

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
**«Рязанский государственный
университет имени С.А. Есенина»**
(РГУ имени С.А. Есенина)

В диссертационный совет Д.409.001.01
на базе АО «НПП «Исток» им. Шокина»
41190, Московская область, г. Фрязино,
ул. Вокзальная, д. 2а.

Свободы ул., д. 46, г. Рязань, 390000

Тел. (4912) 281435, 280389 Факс: (4912) 281435

E-mail: rsu@rsu.edu.ru <http://www.rsu.edu.ru>

ОКПО 02079997 ОГРН 1026201268301

ИНН 6231016055 КПП 623401001

09.04.2018 № 02- 654

На № _____ от _____

Отзыв

официального оппонента на диссертацию Гавриша Сергея Викторовича
**«Создание импульсных газоразрядных источников ИК излучения
нового поколения для оптико-электронных систем»**
на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 05.27.02 - «Вакуумная и плазменная электроника».

Газовый разряд как источник ИК излучения остается мощным источником электромагнитного излучения в практических приложениях. Светодиоды постепенно замещают газоразрядные лампы в области светотехники, однако их характеристики не удовлетворяют требованиям защиты летательных аппаратов (ЛА) от поражения управляемыми ракетами. Диссертация Гавриша Сергея Викторовича посвящена исследованию разряда в цезиевой плазме, разработке и созданию источника ИК излучения для целей эффективной защиты летательных аппаратов от поражения управляемых ракет. Научно-техническая проблема, решаемая в диссертации актуальна и своевременна по двум причинам.

Во - первых, она открывает новые сферы применения газоразрядной плазмы, а именно, использование в качестве источника импульсного излучения в среднем ИК диапазоне.

Во - вторых, существующие системы защиты ЛА на основе тепловых ловушек и механически модулируемых нагревательных элементов оказались неспособны оказывать противодействие современным управляемым ракетам с тепловыми головками самонаведения. За рубежом данная проблема решается применением импульсной газоразрядной лампы на основе разряда в парах цезия, стабилизированного двумя сапфировыми оболочками.

Можно утверждать, что поставленная в диссертации задача создания импульсных источников ИК излучения для систем оптико – электронного

противодействия (СОЭП) является актуальной и имеет большое научное и практическое значение, так как формируется новое поколение газоразрядных ламп с большим комплексом неизученных плазменных, теплофизических и радиационных процессов.

Достоверность результатов работы.

Подлинность расчетных результатов, полученных при реализации математической модели, в диссертации подтверждается экспериментальными данными, представленными в известных работах зарубежных авторов де Грутта, Д. Влиетта, Д. Уорби, П. Денбиха, К. Шмитдта и др. и научных трудах отечественных исследователей Г.Н. Рохлина, Е.Б. Волковой, И.В. Колпаковой 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.

Наиболее существенные научные результаты, полученные соискателем.

В главе 1:

1. Предложена методика разработки технических требований к импульсным газоразрядным источникам ИК излучения, используемым в качестве излучательного элемента в СОЭП, построенная на научном анализе технических характеристик ГСН и расчете излучательных характеристик, исходя из интенсивности теплового потока от двигателя летательного аппарата.

2. Выполненный научно – технический обзор физических процессов, происходящих в натриевом разряде и плазме других щелочных металлов, позволил автору классифицировать происходящие явления в плазме и оболочках с позиций влияния на основные функциональные характеристики импульсного цезий ртуть – ксенонового газоразрядного источника ИК излучения (пиковая сила, длительность и глубина модуляции излучения).

В главе 2:

1. Разработана математическая модель газоразрядной лампы, учитывающая теплофизические процессы в плазме, стабилизирующих разряд сапфировых оболочках и внешней электрической цепи. Модель и соответствующее информационное и программное обеспечение позволяют проводить замкнутое моделирование радиационных, газодинамических 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.).

2. Расчетным путем исследованы электрофизические и спектрально-энергетические характеристики газоразрядных источников модулируемого ИК излучения, получены временные зависимости температурных полей в разряде, рабочего давления паров при прохождении одного импульса тока и серии из трех импульсов, определена структура баланса мощности, сбрасываемой

разрядом и оболочками, рассчитаны спектральные распределения излучения и глубины модуляции в зависимости от удельной мощности разряда и коэффициентов теплоотдачи.

3. В зависимости от ряда определяющих параметров выполнен анализ температурного состояния разогретых оболочек ламп, излучение которых может превысить излучение разряда в спектральных областях, где фактор высокого коэффициента поглощения сапфира складывается с фактором соответствующего положения максимума функции распределения Планка излучения нагретых оболочек. Показана роль этого эффекта при поиске путей повышения глубины модуляции, которая в длинноволновой области, начиная примерно от 3,5 мкм резко уменьшается до нуля.

В главе 3:

1. Предложен 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. В результате изучения по разработанной методике всех исследованных разрядов подтверждены расчетные данные о преимуществах цезиевого разряда высокого давления. Показано, что введение небольших добавок калия в цезиевый разряд способствует появлению дополнительных спектральных линий, но приводит к росту теплопроводности плазмообразующей среды, как следствие снижению глубины модуляции.

2. Разработана математическая модель расчета давления паров компонентов над амальгамой цезия и получены расчетные зависимости давления паров цезия от массы амальгамы, температуры холодной точки лампы, радиуса разрядного канала. В результате этих исследований доктором подтверждено, что увеличение давления паров цезия приводит к росту пиковой силы излучения, а ее определяющим фактором является электрическая мощность разряда.

3. Показано, что выбор рода газа – теплоносителя в зазоре между двумя оболочками необходимо производить, исходя из требований обеспечения химической инертности газа к материалам внутренней арматуры, высокой теплопроводности и диэлектрической прочности. В результате теоретического анализа и экспериментальных исследований в качестве газа заполняющего пространство между оболочками предложено использовать неон при давлении 700 мм рт. ст.

4. В работе предложены два способа электрического питания лампы с цезий – ртуть - ксеноновым наполнением – работа в разрядном контуре с тиристорным модулятором и при электрическом питании от мощного выпрямителя с транзисторным коммутатором. Подробно изучено влияние на характеристики ИК излучения газоразрядной лампы условий электрического питания, определяемых емкостью C и индуктивностью L разрядного контура и

исследованы параметры излучения газоразрядной лампы в квазистационарной стадии разряда.

5. В данной главе подробно изучены вопросы зажигания цезиевых ламп в условиях конденсации и испарения компонентов амальгамы цезия. Показана роль образующейся пленки металлов на поверхности оболочки, соединяющей электроды и исключающей повторный пробой лампы. Изучен и теоретически обоснован механизм пленочной конденсации в условиях принудительного охлаждения лампы, выявлен диапазон сопротивлений цезий – ртутной пленки от 0,2 до 250 кОм при различных способах теплосъема. Для зажигания разрабатываемых ламп автором предложен способ, основанный на пропускании через образовавшуюся плёнку тока, приводящего к испарению пленки и зажиганию разряда в парах цезия и ртути.

6. Для обеспечения долговечности ИК источника в работе разработан способ включения лампы со ступенчатым увеличением подаваемой мощности за счет наращивания частоты следования рабочих импульсов. Изучены процессы, происходящие в разрядном объеме и исследованы изменения спектральных характеристик в УФ диапазоне с момента зажигания до выхода в рабочий режим. Автор экспериментально выявил, что в течение 5 минут с момента зажигания при наращивании мощности со средней скоростью 6,5 Вт/сек в УФ спектре исчезают большинство линий Hg и Xe, разряд происходит преимущественно в парах Cs и показал связь происходящих процессов с ростом пиковой силы ИК излучения.

7. На основе разработанной математической модели проведено расчетно – экспериментальное исследование влияния на параметры излучения газоразрядного источника изменения температуры окружающей среды в диапазоне от -60°C до +85°C и получено, что изменение температуры окружающей среды в пределах -60°C до + 70°C не оказывает влияния на режим работы и параметры излучения лампы. Рассчитано, что в сравнении с глубиной модуляции при комнатной температуре увеличение T_{oc} до + 70°C уменьшит величину Δt на 0,3%, а при $T_{oc} = -60^{\circ}\text{C}$ произойдет рост t на 0,5%. Увеличение скорости охлаждающего потока воздуха способствует незначительному увеличению зависимости параметров излучения от температуры окружающей среды, например, при скорости потока 30 м/сек Δt составит меньше 0,7%.

В главе 4:

1. Разработан метод исследования тепловых полей в лампе, основанный на пиromетрической регистрации излучения нагретой оболочки в спектральной области коротковолновой границы первой колебательной полосы поглощения сапфира и экспериментально изучено распределение температуры по поверхности разрядной трубки и внешней оболочки.

2. Для получения высококачественных безблочных сапфировых труб с минимальным количеством инородных примесей и парогазовых включений, соискателем выявлено, что выращивание должно выполняться в условиях

точной стабилизации температуры и скорости выращивания (0,5-1,0 мм/мин. при разращивании, и 1,5-2,0 мм/мин. в рабочем режиме), при отсутствии толчков и вибрации, передаваемых в зону кристаллизации и при использовании затравочных кристаллов необходимого качества ($\rho \sim 5^\circ$, 2-3 границы блоков с малой разориентацией). Оптимальная высота фронта кристаллизации должна составлять не более 0,2 мм.

3. Изучена зависимость механической прочности оболочки лампы от блочности сапфира, предельное разрушающее давление для безблочной трубы при комнатной температуре составило 900 МПа. Исследование температурной зависимости прочности сапфировой оболочки позволило обнаружить наличие минимума прочности (100 МПа) сапфировых труб из-за наложения процессов пластической деформации и разрушения. Выявлена корреляция между механической прочностью сапфира и предельными электрическими нагрузками на сапфировую оболочку. В экспериментах при испытании безблочных труб удалось достичь удельных нагрузок до 390 Вт/см².

4. Теоретически изучен механизм наведенного окрашивания сапфира при радиационном воздействии на беспримесный и дефектный сапфир. Экспериментально обнаружено наличие минимумов прозрачности в УФ и видимом диапазоне, которые, по мнению Гавриша С.В., обусловлены электронными и дырочными центрами окраски (F -центры: 206 нм и R -центры: 575 нм). При нейтронном облучении ламп с дозами 10^6 , 10^7 , и 10^8 рад наблюдается снижение коэффициента пропускания оболочки на 10-15% при сдвиге его коротковолновой границы. В процессе работы лампы наблюдалось исчезновение цветности оболочек за счет отжига наведенных центров окраски.

В главе 5:

1. В данном разделе исследованы структурные изменения в соединении сапфира с ниобием при высокотемпературной пайке стеклокерамическим припоем CaO-Al₂O₃ разрядной трубки. Соискателем показано влияние температуры на процессы рекристаллизации в ниобии и его сплаве с цирконием, на образование второй фазы в системе CaO-Al₂O₃, диффузию ниobia в стеклокерамический припой и определены оптимальные режимы пайки ниобиевого сплава с сапфиром.

2. В данном разделе проанализированы основные методы получения герметичных соединений сапфир-металл, устойчивых к агрессивному воздействию окружающей атмосферы, выявлены основные недостатки металлизационных покрытий на основе вольфрама и молибдена. По результатам теоретического анализа механизма взаимодействия титана с сапфиром при высоких температурах предложен новый способ создания гермоводов путем вакуумно-дугового напыления титана на сапфировый баллон лампы с последующей припайкой токоввода медью. Выявлено, что массовое соотношение титана к меди не должно превышать 20%.

3. В главе представлена разработанная методика расчета остаточных напряжений, построенная на решении задачи Ляме для системы двух

цилиндров, и проведены расчетные оценки напряжений в зоне спаев ниобий-сапфир и ковар- сапфир. На основе полученной в главе 4 температурной зависимости критических напряжений разрушения сапфировых труб от блочности, рассчитаны требуемые толщины соединяемых деталей для получения согласованного спая.

4. Приведены полученные результаты исследования механизма взаимодействия расплава никелида титана с ниобием. Методом микрорентгеноспектрального анализа изучен количественный состав образовавшихся на границе соединений и включений второй фазы. Показано, что область взаимодействия Nb с никелидом титана имеет сложный химический состав и структуру. Во-первых, наблюдается неравномерное растворение стенки ниобиевой трубы в расплаве ТН-1. Во-вторых, на границе взаимодействия Nb со сплавом наблюдаются включения второй фазы различного химического состава и формы. Автором сделано предположение, что такой механизм образования спаянных границ обусловлен неравномерностью температурного поля при нагреве образца и переменной величиной капиллярного зазора.

В главе 6:

1. Проведены расчетные оценки и исследование макетов новых импульсных разрядных источников ИК излучения для защиты летательных аппаратов с высоким уровнем собственного теплового излучения и замены устаревших низкоэффективных нагревательных систем все ракурсного противодействия. В результате автором доказана эффективность выбранных новых направлений приложения полученных в диссертации расчетных и экспериментальных результатов и сформулированных научных положений.

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

- Математической модели с алгоритмом реализации и базой материальных функций и полученных расчетных данных по выходным параметрам импульсного газоразрядного источника ИК излучения.
- Результатов конструктивных исследований, позволивших впервые достичь в лампах с цезий – ртуть - ксеноновым импульсно-периодическим разрядом в спектральном диапазоне 3-5 мкм пиковой силы излучения не менее 70 Вт/ср с глубиной модуляции до 97% при сроке службы газоразрядной лампы более 200 часов.
- Данных по изучению свойств конструктивных материалов и температурно – временных режимов, обеспечивших впервые в России

освоение в серийном производстве нового поколения импульсных газоразрядных ламп ИК излучения с двумя сапфировыми оболочками, находящиеся по своим техническим параметрам на уровне лучших мировых аналогов.

Значение полученных 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 - ртуть - ксеноновой плазмобразующей среде, ограниченного двумя сапфировыми оболочками, способствуют развитию плазменной электроники. Во – первых, на основе этих исследований создан новый класс газоразрядных ламп модулируемого инфракрасного излучения, отвечающий современным требованиям эффективного использования разрядных источников в СОЭП и намечены пути дальнейшего развития данного направления оптико – электронных систем с газоразрядными лампами ИК излучения. Во – вторых, судя по перечню публикаций соискателя, полученные в диссертации научные и экспериментальные результаты позволяют создать новые типы импульсных источников излучения в УФ, видимом и ИК диапазонах с разрядом, ограниченным сапфировой оболочкой.

Общие замечания.

1. Глава 2. Пояснить механизм трансформации энергии излучения плазмы в тепловое излучение.
2. Почему вместо лампы нельзя использовать диодную или лазерную матрицу?

3. В качестве внешней оболочки из сапфира можно взять кремниевую трубу, которая согласно литературным данным оптически прозрачна в спектральном диапазоне от 1,0 до 12 мкм. Почему этот вопрос не обсуждается в диссертации?

4. В главе 5 изучены физико – химические процессы в конструктивных материалах, происходящие при повышении температуры, но отсутствуют исследования химического воздействия паров цезия и ртути на элементы лампы.

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

Квалификационная оценка диссертации.

В целом можно констатировать, что представленная на оппонирование диссертация является завершенной научно – квалификационной работой, в которой решена крупная научно – техническая проблема - создано новое поколение импульсных газоразрядных источников ИК излучения для систем оптико-электронного противодействия.

Заключение

Диссертация написана ясным языком, 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. Диссертация 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 докторским диссертациям, а ее автор Гавриш С.В. заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.27.02 – «Вакуумная и плазменная электроника».

Официальный оппонент

Коненков Николай Витальевич,
доктор физ. – мат. наук, профессор кафедры
общей и теоретической физики и методики
преподавания физики Рязанского
государственного университета имени
С. А. Есенина

«__» 2018 г.

Подпись Коненкова Н.В. заверяю

Проректор по научной деятельности

Горнов В.А.

