

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель директора
по научной работе
НПЦ «Курчатовский институт»

Р.А. Санду

2018 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Гавриша Сергея Викторовича
**«Создание импульсных газоразрядных источников ИК излучения
нового поколения для оптико-электронных систем»,**

представленную на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 05.27.02. – «Вакуумная и плазменная электроника»

Диссертация посвящена исследованию плазменных и теплофизических процессов в импульсных газоразрядных источниках инфракрасного излучения для оптико-электронных систем противодействия (СОЭП) тепловым головкам самонаведения (ГСН) управляемых ракет.

Актуальность темы исследования

В настоящее время необходимость поиска эффективных средств и методов, позволяющих защитить летательные аппараты от атак переносных зенитных ракетных комплексов с тепловой ГСН, стала актуальной задачей обеспечения безопасности авиационной техники и парирования угроз террористических группировок. Данная задача решается применением систем оптико-электронного противодействия ГСН, основным элементом в которых является источник ИК излучения. Основный принцип работы СОЭП заключается в создании имитирующей активной помехи ГСН в виде модулированного ИК излучения, призванной либо сорвать процесс обнаружения летательного аппарата (ЛА), либо сформировать ошибку в тракте самонаведения управляемых ракет (УР). Одновременно с развитием средств противодействия идет непрерывный процесс совершенствования ИК систем самонаведения УР. На смену первому поколению ГСН с максимальной чувствительностью в спектральном диапазоне 1 – 2 мкм сегодня пришли двухспектральные следящие системы с дополнительным фотоприемником, работающим в ИК области 3 – 5 мкм. По этой причине проблема создания современных высокоэффективных СОЭП во многом зависит от решения научных, конструктор-

ских и технологических задач, направленных на создание входящих в их состав модулируемых ИК источников излучения.

Из зарубежной рекламной и технической литературы известно, что в настоящее время импульсные газоразрядные лампы с разрядом в парах цезия интенсивно вытесняют уступающие им по эффективности ложные тепловые (тепловые ловушки) и нагревательные элементы, модуляция ИК излучения которых осуществляется механическими прерывателями.

Вместе с тем отечественных научных разработок, посвященных созданию аналогичных импульсных газоразрядных источников ИК излучения, на момент начала работы над диссертацией не проводилось, а характеристики, особенности конструкции и технология изготовления газоразрядных ламп были неизвестны. Поэтому изучение теплофизических и радиационных процессов, происходящих в плазмообразующей среде на основе паров цезия, ограниченного системой сапфировых оболочек, во взаимосвязи с электрической схемой питания и элементами конструкции импульсной газоразрядной лампы, является **актуальной задачей**.

Новизна исследования и полученных результатов

Автором диссертационной работы получены следующие основные научные результаты:

1. Предложена методика формирования технических требований к входящему в состав СОЭП импульсного газоразрядного источника ИК излучения, путем анализа алгоритма обработки оптического сигнала цели в следящей системе УР, спектральной чувствительности ГСН и способа формирования ошибки в тракте управления атакующей ракеты. Разработан метод расчета интенсивности модулируемого инфракрасного излучения разрядного источника по характеристикам теплового излучения летательного аппарата.

2. На основе обширного анализа современных достижений в исследованиях плазменных явлений в лампах с разрядом в парах щелочных металлов (для уличного освещения и накачки лазеров) сформированы основные параметры оптимизации импульсного газоразрядного источника инфракрасного излучения для систем оптико-электронного противодействия и обоснован конструктивный облик лампы в виде разрядной трубки из монокристаллического сапфира, наполненной парами цезия и расположенной коаксиально в наружной термостатирующей сапфировой оболочке, которая заполнена газом-теплоносителем.

3. Разработаны математическая модель Cs – Hg – Xe разряда, ограниченного излучающими – поглощающими сапфировыми оболочками, база данных материальных функций и коэффициента поглощения плазмы, алгоритм реализации сформированной системы уравнений. В результате расчетного эксперимента получены температурные поля в системе двух оболочек, рассчитаны спектральное распре-

деление глубины модуляции и баланс рассеиваемой оболочками мощности, выявлена совокупность параметров, определяющих характеристики излучения, а именно, постоянную составляющую A_n , пиковую силу A излучения и глубину модуляции m ($m = [A - A_n]/A \cdot 100\%$), сформулированы рекомендации по экспериментальной оптимизации характеристик ИК источника.

4. Заложены основы конструирования импульсных газоразрядных источников ИК излучения, построенные на изучении взаимосвязи между эксплуатационными характеристиками ламп и структурным совершенством кристалла сапфира (точечные дефекты, дислокации, блоки, центры окраски и т.д.). Для реализации этой задачи впервые разработаны методики исследования тепловых полей оболочек, температурной зависимости прочности, спектрального пропускания и радиационного окрашивания сапфира.

5. Изучены особенности зажигания разряда и выхода в номинальный режим работы лампы, вопросы влияния основных параметров электрического питания, характеристик конструкции и условий охлаждения ИК источника на модуляционные характеристики инфракрасного излучения.

6. Исследованы физико-химические процессы, происходящие в элементах конструкции разрядного источника при изготовлении и эксплуатации ламп, предложены новые методики расчета остаточных напряжений в зоне спаев металла с оболочкой, определения критического напряжения разрушения сапфировых труб в зависимости от свойств материала и рабочей температуры, исследования оптической прозрачности сапфировых оболочек.

В итоге можно сказать, что **научная новизна диссертации** заключается в новых научных результатах, полученных автором при исследовании:

- плазменных процессов в ранее неизученной цезий – ртуть – ксеноновой плазмообразующей среде;
- теплофизических процессов в новом материале оболочек газоразрядных ламп – монокристаллическом сапфире;
- возможности получения ранее невостребованных характеристик импульсного ИК излучения (пиковая сила, глубина модуляции, фиксированная длительность импульса) при работе газоразрядной лампы в несвойственном газовому разряду импульсно – периодическом режиме следования токовых импульсов.

Новизна разработанных в диссертации конструктивных решений подтверждена 46 патентами на полезную модель.

Степень обоснованности и достоверности научных положений и выводов

Обоснованность научных положений, выводов и достоверность результатов исследований базируется на положениях фундаментальных теоретических представлений, и обеспечивается конкретной постановкой задач, применением извест-

ных и разработанных автором методов исследований с аппаратным обеспечением, аттестованным в установленном порядке. Результаты математического моделирования хорошо согласуются с данными экспериментов и научными сведениями других исследователей. Достоверность представленных в диссертации экспериментальных материалов подтверждается экспертизой 33 статей при опубликовании полученных результатов в рецензируемых научных журналах. На разработанные в диссертации конструктивные решения проведена патентная экспертиза у 46 патентов на полезную модель.

Достоверность сформированных научных выводов и эксплуатационных рекомендаций по применению разработанных разрядных источников ИК излучения доказана эксплуатацией на протяжении нескольких лет в серийно выпускаемых для защиты летательных аппаратов бортовых комплексах Л370ПЭ2, Л370Э8 и «Президент – С», установленных на вертолетах Ка-52 и Ми-8.

Значимость для науки результатов исследований заключается в том, что теоретические выводы позволяют понять основные теплофизические и плазменные процессы, происходящие в цезий – ртуть – ксеноновой плазме и ограничивающих ее сапфировых оболочках во время формирования плазменного канала и при прохождении импульса тока, выявить физико-химические явления, наблюдаемые в процессе изготовления и эксплуатации газоразрядных ламп данного типа, с целью обеспечения требуемых характеристик инфракрасного излучения в течение всего срока службы.

Полученные в диссертации результаты представляют научный интерес для специалистов, связанных с исследованиями процессов в многокомпонентной плазме, взаимодействием плазмы с поверхностью, кинетикой испарения и конденсации металлов и сплавов и т.д.

Практическое значение представленной диссертационной работы заключается в следующем:

- посредством математического моделирования с использованием созданной базы данных по материальным функциям и коэффициенту поглощения открывается возможность прогнозирования характеристик импульсного разряда в парах различных щелочных металлов без проведения широкомасштабных экспериментальных исследований;

- предложенный в работе способ зажигания цезий – ртуть – ксеноновых ламп может быть использован для принудительно охлаждаемых ламп с двумя оболочками, наполненных другими щелочными металлами;

- созданный комплекс экспериментального оборудования и методики исследования характеристик ИК излучения позволяют исследовать лампы при различ-

ных мощностях и частотах следования токовых импульсов, а также формировать выходной сигнал сложной импульсно – периодической структуры в требуемой спектральной области для прикладных задач квантовой электроники, светосигнальной техники, промышленного освещения и т.д.;

- разработанные методики исследования тепловых полей оболочек, структурного совершенства монокристаллов, температурной зависимости прочности, спектрального пропускания и радиационного окрашивания сапфира позволяют разработчикам использовать корунд в качестве материала разрядных приборов различного назначения;

- полученные данные комплексного экспериментального изучения характеристик импульсного цезиевого разряда подтверждают целесообразность использования ламп с разрядом в парах щелочных металлов в целом ряде задач ИК техники;

- результаты теоретических, расчетных, экспериментальных и конструктивно-технологических исследований позволили впервые в России разработать базовый вариант импульсного Cs – Hg – Xe источника ИК излучения и начать выпуск типоряда ламп с двумя сапфировыми оболочками (СП-2500, СП2 – 1500, СПЗ-1500), предназначенных систем оптико-электронного противодействия, что отражено в актах внедрения, размещенных в приложении к диссертации. На начало 2018 г. выпущено и находится на вооружении более 3,5 тыс. указанных газоразрядных ламп.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

С целью решения в будущем задач противодействия новому поколению трехспектральных головок самонаведения управляемых ракет путем увеличения пиковой силы излучения, как в ИК, так УФ диапазонах спектра считаем целесообразным в дальнейшем проведение цикла работ по некоторому усовершенствованию конструкции разработанных источников ИК излучения (например, увеличение диаметра разрядного канала, поиск новых наполнений и т.д.). Кроме того, по-видимому, необходимо продолжить работу по разработке новых способов электрического питания ламп (использование токового предимпульса, чередование токовых импульсов различной полярности и т.д.).

Представляется важной задача проведения опытно-конструкторских работ по разработке с освоением в серийном производстве исследованных в главе 5 макетов новых импульсных разрядных источников ИК излучения, предназначенных для защиты летательных аппаратов с высоким уровнем собственного теплового излучения и замены устаревших низкоэффективных нагревательных систем всеракурсного противодействия.

Интересными для промышленного использования представляется результаты конструкторско-технологических исследований. Необходимо рассмотреть вопрос использования разработанных способов получения согласованных, герметичных и устойчивых к воздействию паров щелочных металлов соединений металл – сапфир применительно к другим изделиям отечественной промышленности, например, лампам для накачки лазеров, ячеек стандартов частоты, гермовводов и т.д.

Развитие заложенных научных направлений будет способствовать техническому прогрессу в области гражданской и военной техники.

Оформление диссертации и автореферата, публикации, апробация научных результатов и положений

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка цитируемой литературы и приложения (акты внедрения). Материал изложен на 349 страницах машинописного текста, содержит 150 рисунков и 21 таблицу.

Автореферат и публикации по теме исследований достаточно полно отражают основное содержание диссертации и в полной мере соответствуют требованиям п.п. 1-5, 7,8 (технические науки) паспорта специальности 05.27.02. – «Вакуумная и плазменная электроника».

Материал диссертации логически выстроен, в каждой главе сделаны конкретные выводы или сформулированы рекомендации по практическому применению полученных результатов. Положения, выносимые на защиту, научно обоснованы в тексте диссертационной работы, прошли апробацию в 42 докладах на международных научных конференциях и симпозиумах, освещены в 33 публикациях журналов, включенных в перечень ВАК.

Общие замечания

В то же время следует отметить ряд замечаний по представленной работе:

1. Математическая модель источника ИК излучения строится в одномерной постановке, что справедливо при малых отношениях диаметра и длины разрядного промежутка. В данной работе речь идет об источнике, у которого указанное отношение составляет порядка 0.3. Поэтому возникает вопрос: справедливо ли сделанное допущение применительно к разряду, и не скажется ли учет двухмерности задачи на результатах моделирования.

2. В предложенной автором математической модели разряда в металлогазовой смеси в качестве исходных данных задаются массы составляющих смесь цезиевой, ртутной и ксеноновой компонент, в предположении, что в плазмообразовании участвует полностью вся заданная масса смеси. В то же время, введение

плазмообразующих металлов в горелку осуществляется в виде их соединений с другими элементами, причем имеется, судя по всему, некоторая неопределенность с количеством рабочих металлов, оказавшихся в горелке. При прохождении импульса тока цезий и ртуть участвуют в плазмообразовании, а в паузе оседают на конструктивных элементах и образуют, возможно, соединения друг с другом. Не совсем понятно, как выполняется привязка массы металлов, участвующих в формировании разряда согласно модели, к технологическим параметрам наполнения ламп в процессе изготовления последних.

3. В заголовках разделов главы 3 используется термин «сапфировая оболочка лампы», представляющая собой полированный цилиндр, но исследования механической прочности проводятся на искусственно выращенных трубах, без обработки. Поэтому представляется не правомочным использование результатов испытаний по температурной зависимости прочности сапфировых труб при расчете безопасных термоупругих напряжений в зоне соединения оболочки с металлом.

4. На Рис.1.2а употребляется выражение «спектральная сила излучения», хотя, на наш взгляд, с точки зрения фотометрии здесь уместно было бы выражение «спектральная плотность силы излучения».

5. В подрисунковой подписи к Рис.1.3 не отмечены кривые 1 и 2: спектральные характеристики идеальных фотодиодов и фоторезисторов, которые являются весьма важными величинами при сравнении ряда параметров, в частности, обнаружительной способности реальных ФД и ФР.

6. В диссертации одни и те же физические величины (например, температура) приводятся в разных системах единиц (СИ и СГС), что несколько затрудняет чтение работы. Кроме того, по тексту диссертации редко, но встречаются неудачные (сленговые) выражения.

Заключение

Отмеченные недостатки не снижают научной значимости и практической ценности диссертации, которая представляет завершенную научно-исследовательскую работу на актуальную тему, содержащей новые научные результаты в области физики плазмы, теплофизики и материаловедения. Проведенные Гавришем С.В. исследования характеризуют его как исследователя высокой квалификации, владеющего современными методами работ, четко представляющего предмет исследований, посвятившего более 20 лет плодотворной научной деятельности решению поставленной в диссертации цели, а именно, созданию нового поколения импульсных газоразрядных источников ИК излучения для систем оптико-электронного противодействия.

Таким образом, диссертация Гавриша Сергея Викторовича «Создание импульсных газоразрядных источников ИК излучения нового поколения для оп-

тико-электронных систем» является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена важная научная проблема, внедрение которой вносит значительный вклад в укреплении обороноспособности страны. Диссертация соответствует требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а автор заслуживает присуждения искомой степени по специальности 05.27.02 – «Вакуумная и плазменная электроника».

Отзыв составил доктор физико-математических наук, заместитель руководителя Курчатовского комплекса физико-химических технологий Чувилин Дмитрий Юрьевич.

Диссертация и автореферат рассмотрены, а отзыв заслушан, обсужден и одобрен на заседании Бюро объединенного научно-технического совета Курчатовского комплекса физико-химических технологий и Курчатовского комплекса промышленной безопасности НИЦ «Курчатовский институт» «19» марта 2018 г., протокол №2.

Заместитель руководителя Курчатовского комплекса физико-химических технологий
НИЦ «Курчатовский институт», д.ф.-м.н.

Чувилин Д.Ю.

Ученый секретарь ОНТС ККФХТ и ККПБ
НИЦ «Курчатовский институт», д.ф.-м.н.

Лагутин А.С.

Главный ученый секретарь
НИЦ «Курчатовский институт», к.ф.-м.н.

Стремоухов С.Ю.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт»)
123182, Россия, г. Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1
Телефон: +7 (499) 196-9539
e-mail: nrcki@nrcki.ru
сайт www.nrcki.ru