальных «эрозийных ловушек». В то же время, как следует из рисунка 51, снижение диаметра разрядного столба до 3 мм привело к увеличению интенсивности УФ излучения в сравнении лампой, имеющей внутренний диаметр 5 мм. Объяснения данного явления в диссертации не приводится.

3. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации, но, по нашему мнению, в нем некоторые результаты, изложенные в диссертации, освещены кратко или опущены. В частности, опущено описание методики градуировки фотоприемных устройств и расчета энергетической облученности импульсной ксеноновой газоразрядной лампой, что несомненно актуально для метрологии источников УФ излучения.

4. Практический интерес представляет предложенная методика расчета термодинамических параметров плазмы и температуры стенки импульсной газоразрядной лампы. На рисунке 48 представлена зависимость температуры стенки от средней поверхностной мощности, полученная расчетным путем. Представляется правильным дополнить данный график экспериментальной кривой зависимости температуры от мощности, тем более что в публикациях автора разработана методика тепловизионных измерений.

Отмеченные замечания не снижают научную ценность полученных соискателем результатов и общую положительную оценку диссертационной работы.

Общая оценка диссертационной работы

Диссертация Киреева С.Г. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком научном уровне.

Диссертация полностью соответствует паспорту специальности 2.2.1 – Вакуумная и плазменная электроника.

Все результаты, полученные в диссертации, являются достоверными, а используемые методы исследования обоснованными. Цели и задачи исследования полностью соответствуют полученным результатам. Выводы работы достаточно обоснованы и аргументированы. Личный вклад автора представляется значительным. Многочисленные тщательно подобранные цветные рисунки и графики хорошо иллюстрируют основные полученные результаты, которым автор предоставляет простую и наглядную физическую интерпретацию. Содержание автореферата диссертации полно и точно отражает содержание диссертационной работы. Текст диссертации и

автореферата написан ясным языком.

Диссертация Киреева Сергея Геннадьевича полностью удовлетворяет требованиям п. 9 Положения о присуждении научных степеней, утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции Постановления Правительства Российской Федерации от 28 августа 2017 г. № 1024), предъявляемым к диссертационным работам, представленным на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.1 – «Вакуумная и плазменная электроника».

Диссертация и проект отзыва ведущей организации на диссертационную работу заслушаны, обсуждены и одобрены на расширенном заседании кафедры «Промышленная электроника» РГРТУ имени В.Ф. Уткина «19» апреля 2022 г., протокол № 11.

Отзыв составили:

Заведующий кафедрой
«Промышленная электроника»,
доктор технических наук, доцент



Круглов С.А.

Секретарь кафедры
«Промышленная электроника»,
кандидат технических наук, доцент



Серезин А.А.

Федеральный государственный бюджетный образовательного учреждения
высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический уни-
верситет» имени В.Ф. Уткина
390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1
Веб-сайт: <http://rsreu.ru>