

Особенности конструкции и работы ламп с сапфировыми оболочками

С.В. ГАВРИШ, В.М. ГРАДОВ, Ю.И. ТЕРЕНТЬЕВ¹

ОАО «ПО «Завод Стелла», МГТУ им. Н.Э.Баумана

1. Введение

Защита летательных аппаратов от переносных зенитных ракетных комплексов ставит задачу разработки надежных ИК ламп для систем оптико-электронного подавления головок самонаведения управляемых ракет. Наиболее эффективными на сегодня можно считать импульсные ИК лампы с двумя сапфировыми оболочками (в виде наружной колбы и оболочки горелки) с разрядом в смеси паров Cs с буферным газом (ИКСЛ). Импульсно-периодическая модуляция разрядного тока ИКСЛ позволяет создавать практически любой временной профиль потока излучения [1]. При этом ИКСЛ должна отвечать всем требованиям, предъявляемым к изделиям специального назначения в части устойчивости к механико-климатическим воздействиям и срока службы. Достигнутые в этом направлении результаты были освещены в [2]. ИКСЛ (рис.1) содержит наполненную смесью Cs – Hg – Xe сапфировую монокристаллическую разрядную трубку (горелку), расположенную во внешней оболочке из того же материала (наружной колбе), которая заполнена газом-теплоносителем и имеет принудительное наружное воздушное охлаждение. Вообще, использование в качестве материала оболочек монокристаллической окиси алюминия, разновидностью которой – сапфир и корунд, необходимо в связи с высокой химической активностью щелочных металлов при рабочих температурах разряда и для prolongации спектрального диапазона излучения лампы до 6 мкм. Первые ИКСЛ подобной конструкции были созданы еще в 90-х годах, но их совершенствование продолжается и сегодня.

Данная статья посвящена обзору исследовательских работ и конструкторско-технологических изысканий по созданию ИКСЛ как разрядных ламп нового класса.

Впервые сапфир был использован при создании НЛВД [3], причем только в научно-исследовательских целях. Это объяснялось, в основном, сложностью производства сапфировых оболочек, которые механическим путем (сверление, шлифовка, полировка) получались из корундовых буль, выращенных по методу Вернейля. Промышленное производство таких ламп стало возможным только после разработки технологии изготовления профилированных монокристаллов в виде труб на основе метода кристаллизации непосредственно из расплава, предложенного А.В. Степановым в 30-х годах [4].

2. Влияние свойств сапфировых труб на эксплуатационные параметры ламп

Основными параметрами излучения ИКСЛ в спектральном диапазоне до 6 мкм являются пиковая сила (A) и постоянная составляющая силы (A_n) излучения в импульсе мощности, а также глубина модуляции (m), рассчитываемая по формуле $m = [(A - A_n)/A] \cdot 100\%$. Постоянная составляющая силы излучения обусловлена прежде всего непрерывным свечением нагретых до высокой температуры сапфировых оболочек. При этом от качества последних (наличия включений, дислокаций, блочности и др., и, соответственно, оптического пропускания и механической прочности)

зависят все основные эксплуатационные параметры ИКСЛ².

2.1. Оптическое пропускание

Во-первых, выявлено что на оптическое пропускание сапфировой оболочки влияют различные неоднородности (включения, поры, дефекты кристаллической решетки и др.), обуславливающие её рассеивающие свойства. Если неоднородности малы по сравнению с длиной волны (λ) (размеры порядка $0,1\lambda$), то рассеяние излучения отсутствует. Если же они сравнимы с λ , рассеяние излучения резко возрастает. Такими неоднородностями в сапфировых трубах служат газовые и твердые включения диаметром свыше 2 мкм. Поэтому важно контролировать условия роста таких труб для ИКСЛ, рабочий спектральный диапазон которых от $3 \div 5$ мкм (область прозрачности атмосферы).

Во-вторых, оптическое пропускание определяется качеством обработки поверхности сапфировой трубы. Так как неоднородности (пузыри) плотно распределяются вблизи её наружной и внутренней поверхностей, их можно удалять механической шлифовкой и полировкой, снимая поверхностный слой на глубину $0,2 - 0,25$ мм. Необходимо отметить, что при полировании оптических кристаллов особенности тонкого приповерхност-

² Наличие и концентрация указанных несовершенств связаны с условиями выращивания сапфировых труб, а именно с температурными режимами кристаллизации, скоростью движения затравки, составом атмосферы, в которой происходит формирование трубы, материала тигля и формообразователя и др. Подробно с влиянием этих факторов на качество сапфировых труб можно ознакомиться в обзорной статье [5].

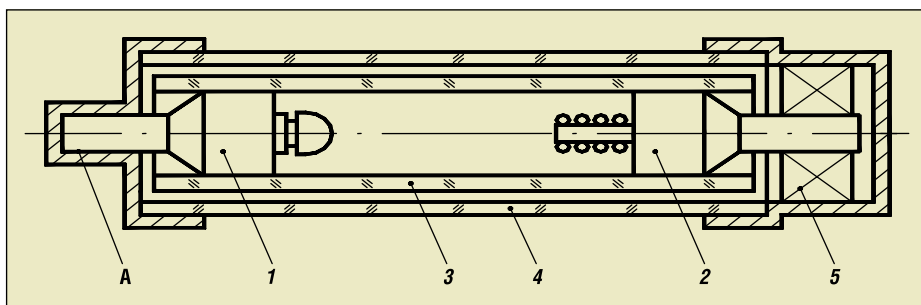


Рис. 1. Конструкция импульсной ИК разрядной лампы с сапфировыми горелкой, наполненной смесью Cs-Hg-Xe, и наружной колбой: 1 – анод; 2 – катод; 3 – горелка; 4 – наружная колба; 5 – подвижный контакт; А – зона механического обжима неподвижного контакта

¹ E-mail: svgavr@list.ru

ного слоя, искаженного многостадийным взаимодействием с абразивом, сказываются на коэффициенте отражения будущих сапфировых оболочек. В частности, согласно [6], по мере уменьшения диаметра частиц абразива отражающие свойства поверхности усиливаются, увеличивая оптические потери. Но оптическое пропускание сапфировой трубы при этом может возрастать на 10 %. В качестве примера на рис. 2 приведены полученные авторами спектральные коэффициенты пропускания сапфировых труб, изготовленных в ОАО «СКТБ «Ксенон» (кривая 1) и НПО «Луч» (кривая 2). Последние подвергались механической шлифовке и полировке до 14 класса чистоты. Измерения проводились на спектрофотометре СФ-26 и фурье-спектрометре ФСМ 1201.

В-третьих, приведенные на рис. 2 данные показывают, что в УФ и видимом диапазонах спектра есть небольшие провалы, связанные как с наличием примесей (950 нм), так и с электронными (206 нм) и дырочными (575 нм) центрами окраски. Так как значительная часть излучения ИКСЛ лежит в видимом диапазоне спектра, поглощение указанными центрами может влиять на нагрев оболочки и вести к снижению одного из основных параметров ИКСЛ – m . Поэтому на оболочку ИКСЛ идёт центральная часть выращенной трубы, что исключает примеси, возникающие в начале (при затравливании из исходного сырья) и в конце (при частичном растворении материала тигля в расплаве) её получения.

2.2. Механическая прочность

Согласно рис. 1, ИКСЛ имеет два типа спаев металла с сапфиром – охватывающий и охватываемый, технология получения которых рассматривается ниже. При этом в зоне сочленения деталей существуют различные напряжения, и надежность ИКСЛ определяется прежде всего механической устойчивостью к ним сапфировой оболочки. Кроме того условия эксплуатации ИКСЛ как изделия специального применения требуют от неё сохранения целостности при воздействии различных вибрационных колебаний, одиночных ударов и циклического изменения температуры окружающей среды. Всё выше сказанное относится и к механической прочности сапфировых труб.

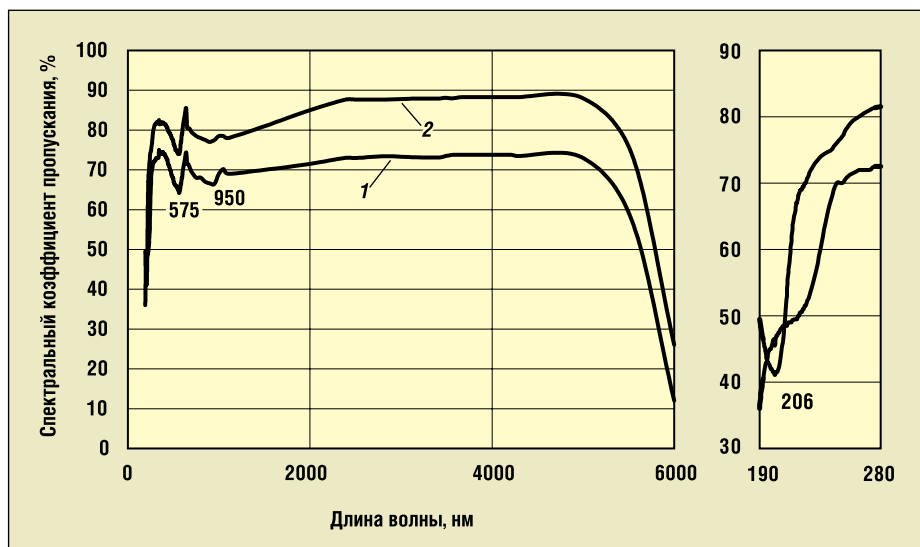


Рис. 2. Спектральный коэффициент пропускания сапфировых труб с различными характеристиками поверхности: 1 – без обработки; 2 – после двусторонней шлифовки и полировки

Исследование механической прочности корундовых труб с различной степенью блочности [7] показало определённое влияние блоков на прочностные характеристики материала. В [5] приведены зависимости напряжения разрушения образцов сапфировых труб не только от количества блоков, но и от кристаллографического направления, по которому производился рост трубы, толщины стенки и рабочей температуры оболочки лампы. Так, для безблочной трубы с толщиной стенки 1,4 мм, выращенной в кристаллографическом направлении $[000\bar{1}]$, при комнатной температуре предельное радиальное напряжение разрушения составляет 900 МПа. Причем при повышении температуры механическая прочность снижается, достигая минимума (порядка 150 МПа) при температурах 400–700 °С. Наличие спада разрушающего напряжения от температуры свойственно многим хрупким материалам и связано с наличием в них перенапряженных участков, характеризующихся коэффициентом $n = \sigma_e / \sigma_{cp}$, где $\sigma_{cp} = P/S$ (P – приложенная сила, S – площадь сечения образца); σ_e – локальное перенапряжение в участке образца, зависящее от его микроструктуры. Это важно учитывать при конструировании спаев металл – сапфир.

В итоге наших исследований и анализа данных, полученных другими авторами, были сформулированы основные технические требования к сапфировым трубам для оболочек

ИКСЛ с удельной пиковой электрической нагрузкой до 200 Вт/см²:

- отсутствие трещин, посечек, цветных включений, просматриваемых визуально, сколов площадью более 0,5 x 0,5 мм² на торцевых поверхностях трубы и волнистости на боковой поверхности;
- количество пузырей диаметром 0,4 мм в трубе для наружной колбы на длине колбы не должно превышать 10 шт., а пузырей диаметром 0,2 мм в трубе для горелки на длине горелки – 5 шт.;
- конусность, овальность и разностенность труб не должны выходить за пределы допусков на их наружный (– 0,3 мм) и внутренний (+ 0,25 мм) диаметры;
- допуск на прямолинейность на длине трубы в 150 мм – не более 0,3 мм;
- количество блоков в трубе для горелки должно быть не более 5 шт. с разориентацией в 8°, а в трубе для наружной колбы – не более 10 шт. с разориентацией менее 10°;
- коэффициент пропускания в спектральном диапазоне 3,5–5,5 мкм должен составлять не менее 0,8.

3. Особенности конструкции ламп с сапфировой оболочкой

В нашей стране впервые монокристаллическая окись алюминия была применена при разработке ламп накачки лазеров на АИГ:Nd⁺³. Здесь необходимо отметить работы И.В. Колпаковой и Е.Н. Гайдукова [8, 9]. Прак-

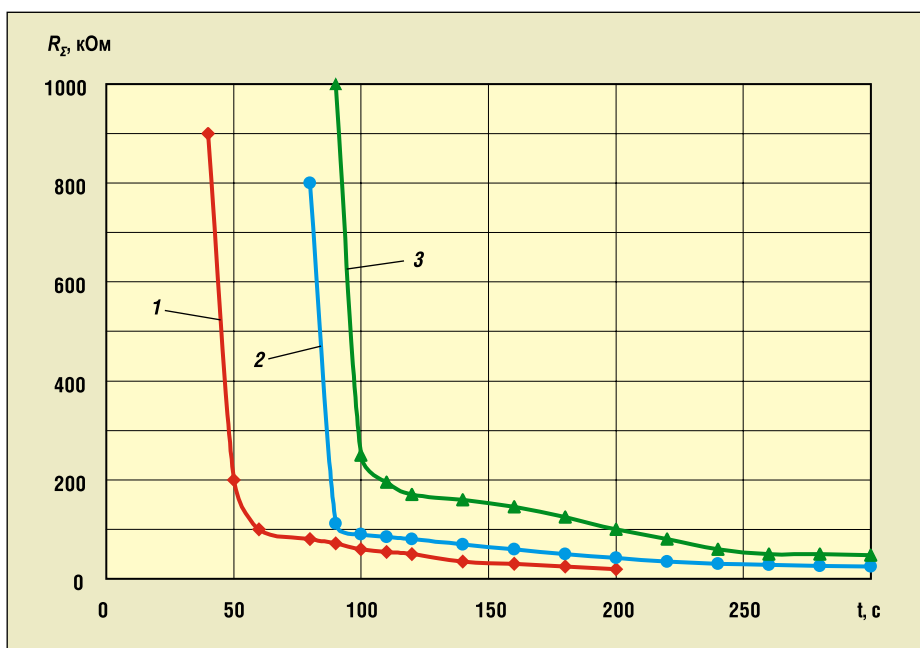


Рис. 3. Зависимость суммарного сопротивления плёнки Cs на электродах и внутренней стенке горелки и паров Cs (R_{Σ}) в макете лампы по рис. 1 (с внутренним диаметром горелки 7 мм, межэлектродным расстоянием 90 мм и средней мощностью 2,5 кВт) от времени охлаждения лампы после выключения при различных видах охлаждения через конусное сопло: 1 – сжатым воздухом (0,2 атм., 92 м³/ч); 2 – тремя вентиляторами типа ДДВО–0,7–60–366–4; 3 – с дополнительным конусом в макете лампы.

тическая значимость предложенных этими авторами решений заключается в том, что в отличие от НЛВД, в которых наружная вакуумированная колба защищает ниобиевые тоководы в горелке от окисления, их однооболочечные (без наружной колбы) лампы могли работать на воздухе. В сапфировой лампе согласно [8] использовалась пайка медно-никелевым припоем МН-45 сапфировой оболочки с титановыми колпачками, одновременно являющимися держателями электродов. Получаемое соединение обладало очень низкой механической прочностью, поскольку при пайке происходило интенсивное взаимодействие металлического расплава с поверхностью сапфира из-за образования ковалентных связей между атомами металла и кислородом сапфира в области спаивания. Кроме того, щелочной металл в наполнении горелки взаимодействовал с материалом припоя, что снижало его количество, приводя к нестабильности параметров лампы.

Конструкция лампы согласно [9] лишена этих недостатков благодаря использованию классического соединения ниобий-сапфир, подробно изученного при разработках НЛВД [10]. При этом ниобиевые электродные узлы при помощи стеклокера-

мического припоя соединяются внутри сапфировой оболочки (охватываемый спай) на некотором удалении от торца трубки. Надёжность такого соединения обеспечивается точностью зазора между соединяемыми деталями, а также способом доставки припоя в зону спаивания посредством канавок на ниобиевом колпачке [9]. Важной особенностью лампы является наличие колпачка из титана, соединённого с концевой частью сапфировой оболочки (охватывающий спай) при помощи стекломали и защищающего электродные узлы от окисления.

Именно это последнее техническое решение было взято нами за основу при создании первой ИКСЛ. Электродные узлы горелки впаивались посредством стеклокерамического цемента, а титановые колпачки внешнего баллона соединялись с ним при помощи стекломали. Однако в последнем случае образующаяся стеклофаза очень редко обеспечивала вакуумную плотность и механическую прочность из-за хрупкости спаивания.

Указанный недостаток удалось устранить, применив пайку медью коварового колпачка с предварительно металлизированной поверхностью сапфировой трубки. В России наиболее распространены два вида метал-

лизирующего покрытия: на основе вольфрама или молибдена [11]. Причем, несмотря на некоторую сложность в технологии приготовления, нанесения и вжигания молибденового металлизированного покрытия, оно имеет преимущество перед вольфрамовой пастой. И прежде всего благодаря контролируемой толщине слоя, что приводит к вакуумной плотности и гелиевой прочности паянного соединения. (Подробно данные процессы рассмотрены в [12].) Именно такой вид соединения был использован нами в ИКСЛ.

4. Электрические и излучательные характеристики лампы

Одной из основных характеристик изделия специального назначения является время готовности, т.е. момент достижения номинальных характеристик после подачи питающего напряжения. В случае импульсной лампы этот временной интервал складывается из времени, необходимого для зажигания, выхода в рабочий режим и стабилизации параметров излучения.

В [9] впервые было отмечено, что в случае лампы с разрядом в парах щелочных металлов подача высоковольтного импульса не приводит к образованию проводящего канала между электродами. Это связано с конденсацией щелочного металла в виде плёнки на электродах и внутренней поверхности разрядной трубки. Для устранения эффекта «замыкания» предложено перед зажиганием лампы производить прогрев оболочки нагревателем, навитым на внешнюю поверхность разрядной трубки в зоне катодного узла, а после испарения щелочного металла производить высоковольтный поджиг.

В случае ИКСЛ такой способ нереализуем в силу конструктивных особенностей и эксплуатационных требований, предъявляемых к ней. Тем не менее, идея испарения плёнки перед подачей высоковольтного импульса зажигания нашла у нас техническое воплощение. При этом в [13] было показано, что в зависимости от условий охлаждения ИКСЛ после ее выключения, образующаяся на стенке горелки плёнка может иметь сопротивление (R_n) от 200 Ом до 150 кОм. В качестве примера на рис. 3 приведена времен-

ная зависимость сопротивления лампы, равного сумме сопротивления пара щелочного металла и R_n , при разных условиях охлаждения. Для зажигания таких ламп в [13] предложен способ, основанный на том, что через образовавшуюся плёнку пропускается ток, происходит быстрый нагрев и испарение щелочного металла со стенок, приводящие к разрыву проводящего слоя и возникновению микрозарядов в местах испарения, которые затем распространяются на весь разрядный промежуток. Вследствие указанного весьма широкого диапазона значений R_n для зажигания разряда необходимо соблюдение следующих верхних пределов по току (I_{max}) и подаваемому на ИКСЛ напряжению (U_{max}):

- $U_{max}=300$ В, $I_{max}=1,5$ А (для зажигания лампы при $R_n < 1,0$ кОм);
- $U_{max}=1800$ В, $I_{max}=0,3$ А (то же при $1,0$ кОм $< R_n < 150$ кОм);
- импульсный поджиг с пиковым напряжением 8-10 кВ, полушириной импульса напряжения 0,25 мкс и частотой импульсов 10 Гц (при $R_n > 150$ кОм).

Данное техническое решение было использовано при разработке зажигающего устройства для ИКСЛ.

После пробоя межэлектродного промежутка разряд поддерживается постоянным напряжением на дежурной дуге (подробно этот способ описан ниже). Во избежание появления существенных градиентов температур в сапфировой оболочке ИКСЛ с наполнением Cs-Hg-Xe средняя электрическая мощность ИКСЛ (P_d) в момент поджига равна 600 Вт, а затем плавно (со скоростью около 6,5 Вт/с) повышается до номинального значения. Визуальное наблюдение показывает, что в момент включения разряд происходит в ксеноне. По мере возрастания P_d до 800 Вт наблюдается заполнение разрядного объёма парами Hg, а Cs в виде кипящей массы сосредотачивается у катода, где находится холодная точка лампы. Но уже при $P_d=1000$ Вт разрядные процессы начинают идти в смеси Cs-Hg-Xe. В [14] приведены данные спектрального анализа излучательных процессов в плазмообразующей среде при выходе лампы в рабочий режим. С момента включения лампы, при возрастании P_d на 200 Вт (примерно за 30 с) производилось измерение спектрального распределения излучения в диапазоне длин волн

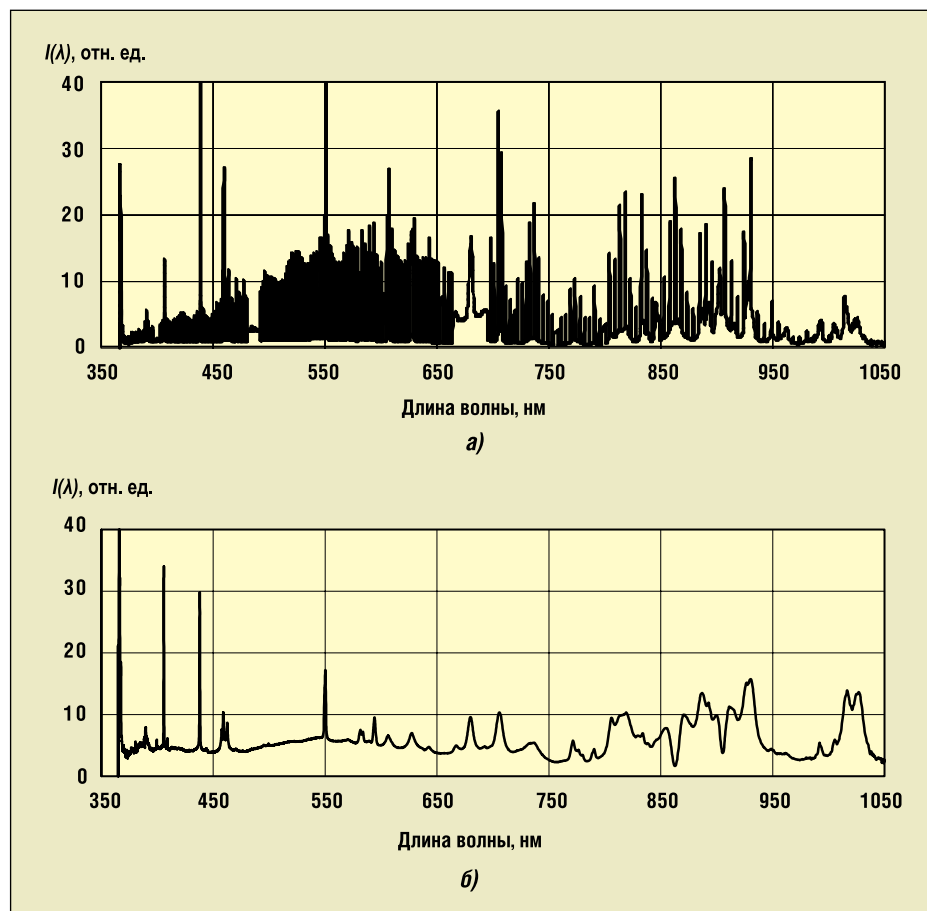


Рис. 4. Относительная спектральная плотность силы излучения лампы по рис. 1 (с внутренним диаметром горелки 7 мм и межэлектродным расстоянием 90 мм) при значениях средней мощности лампы 600 (а) и 2000 (б) Вт

350-1050 нм. Проведенные испытания показали, что в течение 150 с ($P_d=1,2$ кВт) после включения лампы наблюдаются около 13 линий излучения Hg и 5 линий Cs в УФ и синей областях спектра. По истечении этого времени 12 линий Hg практически полностью исчезают, а 5 линий Cs и линия Hg 365 нм самообращаются, причём самообращение линий начинается через 60 с с момента включения лампы. На рис. 4 приведены относительные спектры излучения ИКСЛ при двух значениях P_d .

Указанные визуальные наблюдения и результаты спектральных измерений качественно совпадают. Кроме того по достижении значения $P_d=2,0\div 2,2$ кВт (примерно за 250 с с момента включения) происходит стабилизация напряжения на дежурной дуге и пиковой силы излучения в ИК диапазоне спектра — лампа готова к выполнению функциональных задач. Таким образом, время стабилизации параметров излучения ИКСЛ (время готовности лампы) можно считать равным 5 мин.

Как отмечено выше, сложный импульсно-периодический временной профиль потока излучения ИКСЛ создаётся модуляцией её тока. При этом каждый импульс излучения должен иметь высокую амплитудную и временную стабильность. Для этого в [15] было предложено использовать метод, основанный на поддержании тока непрерывного горения дуги в промежутках между импульсами (режим дежурной дуги). Помимо улучшения воспроизводимости импульсов излучения, этот метод устраняет возможности пропусков импульсов тока и погасания ИКСЛ в процессе работы.

Однако наличие дежурной дуги имеет и негативную сторону, т.к. она — источник немодулируемого излучения. Причём при работе без дежурной дуги m на 0,3-0,5% выше, но излучение характеризуется временной и амплитудной нестабильностью. Изучение влияния тока дежурной дуги ($I_{дд}$) на m показало, что уже при $I_{дд}=1$ А и более исчезает амплитудная нестабильность, а увеличение

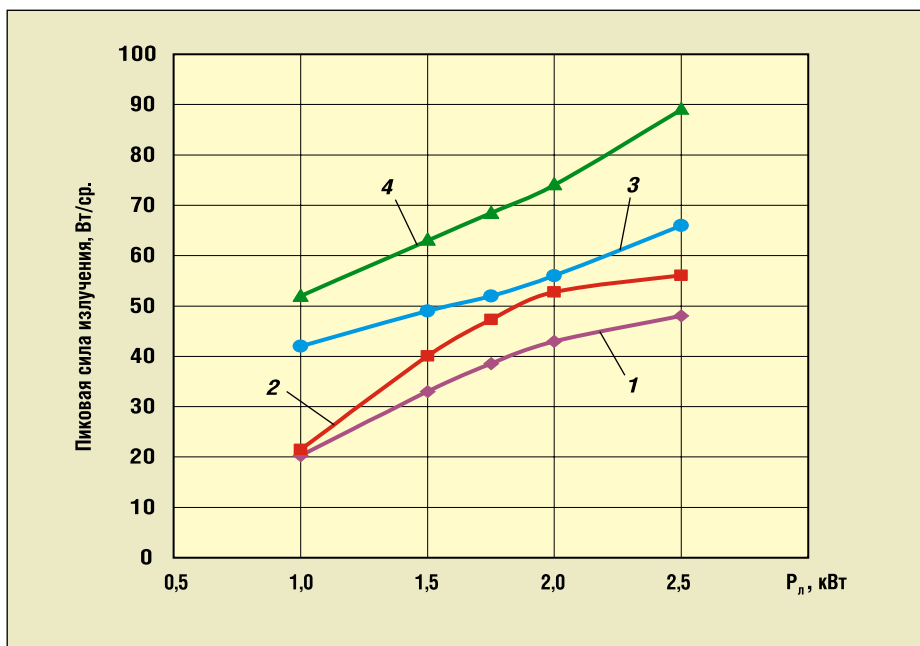


Рис. 5. Зависимость пиковой силы излучения в спектральном диапазоне $3\div 5$ мкм ламп по рис. 1 с внутренним диаметром горелки 7 мм и межэлектродным расстоянием 90 мм от средней электрической мощности лампы ($P_{л}$): экспериментальные данные для ламп с Cs – Xe (1) и Cs – Hg – Xe (2) наполнениями; расчетные данные для ламп с Cs – Hg – Xe наполнением и внутренним диаметром горелки 7 (3) и 13 (4) мм



Рис. 6. Расчетный спектральный показатель поглощения плазмы разряда в смеси Cs–Hg–Xe с соотношением давлений компонентов (Cs:Hg:Xe) при температуре холодной точки 0,5:1:1,5 (температура плазмы 4000 K)

$I_{дд}$ с 1 до 2 А приводит к снижению t на 1%. По этой причине дальнейшие исследования в [1] проводились именно при $I_{дд} = 1$ А.

Известно, что в сформированном плазменном канале вся электроэнергия в момент пикового значения импульса тока полностью расходуется на компенсацию потерь в окружающую среду за счет излучения, газодинамических процессов, теплопроводности и т. д. Для разработчиков раз-

рядных ламп (любых) важно свести к минимуму неизлучательные потери. Например, подбор состава плазмобразующей среды в нашем случае позволил снизить потери на теплопроводность в процессе формирования токового импульса. Для этого идеально подошла буферная добавка Hg [3], поскольку:

- у паров Hg низкая теплопроводность, что способствует снижению удельных потерь в столбе;

- потенциалы возбуждения и ионизации атомов Hg существенно выше, чем у щелочных металлов, вводимых в качестве излучающих добавок;

- у паров Hg низкое давление при комнатной температуре (около 0,17 Па), а при повышении температуры в пределах рабочих температур лампы оно может доводиться до нескольких МПа. Благодаря этому одновременно облегчается зажигание разряда (в «холодной» лампе) и имеется возможность регулирования рабочего давления буфера в исключительно широких пределах;

- Hg уширяет резонансные спектральные линии излучающих добавок, что в случае Cs увеличивает энергетический КПД разряда в ИК диапазоне спектра.

Измерения пиковой силы излучения в рабочем спектральном диапазоне ИКСЛ с Cs–Xe (Cs – 12 мг, Xe – 170 мм рт. ст.) и Cs – Hg – Xe (Cs – 12 мг, Hg – 3 мг, Xe – 50 мм рт. ст.) наполнениями подтвердили эффективность добавления Hg в разряд (рис. 5). Причём экспериментальным кривым по рис. 5 качественно соответствуют расчётные кривые для ИКСЛ с аналогичным Cs – Hg – Xe наполнением (кривая 3). Большая эффективность Cs – Hg – Xe разряда обусловлена также повышением осевой температуры разряда, которая в соответствующей ИКСЛ при $P_{л} = 2,5$ кВт, по нашим расчетам, может достигать 6400 К. Одновременно, как видим, увеличение внутреннего диаметра горелки до 13 мм предположительно позволит при указанной мощности достигать пиковой силы излучения около 90 Вт/ср. (Так как коэффициент оптического поглощения Cs в ИК диапазоне велик, то этот эффект связан с ростом площади излучающей поверхности плазменных слоев, расположенных у стенки горелки.)

Сделанное предположение получило экспериментальное подтверждение при испытаниях макетных образцов ИКСЛ с внутренним диаметром горелки 11 мм и межэлектродным расстоянием 90 мм при работе со схемой питания с транзисторным модулятором. Данная схема обеспечивает подачу на ИКСЛ прямоугольного импульса напряжения, что приводит к крутому заднему фронту импульса тока и, как следствие, к повышению t . Исследованные образцы ИКСЛ уже при $P_{л} = 2$ кВт имели пиковую силу

излучения 120 Вт/ср и $m = 96 \%$. При этом необходимо отметить, что эти лампы сохраняли работоспособность и после воздействия одиночных механических ударов с ускорением до 40 g, синусоидальной вибрации в диапазоне от 100 до 2000 Гц, циклического изменения температуры от $-60 \text{ }^\circ\text{C}$ до $+85 \text{ }^\circ\text{C}$. (Наработка ИКСЛ после этих испытаний составляла 150 ч.)

5. О математическом моделировании ламп

Разработка столь сложных по многообразию физических процессов, конструкции и технологии изготовления источников излучения, как ИКСЛ, существенно облегчается использованием соответствующего математического моделирования. Авторами разработаны комплекс различных моделей и реализующее их программное обеспечение, позволяющие проводить численные эксперименты по воссозданию физической картины процессов, протекающих в разряде и оболочках ИКСЛ. В моделях учитываются многокомпонентный состав плазмы, нестационарность процессов, перенос излучения в непрерывном и дискретном спектрах в плазме и системе двойных оболочек, газодинамика, внешняя электрическая цепь. В результате проведения вычислительных экспериментов получены разнообразные массивы данных, иллюстрацией которых служат рис. 6-8. При этом при расчёте уширения линий учитывались все основные механизмы уширения, включая штарковский, резонансный, доплеровский и вандерваальсовский. Подробнее математическая модель, база данных по оптическим и теплофизическим характеристикам разрядной плазмы ИКСЛ, а также алгоритм ре-

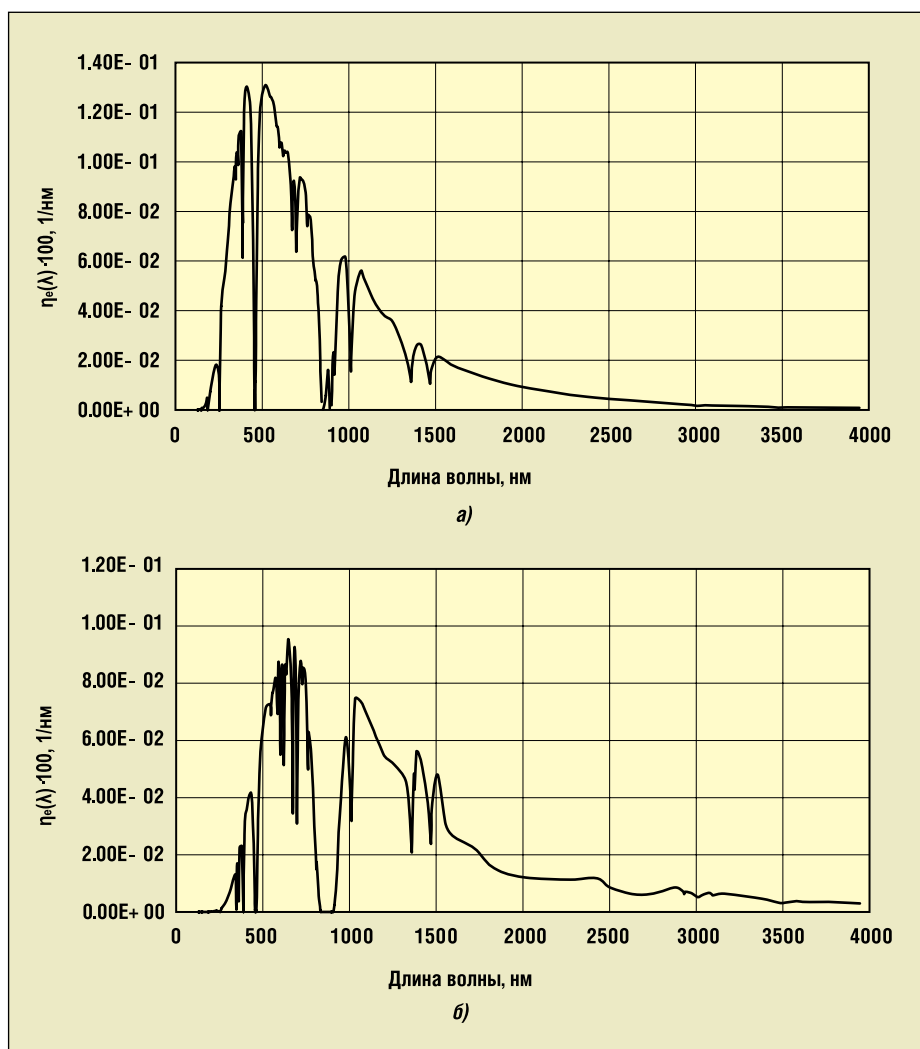


Рис. 7. Расчётная спектральная плотность энергетического КПД в спектральном диапазоне $3 \div 5 \text{ мкм}$ разряда ($\eta_e(\lambda)$) в смеси Cs–Hg–Xe с соотношением компонентов по рис. 6 (в лампе с внутренним диаметром 7 мм и межэлектродным расстоянием 90 мм) в максимумах тока (I_{max}) при частоте импульсов 500 Гц и двух удельных средних мощностях разряда ($P_{y\delta}$): а – $I_{max} = 50 \text{ A}$, $P_{y\delta} = 80 \text{ Вт/см}$, температуры внутренних поверхностей горелки (T_2) и наружной колбы (T_0) 900 и 795 K соответственно, температура на оси разряда (T_0) 4200 K; б – $I_{max} = 300 \text{ A}$, $P_{y\delta} = 530 \text{ Вт/см}$, $T_2 = 1610 \text{ K}$, $T_0 = 1310 \text{ K}$, $T_0 = 6450 \text{ K}$

ализации разработанной модели будут рассмотрены нами в следующей статье.

В заключение необходимо отметить, что накопленный авторами

опыт позволил создать и другие лампы с сапфировыми оболочками: например, ВЧ безэлектродные калиевые лампы, короткодуговые ксенонные лампы СВД и др. Приведенные в

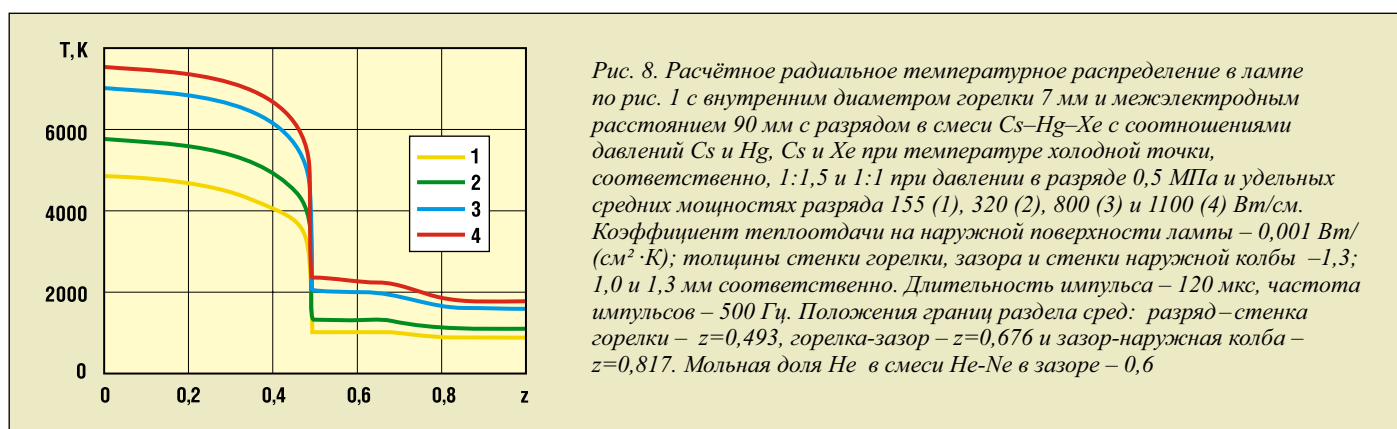


Рис. 8. Расчётное радиальное температурное распределение в лампе по рис. 1 с внутренним диаметром горелки 7 мм и межэлектродным расстоянием 90 мм с разрядом в смеси Cs–Hg–Xe с соотношениями давлений Cs и Hg, Cs и Xe при температуре холодной точки, соответственно, 1:1,5 и 1:1 при давлении в разряде 0,5 МПа и удельных средних мощностях разряда 155 (1), 320 (2), 800 (3) и 1100 (4) Вт/см. Коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности лампы – $0,001 \text{ Вт}/(\text{см}^2 \cdot \text{K})$; толщины стенки горелки, зазора и стенки наружной колбы – 1,3; 1,0 и 1,3 мм соответственно. Длительность импульса – 120 мкс, частота импульсов – 500 Гц. Положения границ раздела сред: разряд–стенка горелки – $z=0,493$, горелка–зазор – $z=0,676$ и зазор–наружная колба – $z=0,817$. Мольная доля He в смеси He–Ne в зазоре – 0,6

этой статье данные могут использоваться не только при разработке разрядных ламп различного назначения, но и при создании других устройств, в которых применяется уникальный по своим техническим характеристикам материал – профилированный монокристаллический сапфир.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гавриш С.В., Гайдуков Е.Н., Константинов Б.А., Никифоров В.Г., Самодёргин В.А. Разрядные источники инфракрасного излучения для специальных целей // Светотехника. 1998. №3. С. 22-24.
2. Гавриш С.В., Цогоев И.Т., Кобзарь А.И. Новый класс импульсных цезиевых ламп высокого давления с сапфировой оболочкой специального применения: Тез. докл. VI Международ. светотехн. конф. - Калининград, 2006. – С. 53-54.
3. Рохлин Г.Н. Разрядные источники света. М.: Энергоатомиздат, 1991. 720 с.
4. Антонов П.И., Затуловский Л.М., Костылёв А.С. Получение профилированных монокристаллов и изделий методом Степанова. Л.: Наука, 1971.- 280 с.
5. Браиловский В.Б., Гавриш С.В., Рыжков А.Е., Дефекты структуры и диагностика характеристик труб из профилированных монокристаллов корунда для оболочек импульсных разрядных ламп ИК – излучения // Контроль. Диагностика. 2007. №2. С. 49-59.
6. Сидорова Е.А., Воловец Ф.К., Королев Е.А.. О центрах окраски в γ - облученном рубине с примесью ванадия // ЖПС. 1972.Т. XVII.вып. 5. С. 781-785).
7. Механическая прочность безблочных профилированных монокристаллов корунда / В.Б. Браиловский, Е.Н. Гайдуков, Т.В. Макарова и др.// Электронная техника. Сер. Материалы. 1991. № 1. С. 53-55.
8. Дуговые разряды в парах щелочных металлов как перспективные источники накачки лазеров на АИГ: Nd^{3+} / А.Ю. Аняньев, С.Ф. Давыдов, И.В. Колпакова и др. // ЖПС.1979. Т. 30. Вып. 4. С. 628-631.
9. Сапфировая К-Rb-лампа – эффективный источник непрерывной накачки лазеров на основе АИГ: Nd^{3+} / Е.Н. Гайдуков, Г.И. Кромский, Г.С. Леонов и др. // ОМП. 1984. №3. С. 42-46.
10. Исследование характеристик натриевых ламп высокого давления с сапфировой оболочкой горелки/Браиловский, С.В. Гавриш, Е.Н. Гайдуков и др.// Тез. докл.

II Международ. светотехнич. конф. – Суздаль, 1995.- С.48-49.

11. Термостойкие диэлектрики и их спай с металлом в новой технике /М.А. Рубашев, Г.И. Бердов, В.Н. Гаврилов и др. М.: Атомиздат, 1980. - 246 с.

12. Решетников А.М., Парилова Г.А., Пикучило Н.К. Паста для металлизации алюмооксидных и других керамик // Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ. 1989. № 9. С. 65-68.

13. Гавриш С.В. Исследование процессов конденсации паров металла после выключения ламп с щелочными добавками в условиях принудительного охлаждения. // Тез. докл. III Международ. светотехн. конф. – Новгород, 1997. – С. 134.

14. Гавриш С.В., Градов В.М., Асоскова Е.О. и др. Особенности теплофизических процессов формирования плазменного столба в импульсных цезиевых лампах высокого давления. // Тез. докл. VI Международ. светотехн. конф. - Калининград, 2006. – С. 150-151.

15. Bayha William T., Creedon John E., Schneider Sol. Alkali-vapor light sources as optical pumps for Nd:YAG lasers // IEEE-Trans. Electron Devices. 1970. V. 17. №8. P. 612-616.



Гавриш Сергей Викторович,
кандидат технических наук. Окончил МИЭТ в 1985 г. Начальник СКТБ ОАО ПО «Завод Стела»



Градов Владимир Михайлович,
доктор технических наук. Окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1973 г. Профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана



Терентьев Юрий Иванович,
кандидат технических наук. Окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1973 г. Доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана

СПРАВОЧНАЯ КНИГА ПО СВЕТОТЕХНИКЕ

(Под общей редакцией доктора технических наук, профессора Ю.Б. Айзенберга
3-е издание, переработанное и дополненное)

Дополнительный тираж

Группа компаний «Светосервис» и московский Дом света готовят к дополнительному выпуску в I-II кварталах 2008 г. третье издание «Справочной книги по светотехнике».



Первый тираж 1000 экз., вышедший из печати в феврале 2007 г., был распространен за 5 месяцев. Заявки на книгу продолжают поступать от различных специалистов и организаций. В этой связи владельцем прав на «Справочную книгу по светотехнике» – Группой компаний «Светосервис» принято решение о повторном выпуске книги. Сбором заявок и распространением издания будет заниматься московский Дом Света, организовавший подготовку и издание первой партии книги.

Книга является не только справочным изданием, но может быть использована и в качестве учебного пособия.

Книга предназначена для широкого круга специалистов-светотехников, электриков, архитекторов, гигиенистов, врачей, работников охраны труда, связанных с применением естественного и искусственного освещения, разработкой и производством светотехнических изделий, проектированием, монтажом и эксплуатацией светотехнических установок. Может с успехом использоваться студентами и аспирантами.

Объем книги – более 950 стр., тираж дополнительного издания 2000 экз.

Заказать «Справочную книгу по светотехнике» можно в Доме Света, направив заявку по адресу:

**Россия, 129626, Москва, Проспект Мира, 106, офис 346
Тел./факс (495) 682-19-04 E-mail: Light-house@list.ru**