

Отзыв официального оппонента

на диссертацию Логинова Владимира Владимировича

«Исследование и разработка импульсного газоразрядного источника ИК излучения с повышенными эксплуатационными параметрами для оптико-электронных систем»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.02—«Вакуумная и плазменная электроника»

В настоящее время в оптико - электронных системах гражданского и специального назначения наблюдается интенсивное применение изделий твердотельной электроники, а применение светодиодов распространяется на области, где традиционно использовались газоразрядные лампы. В связи с этим диссертация Логинова Владимира Владимировича - актуальная и своевременная научная работа, расширяющая сферы применения плазменной электроники в плане использования газоразрядной плазмы в качестве источника импульсного излучения в среднем ИК диапазоне спектра. Данная научная работа актуальна еще по другой причине. Сегодня сложилась непростая ситуация по защищенности летательных аппаратов (ЛА) от поражения управляемыми ракетами. За рубежом разработаны новые тепловые головки самонаведения, способные отслеживать ЛА по его излучению в двух спектральных областях среднего инфракрасного диапазона. В результате эффективность существующих систем защиты ЛА с применением серийных импульсных газоразрядных ламп на основе цезий-ртуть-ксенонового разряда, стабилизированного двумя сапфировыми оболочками, существенно снизилась. Накопленный В.В. Логиновым опыт при конструировании газоразрядных ламп (о чем свидетельствует обширный список научных работ соискателя) позволил осуществить комплекс мер по их модернизации. При этом перед автором возник ряд задач, связанный с отсутствием данных по теплофизическим и радиационным явлениям в плазме щелочных металлов и сапфировых оболочках во взаимосвязи с процессами в разрядной цепи. Это дает основание еще раз утверждать, что поставленная цель разработки импульсных источников ИК излучения для оптико-электронных систем (ОЭС) с улучшенными эксплуатационными параметрами является актуальной и имеет большое научное и практическое значение, так как в результате исследований появилась возможность улучшения параметров газоразрядных ИК-излучателей при сохранении энергопотребления ламп.

Наиболее существенные научные результаты, полученные в диссертации.

В главе 1:

1. Выполнен научно – технический анализ современного состояния в области газового разряда в парах щелочных металлов и их смесях со ртутью. Показано, что с увеличением атомного номера элемента и повышением давления его паров в плазме наблюдается перераспределение энергии излучения в среднюю ИК область оптического спектра.

2. Выявлены основные конструктивные параметры газоразрядной лампы, наиболее сильно влияющие на спектральные и энергетические параметры плазмы –

это состав и давление компонентов над сплавами, температура самой холодной точки лампы, диаметр и длина разрядного канала и т.д.

3. Доработана математическая модель газоразрядной лампы, учитывающая теплофизические процессы в трехкомпонентной плазме, в стабилизирующих разряд сапфировых оболочках и внешней электрической цепи. Модель и соответствующее информационное и программное обеспечение позволили выполнить замкнутое моделирование радиационных и тепловых явлений в системе при задании в качестве входных параметров значений величин, фиксируемых в эксперименте (геометрических размеров лампы, состава наполнения, параметров цепи и т.д.).

4. Расчетным путем исследованы спектрально-энергетические характеристики газоразрядных источников модулируемого ИК излучения, получены зависимости температурных полей в разряде, определена структура баланса мощности, сбрасываемой разрядом и оболочками, рассчитаны основные функциональные характеристики импульсного цезий-ртуть-ксенонового газоразрядного источника ИК излучения (пиковая сила, длительность и глубина модуляции излучения).

5. Выполненный научно-технический обзор теплофизических процессов, происходящих в натриевых лампах и плазме других щелочных металлов, а также расчетные исследования цезий-ртуть-ксенонового разряда позволили автору классифицировать происходящие явления в плазме и оболочках с позиций влияния на основные характеристики импульсного ИК источника излучения и наметить основные направления дальнейших исследований.

В главе 2:

1. Описан созданный универсальный комплекс экспериментального оборудования и разработанные методики исследования характеристик излучения в среднем ИК диапазоне, которые заложили глубокую основу дальнейших экспериментальных исследований. Подробно рассмотрены особенности регистрации характеристик ИК излучения, обработки полученных результатов, метрологической аттестации средств измерения и сделаны оценки погрешности полученных данных.

2. Разработан оригинальный метод исследования тепловых полей в лампе, основанный на пирометрической регистрации излучения нагретой сапфировой оболочки за границей прозрачности сапфира в ИК области и экспериментально изучено распределение температуры по поверхности разрядной трубки с разрядом в парах различных щелочных металлов.

3. Описана разработанная методика термодинамического анализа разряда в парах сплавов цезия с ртутью, рубидием и калием и проведена оценка давления и теплопроводности паров металлов и ртути над их сплавами. В результате расчетных исследований подтверждена правомочность замены ртути на рубидий в составе плазмообразующей среды серийной лампы СП2-1500. При этом для обеспечения параметров излучения, превышающих требования к серийной лампе, в состав наполне-

ния газоразрядной лампы предложено вводить рубидий массой, не превышающей 25% от суммарной дозировки металлов в плазмообразующей среде.

4. Разработан новый способ сравнительного анализа разрядов с различными плазмообразующими средами, основанный на сопоставлении спектральных и энергетических характеристик при работе ламп в идентичных эксплуатационных условиях и режимах функционирования спектральных приборов, который совмещен с калориметрическими измерениями средней мощности излучения в различных диапазонах длин волн, выделяемых светофильтрами

5. В результате изучения по разработанным методикам температурных полей сапфировых оболочек, электрических параметров и спектрально-энергетических характеристик излучения разрядов в смеси паров цезия, калия, рубидия и ртути в различных комбинациях между собой подтверждены расчетные данные термодинамического анализа о преимуществах Cs–Rb–Xe разряда высокого давления как перспективного источника импульсного ИК излучения для ОЭС.

В главе 3:

1. Разработана методика расчета и созданы варианты конструкции катода и анода, обеспечивающие длительную и устойчивую работу в импульсно-периодическом режиме следования токовых импульсов в парах щелочных металлов.

2. Исследованы структурные изменения в соединении сапфира с ниобием при пайке стеклокерамическим припоем CaO-Al₂O₃ разрядной трубки. Соискателем показано влияние температуры на процессы рекристаллизации в ниобии и его сплаве с цирконием, а также изучены явления образования второй фазы в стеклокерамическом припое и определены оптимальные режимы пайки.

3. Разработана технология откачки и наполнения ламп с высокой точностью дозировки щелочных металлов в разрядном объеме и фиксацией расположения холодной точки горелки путем предложенного автором способа запайки расплавом никелида титана откачного отверстия в катодном узле.

4. Изучена структура образовавшегося соединения при взаимодействии никелида титана со сплавом ниобия посредством анализа распределения интенсивности рентгеновской *L* линии ниобия и *K* линий титана и никеля. Выявлены условия образования неравномерного структурного состава переходной зоны расплава следующего состава: Ni - 39%, Ti - 25%, Nb - 36% с включением второй фазы Ti₂Ni.

5. Предложен комбинированный способ получения спая ковар-сапфир, заключающийся в последовательном нанесении слоев титана и смеси медь-титан с последующей пайкой в вакууме медным припоем изделия из сплава 29НК. В этом же разделе проанализирован механизм взаимодействия титана с сапфиром и расплавом медного припоя, определены режимы пайки.

6. В результате проведенных конструкторских и технологических исследований разработана конструкция базового варианта газоразрядной лампы СП4-1500 с разрядом в цезий-рубидий-ксеноновой смеси.

В главе 4:

1. Выполнен сравнительный анализ зависимостей пиковой силы излучения в спектральном диапазоне 2 (3-5 мкм) от длительности и пикового значения импульса напряжения для серийной лампы СП2-1500 и газоразрядных ламп с различными составами плазмообразующей среды : 2 мг К – 6 мг Cs и 2 мг Rb – 6 мг Cs. Доказано , что используя взамен серийной лампы источник ИК излучения с разрядом в цезий-рубидий-ксеноновой смеси (2 мг Rb, 6мг Cs и 70 мм рт. ст. Хе), можно при $P_{уд.} = 430$ Вт/см повысить интенсивность излучения ОЭС в 1,3 раза.

2. На основе выполненного научно-технического анализа возможных механизмов, влияющих на состояние плазмы щелочных металлов (катафорез, радиальная диффузия атомов, конвекция и т.д.) доказано, что преобладающим процессом, снижающим стабильность разряда, является конвекция. Для исключения этого явления и стабилизации параметров излучения Cs–Rb–Хе разряда предложено применить двух-полярное электрическое питание газоразрядной лампы.

3. В итоге всех проведенных в главе исследований разработанного источника ИК излучения на устойчивость к механическим и климатическим воздействиям по группе исполнения 2У ГОСТ РВ 20.39.414 и достигнутой долговечности лампы 175 часов при удельной нагрузке 430 Вт/см подтверждена правильность принятых конструкторских и технологических решений.

Оценка новизны научных результатов диссертационной работы. Все перечисленные выше научные результаты, полученные Логиновым В.В., являются новыми. В литературных источниках основные исследования плазмодинамики разряда в парах металлов посвящены изучению процессов в натриевом или ртутном разрядах, ограниченных оболочками, обладающих изотропными температурными свойствами (кварц, стекло, поликристаллическая окись алюминия). Поэтому не вызывает сомнения новизна полученных автором результатов, приведенных в диссертации, а именно:

- математической модели с алгоритмом реализации и базой материальных функций и полученных расчетных данных по выходным параметрам (пиковая сила, длительность и глубина модуляции излучения) импульсного газоразрядного источника ИК излучения;
- результатов конструктивных разработок, позволивших впервые достичь в лампах с цезий-ртуть-ксеноновым импульсно-периодическим разрядом в спектральном диапазоне 3-5 мкм пиковой силы излучения не менее 50 Вт/см с глубиной модуляции до 97 % при сроке службы газоразрядной лампы более 175 часов;
- данных по изучению свойств конструктивных материалов и температурно-временных режимов, обеспечивших впервые в России освоение в опытном производстве новой импульсной газоразрядной лампы ИК излучения с двумя сапфировыми

ми оболочками, находящейся по своим техническим параметрам на уровне лучших мировых аналогов.

Достоверность результатов диссертационной работы.

Достоверность и справедливость расчетных результатов, полученных в диссертации при реализации математической модели, подтверждается экспериментальными данными, представленными в известных работах зарубежных авторов - де Грутта, Д. Влиетта, Д. Уорби, П. Денбиха, К. Шмитдта и др. и в научных трудах отечественных исследователей Г.Н. Рохлина, Е.Б. Волковой, и др. Истинность экспериментальных данных обеспечивается использованием современных средств и методик проведения исследований. Сделанные автором заключения, выводы и рекомендации основываются на известных достижениях фундаментальных и прикладных научных дисциплин - физики плазмы, теплофизики, теплотехники, материаловедения и т.д.

Значение полученных в диссертации результатов для теории и практики.

Научная значимость работы состоит в том, что полученные результаты, научные положения и выводы, сформулированные в результате комплексного исследования импульсного разряда в цезий-рубидий-ксеноновой плазмобразующей среде, ограниченного двумя сапфировыми оболочками, способствуют развитию плазменной электроники. Во-первых, на основе этих исследований создан новый тип газоразрядных ламп модулируемого инфракрасного излучения, отвечающий современным требованиям эффективного использования разрядных источников в ОЭС. Во-вторых, судя по перечню публикаций в приложении к диссертации, полученные соискателем научные и экспериментальные результаты позволяют создавать другие импульсные газоразрядные источники с сапфировой оболочкой и преимущественным излучением в УФ, видимом и ИК диапазонах.

Общие замечания к диссертации и автореферату.

1. Наблюдается несоответствие в исследуемых параметрах при математическом моделировании и экспериментальных исследованиях. В математической модели рассчитываются в качестве выходных параметров пиковая мощность и постоянная составляющая излучения, а в экспериментах исследуются пиковая сила излучения и глубина модуляции.

2. В главе 2 сравнительные испытания проводились на газоразрядных лампах с различными плазмообразующими средами, но фиксированными размерами плазменного канала – диаметром $d=7$ мм и межэлектродным расстоянием $l=90$ мм. В то время как целью диссертации является заменить серийную лампу ($d=11$ мм и $l=90$ мм), поэтому, более правомочно было бы сразу провести сравнительные испытания при размерах разрядного объема лампы СП2-1500.

3. В главе 3 изучены физико-химические процессы в конструктивных материалах, происходящие при повышении температуры, но отсутствуют исследования химического воздействия паров цезия, рубидия и калия на элементы лампы.

4. В библиографическом списке при оформлении ссылок на цитируемые научные работы в нескольких местах наблюдается незначительное отступление от требований ГОСТ 7.1 – 2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления».

Тем не менее, эти замечания не носят принципиального характера и не снижают научной значимости диссертации.

Квалификационная оценка диссертационной работы.

В целом можно констатировать, что представленная на оппонирование диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, в которой решена крупная научно-техническая проблема – создан новый импульсный газоразрядный источник ИК излучения с повышенными эксплуатационными параметрами для оптико-электронных систем защиты летательных аппаратов.

Заключение.

Диссертация четко структурирована. Каждая глава посвящена решению конкретной задачи, являющейся составной частью поставленной в начале диссертационного исследования цели, что облегчает понимание материала. Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Диссертационная работа в целом представляет собой научный труд, имеющий существенное значение для техники, физики газового разряда и материаловедения. Основные результаты диссертации опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных журналах. Сформулированные научные положения, выводы и полученные результаты многократно обсуждались на Всероссийских и международных конференциях с участием ведущих специалистов в области плазменной электроники.

Диссертационная работа удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Логинов В.В. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.02 – «Вакуумная и плазменная электроника».

Официальный оппонент

Товстоног Валерий Алексеевич, д.т.н.,
профессор кафедры «Космические аппараты
и ракеты-носители» МГТУ им. Н.Э. Баумана

« 25 » 02 2020г.

Подпись Товстонога В.А. удостоверяю
Первый проректор–проректор
по научной работе МГТУ им. Н.Э. Баумана



В.Н. Зимин