

УДК 621.327

Теплофизические процессы в сапфировых колбах разрядных ламп

С. В. Гавриш

Приведены результаты теоретического анализа и экспериментального исследования теплофизического воздействия импульсной плазмы на сапфировые оболочки ламп. Показана связь возникающих в разрядной трубке напряжений и наведенного поглощения с температурным состоянием оболочки. Рассмотрено влияние дефектов структуры на механические и излучательные свойства сапфира при изменении температуры.

PACS: 07.50.-e

Ключевые слова: разряд, плазма, цезий, сапфир, дефекты, структура, прозрачность, коэффициент пропускания, прочность.

Введение

Надежность газоразрядных ламп проявляется в их способности обеспечивать технические характеристики в течение всего срока службы. Важную роль в этом играет температурное состояние колбы. В случае модулируемой лампы с сапфировой (корундовой, лейкосапфировой) оболочкой [1] нагрев цезиевой плазмы разрядной трубки приводит к росту интенсивности непрерывного теплового излучения, радиационному окрашиванию колбы, возникновению термоупругих напряжений в зоне соединения с металлом. Данная работа посвящена рассмотрению влияния на эксплуатационные параметры ламп указанных факторов.

Теплофизические процессы воздействия плазмы на оболочку ламп

Проведем теоретический анализ факторов, определяющих теплофизическое состояния оболочки импульсной лампы. Спектр излучения цезиевой плазмы располагается в диапазоне длин волн 0,2—7 мкм [2], в то время как монокристаллический корунд пропускает около 80—85 % излучательного потока в интервале длин волн 0,2—5,5 мкм. Этот спектральный диапазон в технической литературе принято называть областью полупрозрачности сапфира. Необходимо отметить, что границы оптического поглощения существенно зависят от температуры материала [3, 4]. На рис. 1 приведено спектральное распределение коэффициента поглощения лейкосапфира k_c , построенное по табличным данным работы [4].

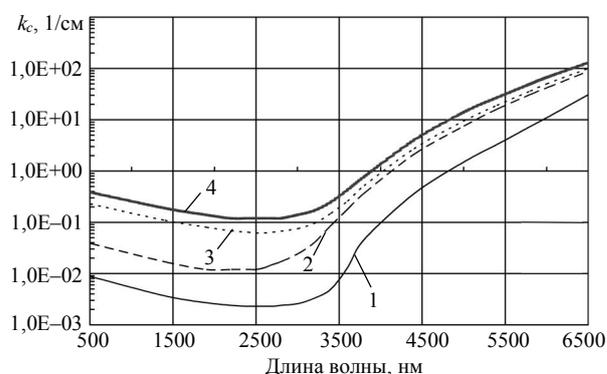


Рис. 1. Коэффициент поглощения лейкосапфира по данным работы [4] при разных температурах, К:
1 — 700; 2 — 1700; 3 — 1900; 4 — 2300 К

Исходя из сказанного, факторами теплового нагружения оболочек являются:

- тепло, передаваемое внутренней поверхности разрядной трубки за счет механизма теплопроводности плазмы;
- частично поглощаемый объемом оболочки поток излучения разряда в области полупрозрачности сапфира;
- инфракрасное излучение за длинноволновой границей пропускания материала λ . В данном случае наблюдаются поверхностное поглощение и перенос тепла к внешней стороне разрядной трубки теплопроводностью.

Потеря подводимой мощности осуществляется за счет теплообмена и излучения. Причем спектральные особенности излучательного процесса соответствуют приведенной выше градации спектра на поддиапазоны. В области полупрозрачности корунда излучение сбрасывается объемно, а за границей пропускания — поверхностно.

Таким образом, разность между мощностью, поступающей в оболочку, и отводимой из нее, определяет температурное состояние колбы. Нагружение оболочки за счет теплопроводности плазмы зави-

Гавриш Сергей Викторович, начальник лаборатории.
ЗАО «СКБ "Зенит"».
Россия, 124489, Москва, Зеленоград, Панфиловский просп., 8,
стр. 5.
Тел.: 8 (495) 983-01-94. E-mail: svgavr@list.ru
Статья поступила в редакцию 14 сентября 2009 г.

сит от мощности, поступающей в разряд (температурного профиля разряда), состава и давления плазмобразующей среды. Безызлучательные потери тепла определяются толщиной стенки разрядной трубки, интенсивностью теплосъема с ее внешней поверхности (скоростью и направлением потока хладагента), конфигурацией (развитостью) наружной поверхности колбы и т. д.

При рассмотрении особенностей поглощения и сброса излучения оболочками следует учитывать, что указанные процессы зависят от спектрального состава свечения разряда, распределения по длинам волн коэффициента поглощения материала стенок и функции распределения равновесного излучения Планка. Последняя вместе с k_c , согласно закону Кирхгофа, влияет на излучательную способность материала.

Рассмотрим этот процесс подробнее. Основная доля излучения цезиевого разряда сосредоточена в области длин волн короче 2 мкм [5]. Именно эта область дает основной вклад в объемное поглощение в стенках. К тому же коэффициент поглощения сапфира k_c (см. рис. 1), имея минимальное значение при длинах волн около 2 мкм, нарастает в коротковолновую сторону. Отметим, что в длинноволновую сторону нарастание коэффициента поглощения существенно более резкое. Однако в этой области общий выход излучения из разряда снижен [5], и роль длинноволновой части спектра разряда в тепловом нагружении оболочек заметно меньше.

Как отмечалось ранее, k_c сапфира сильно зависит от температуры. Например, в видимой области спектра при изменении температуры от 700 до 2300 К коэффициент меняется более чем на порядок. Одновременно максимум функции распределения Планка при изменении температуры от 1000 до 2300 К смещается примерно с 3 до 1,2 мкм (рис. 2). В итоге по мере увеличения электрической мощности температура оболочек растет (рис. 3), они начинают заметно излучать во все большей области спектра, захватывая коротковолновый диапазон и изменяя при этом вид кривых спектрального распределения сбрасываемой лучистой мощности. На рис. 2 видно, что по мере повышения мощности цезиевого разряда кривые приобретают два максимума.

В случае модулируемых источников ИК-излучения [1] данный эффект имеет негативное значение. Попытка поднять пиковую мощность излучения за счет увеличения электрической нагрузки на импульсный источник непременно будет сопровождаться возрастанием постоянной составляющей излучения оболочек, причем во все более расширяющемся диапазоне спектра. Это связано с тем, что коротковолновое смещение максимума

функции Планка и поведение коэффициента поглощения в зависимости от длины волны и температуры складываются, усиливая отрицательный эффект. Так, экстремум на кривых рис. 3 при 1,3 мкм связан с тем, что сюда смещается максимум функции Планка. Появление второго максимума обязательно резко нарастанию коэффициента поглощения в область больших длин волн и увеличению в результате этого излучательной способности материала стенок в длинноволновом диапазоне спектра. Необходимо отметить, что приведенные данные относятся к фиксированному значению коэффициента теплоотдачи α . С ростом α положение и интенсивность максимумов будут меняться.

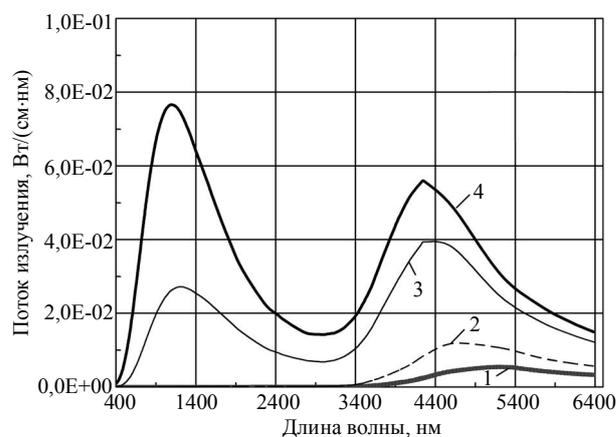


Рис. 2. Спектральное распределение излучения оболочек в момент погасания разряда при средних электрических мощностях лампы:

1 — 155; 2 — 320; 3 — 800; 4 — 1100 Вт/см.
Коэффициент теплоотдачи 0,001 Вт/(см²·К)

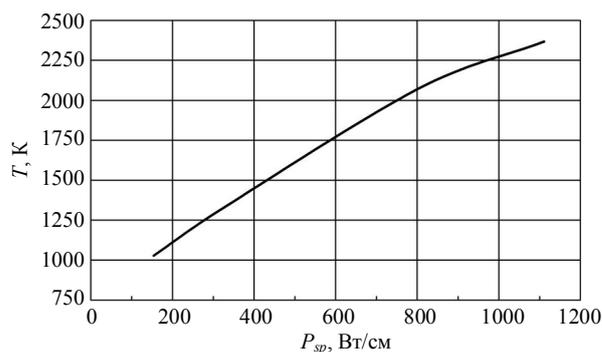


Рис. 3. Зависимость температуры на внешней поверхности разрядной трубки от средней электрической мощности, вкладываемой в разряд.

Коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности лампы 0,001 Вт/(см²·К)

Таким образом, проведенный анализ позволяет выделить основные факторы, определяющие теплофизическое состояние оболочки разрядной лампы. Это спектральный состав излучения цезиевой плазмы и оптические свойства сапфира, зависящие от структурного совершенства монокристалла.

Термоупругие напряжения в оболочках и спаях с металлом

Как следует из рис. 3, при удельной мощности разряда $P_{sp} = 1200$ Вт/см температура в оболочке разрядной лампы может достигать $T_{cas} = 2200$ °С. В реальных условиях эксплуатации ламп разработчики таких значений P_{sp} и T_{cas} стараются избежать. Это связано с двумя причинами: во-первых, при T_{cas} , близкой к температуре плавления сапфира, в разряд поступают продукты испарения материала разрядной трубки, что приводит к снижению энергетического выхода излучения в среднем ИК-диапазоне; во-вторых, с повышением температуры растет давление наполнения (например, давление ртути повышается до нескольких атмосфер) и одновременно, даже у абсолютно совершенного монокристалла, снижается предельное напряжение разрушения σ_{lim} . Если учесть, что при современной технологии выращивания синтетического корунда по методу Степанова избежать дефектов структуры (двойников, дислокаций блоков и т. д.) практически невозможно, то встает вопрос об исследовании связи σ_{lim} со структурным совершенством монокристалла (блочностью и температурной зависимостью стойкости лейкосапфира к воздействию разрушающей нагрузки).

Прочность корунда, как и других хрупких материалов, зависит от многих факторов: скорости испытания, температуры, качества поверхности образца, среды, различной ориентации кристалла по отношению к прикладываемой нагрузке. В работе [6] приведены результаты испытаний стойкости сапфировых труб к воздействию тангенциальных нагрузок при комнатной температуре. Для изучения σ_{lim} были изготовлены образцы труб с разной степенью дефектности:

- от безблочных до 30 блоков;
- с внутренними напряжениями 5—25 кг/мм²;
- с разориентацией блоков 3—25°.

Предельное напряжение разрушения стенок трубчатого образца рассчитывали по формуле

$$\sigma_{lim} = \frac{F}{\pi R_1^2} \frac{(R_2^2 + R_1^2)}{(R_2^2 - R_1^2)}, \quad (1)$$

где F — усилие, прикладываемое к внутренней поверхности сапфировой трубы;

R_1 — внутренний диаметр;

R_2 — наружный диаметр.

Точность измерения, обеспечиваемая методикой, составляла 5 кг/мм².

В результате проведенных в работе [6] испытаний получена величина предельного напряжения разрушения для безблочной трубы, равная 390 МПа.

В настоящей работе автором исследовано предельное напряжение разрушения сапфировой тру-

бы при повышенных температурах на установке, описанной в работе [6]. Повышение температуры производилось со скоростью 10 град/мин и контролировалось термопарой. Силовое нагружение образца происходило в течение 5—10 с. После разрушения по формуле (1) рассчитывалось σ_{lim} с последующим усреднением.

При разрушении образцы вели себя по-разному в зависимости от характера блоков. В случае безблочной структуры корундовые трубы разрушаются в основном на многочисленные мелкие кусочки. Если же образцы имели несколько блоков, граница между которыми проходит через всю стенку трубки, то разрушение происходит вдоль этой границы. При этом наблюдается закономерность в поведении разрушающего напряжения от угла ориентации межблочной границы. Если угол межблочной спайности мал, т. е. граница проходит вдоль радиуса, то σ_{lim} максимальное. В случае ориентации границы перпендикулярно радиусу образца, то σ_{lim} минимальное. По-видимому, это можно связать с направлением воздействия прикладываемых напряжений, растягивающих трубчатый образец. При угле ориентации межблочной границы $\gamma=0^\circ$ прикладываемая сила действует по нормали к границе, а при $\gamma = 90^\circ$ действие F вызывает сдвиговые процессы, что требует меньших энергетических затрат.

На рис. 4 показана полученная в данной работе температурная зависимость предельного напряжения разрушения безблочных труб с толщиной стенки 1,4 мм, выращенных по способу Степанова, с кристаллографической ориентацией [0001] (кривая 1) и [1012] (кривая 2) в интервале температур 200—1100 °С. Несовпадение минимума σ_{lim} на кривых связано с тем, что разрушение проводилось в разных кристаллографических плоскостях. Несмотря на некоторое различие в показаниях предельного напряжения разрушения, ход кривых идентичен. В отличие от полученных в работе [6] данных на приведенных зависимостях (см. рис. 4) в температурном интервале 400—700 °С наблюдается явно выраженный минимум прочности.

Наличие спада предельного напряжения разрушения от температуры свойственно многим хрупким материалам и связано с наличием перенапряженных участков, характеризующихся коэффициентом $n = \sigma_e / \sigma_{mid}$, где $\sigma_{mid} = F/S$ (F — сила, S — площадь сечения образца); σ_e — распределенные по объему локальные перенапряжения, которые зависят от микроструктуры образца.

Причины аномальной зависимости предельного напряжения разрушения от температуры объясняются наложением процессов деформации и разрушения. На низкотемпературном участке деформационные процессы замедлены, коэффициент

перенапряжения велик и почти постоянен. Повышение температуры до 800 °С ускоряет деформацию, за время испытания локальные напряжения успевают снизиться, а с повышением температуры коэффициент n резко падает, поэтому с ростом температуры также растет σ_{lim} . Следовательно, на температурно-силовую зависимость сапфировой трубы в первую очередь влияет коэффициент локальных перенапряжений.

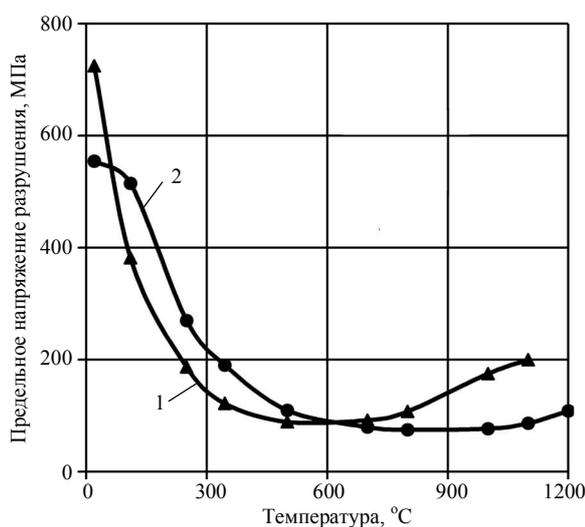


Рис. 4. Температурная зависимость предельного напряжения разрушения корундовых труб, выращенных в кристаллографических направлениях: 1 — [0001]; 2 — [1012]

Исходя из полученных данных, можно оценить термоупругие напряжения, возникающие в соединениях сапфировой трубы с электродными узлами. В данной работе автором исследовано распределение температуры по наружной поверхности разрядной трубки, представленное на рис. 5. Измерения проводили посредством хромель-алюмелевой термопары, прижимаемой особым способом к поверхности. Цезий-ртуть-ксеноновая лампа постоянного тока работала при мощности 1,0 кВт и в условиях естественного охлаждения. Как видно из приведенных результатов, в центральной части межэлектродного расстояния температура составляла около 1350 °С, а в зоне соединения электрода с оболочкой 450—550 °С.

Наибольшие напряжения возникают в спае сапфира с электродным узлом, поскольку у сочленяемых деталей различные коэффициенты теплового расширения (КТР). Получить согласованный спай очень трудно в силу двух причин. Во-первых, это связано с особыми требованиями к материалу токоввода, а именно, обеспечением химической устойчивости к щелочному металлу при рабочих температурах лампы, высокой работы выхода, низким газоотделением и т. д. Столь широкому диапазону требований могут удовлетворять только

некоторые материалы. Во-вторых, сапфир имеет анизотропные термические свойства, т. е. по диаметру и длине оболочки КТР имеют различные значения.

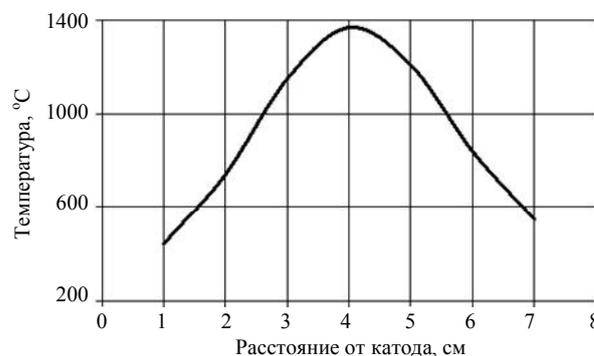


Рис. 5. Распределение температуры по длине разрядной трубки цезиевой лампы постоянного тока при мощности 1,0 кВт

В работе [7] рассмотрена методика расчета термических напряжений, возникающих в спае, построенная на решении задачи Ляме для системы двух цилиндров (сапфир—металл). При этом в лампах с двумя сапфировыми оболочками [1] применяются цилиндрические охватывающие (сапфир снаружи) и охватываемые (сапфир внутри) спаи.

Если воспользоваться приведенной методикой и полученными автором в данной работе результатами, можно сделать следующее заключение: значения дифференциального сжатия в обоих случаях положительны, следовательно, напряжения в спае являются сжимающими и достаточно безопасными. Например, в случае внешней корундовой колбы лампы с двумя оболочками [1] используется охватывающее соединение сапфир—ковар. Расчет, проведенный автором в данной работе для охватывающего спаи, показал, что если отношение внутреннего радиуса r_1 корундовой трубы к внешнему r_2 мало, то с возрастанием толщины коварового цилиндра тангенциальные напряжения становятся достаточно низкими и в большинстве случаев лежат в безопасных пределах. Для охватывающего спаи необходимо добиваться, чтобы r_1/r_2 имело малое значение. В частном случае для сапфировой трубы с наружным диаметром 13 мм и толщиной стенки $h = 1,5$ мм безопасным будет спай с коваровым цилиндром при $h \leq 0,5$ мм. Приведенные расчеты соответствуют температурному распределению по длине колбы, показанному на рис. 5.

Радиационное воздействие цезиевой плазмы на оболочку

Как уже отмечалось, на теплофизическое состояние оболочки существенное воздействие ока-

зывает спектральный состав излучения цезиевой плазмы. Другие компоненты наполнения лампы (ртуть, ксенон) не влияют на излучение разряда, так как имеют более высокие потенциалы ионизации. Анализ спектральных линий цезия [1] показывает, что часть энергии излучается в ультрафиолетовом (УФ) диапазоне спектра. Как следует из проведенных в данной работе расчетов, интенсивность УФ-излучения растет с увеличением удельной мощности на лампе (рис. 6) и уменьшением радиуса разрядного канала. По расчетам, для импульсной цезиевой лампы с двумя сапфировыми оболочками 11/35 (диаметр/длина разрядного канала) пиковая сила излучения при средней мощности разряда 1450 Вт в диапазоне 250—450 нм составляет 78 Вт/см., а уже при 1800 Вт достигает 123 Вт/см. В связи с этим в процессе работы лампы, особенно в начальные моменты, под действием УФ-излучения наблюдается уменьшение пропускания оболочки.

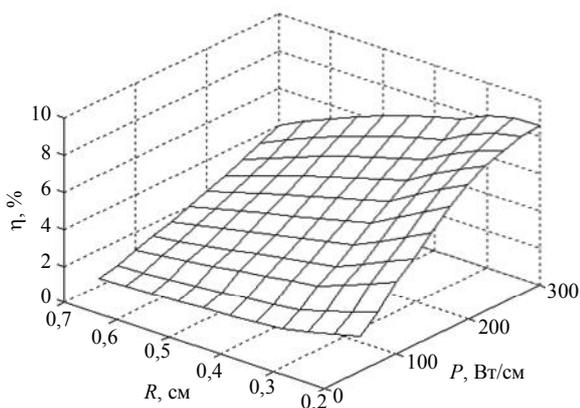


Рис. 6. Зависимость КПД излучения разряда в максимуме тока в интервале спектра 0,27—0,4 мкм при соотношении компонент Cs:Hg:Xe — 5:1:1,5

Основная причина уменьшения прозрачности оболочек связана с фотохромными эффектами: фотоиндуцированное окрашивание и короткоживущее поглощение. Данные процессы проявляются в слабонагруженных частотных режимах с принудительным охлаждением, охватывая практически весь временной интервал эксплуатации, включая начальный период.

Фотоиндуцированное окрашивание оболочек импульсных ламп — это процесс образования и накопления стабильных при рабочих температурах центров окраски в материале колбы под действием излучения импульсной плазмы. Нарастание плотности оптической окраски происходит в начальный период и имеет кинетический характер с последующим насыщением в ходе наработки.

Короткоживущее поглощение — это явление кратковременного снижения прозрачности оболочки импульсной лампы в результате образования

нестабильных для данной структуры кристалла центров окраски в течение длительности импульса излучения плазмы.

В данной работе рассматривается фотоиндуцированное окрашивание корундовых оболочек. Это явление связано с наличием дефектов в монокристаллической структуре сапфира. Содержание примесей зависит от чистоты исходного сырья и условий роста, а их валентное состояние — от режима выращивания и последующей термической обработки.

Таким образом, качественный характер изменения спектров пропускания одинаков для различных видов ионизирующих излучений, так как связан с дефектностью структуры сапфира. Поэтому для исследований выбран один спецфактор — непрерывное γ -излучение.

В литературных источниках, посвященных совершенству кристаллов [8], поглощение при длинах волн 220, 285, 330, 380, 470 и 538,8 нм приписывается примесям магния. Ванадий поглощает в областях 240, 315, 400—405, 575—580 нм титан в трехвалентном состоянии в полосах 487—494,8 нм, а в четырехвалентном — в полосе 250 нм. Примеси хрома в количестве $3 \cdot 10^{-4}$ мас. % сдвигают начало пропускания с 140 до 200 нм.

Неактивированным кристаллам присущи электронные и дырочные центры окраски с поглощением в области 175, 206, 230 и 400 нм. Первая полоса пока неидентифицирована. Полосы 206 и 230 нм приписывают переходам в F-центрах, а 400 нм соответствует V-центру. Исследованию межзельных ионов посвящено меньше работ, хотя их наличие также приводит к изменению спектральных свойств кристаллов. После облучения последних ионизирующим излучением обычно образуется наведенное поглощение с максимумами в областях 206, 230, 400 и в ряде случаев 280 нм.

Методика исследования влияния спецфакторов на излучательные параметры импульсных ламп с сапфировой оболочкой заключалась в следующем. У сапфировой трубы, из которой изготовлялась лампа, вырезался сегмент (образец-свидетель). Затем проводили измерение коэффициента пропускания образца-свидетеля и исследование излучательных характеристик лампы. После этого лампу и сегмент сапфировой трубы подвергали γ -воздействию с экспозиционной дозой $7 \cdot 10^3$ рентген. В завершение испытаний проводили повторный замер указанных выше параметров. На рис. 7 приведены спектры оптического пропускания прозрачного (кривые 1, 3) и розового (кривые 2, 4) образцов до и после воздействия γ -излучения.

Видно, что после радиационного воздействия кроме снижения коэффициента пропускания на

10—15 % наблюдается сдвиг его коротковолновой границы. При этом у розового образца сапфировой трубы усиливается провал на длине волны 575 нм. Проведенный химико-спектральный анализ показал, что, например, в розовых образцах процентное содержание примесей составляет: Mo — $3 \cdot 10^{-3}$; Cr — $6 \cdot 10^{-4}$; Fe — $1,4 \cdot 10^{-3}$; Ti — $1 \cdot 10^{-3}$ мас. %.

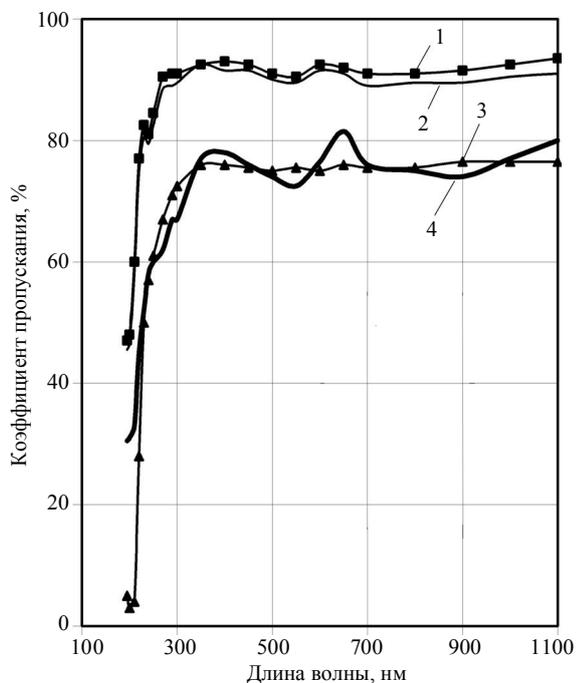


Рис. 7. Спектральное пропускание прозрачного (1, 3) и розового (2, 4) образцов сапфира до (1, 2) и после (3, 4) воздействия γ -излучением

Наличие таких центров окраски приводит к изменению излучательных параметров ламп под влиянием радиационных воздействий. В экспериментах проводилось последовательное облучение ламп дозами 10^6 , 10^7 и 10^8 рад с последующим измерением силы излучения импульсных ламп в диапазоне длин волн 0,28—0,4 мкм в зависимости от времени наработки. Результаты испытаний приведены на рис. 8.

После облучения ламп γ -излучением имело место фиолетовое окрашивание баллона лампы, которое усиливалось с дозой облучения, что оказывало влияние на силу излучения. Видно, что максимальное снижение силы излучения облученных ламп составляло до 15 % при дозе 10^8 рад. В процессе работы лампы окрашенность исчезала, т. е. по мере повышения температуры оболочки происходил отжиг наведенных центров окраски, и сила излучения возрастала до первоначального значения.

Однако в такой ситуации скорость восстановления прозрачности оболочки и сам коэффициент пропускания также зависят от спектрального состава излучения разряда. Наличие интенсивных

линий в УФ-области приводит к появлению новых центров наведенного поглощения [8].

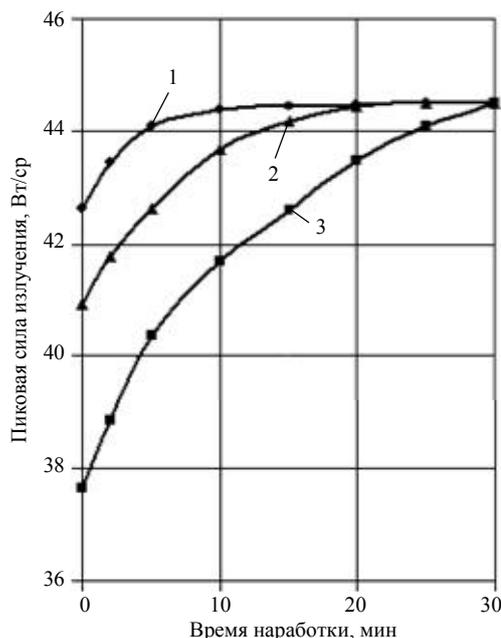


Рис. 8. Зависимость пиковой силы излучения в диапазоне длин волн 0,27—0,4 мкм от наработки для доз: 1 — 10^6 ; 2 — 10^7 ; 3 — 10^8 рад

Таким образом, в процессе работы происходят два взаимосвязанных процесса: формирование наведенного поглощения за счет УФ-излучения плазмы и распад центров окраски посредством температурного отжига оболочки. Уравновешивание указанных механизмов приводит к стабилизации излучательных характеристик ламп с двумя сапфировыми оболочками.

Заключение

В данной работе проведены теоретический анализ и экспериментальное исследование теплофизических процессов, происходящих в сапфировых оболочках ламп с разрядом в парах цезия. Рассмотрены вопросы воздействия плазмы на колбу источника излучения посредством излучения и теплопроводности. Проанализированы механизмы сброса тепла разрядной трубкой и исследовано температурное распределение по ее длине. Изучены влияние температуры на механическую прочность корундовой трубки и тангенциальные напряжения в зоне соединения сапфир—металл. Показано влияние выходящего из плазмы излучения на наведенное поглощение в оболочке, ограничивающей разряд, и изучен механизм восстановления прозрачности посредством температурного отжига. Описанные методики и расчетно-экспериментальные результаты могут быть полезны для разработчиков других разрядных приборов с сапфировыми оболочками.

Л и т е р а т у р а

1. Гавриш С. В., Жмаев В. С., Кобзарь А. И., Логинов В. В. Исследование факторов, определяющих модуляционные характеристики разрядных ИК-источников// Прикладная физика. 2009. № 1. С. 53—59.

2. Зайдель А. Н., Прокофьев В. К., Райский С. М., Шрейдер Е. Я. Таблицы спектральных линий. — М.: Физматгиз, 1962. — 608 с.

3. Aric Loytty. A new ark tube for HPS lamps// Lighting Design and application. 1976. February. P. 14—17.

4. Лингарт Ю. К., Петров В. А., Тихонова Н. А. Оптические свойства лейкосапфира при высоких температурах. Обладать полупрозрачности// ТВТ. 1982. Т. 20. № 5. С. 872—880.

5. Гавриш С. В., Градов В. М., Кузнецова А. В., Терентьев Ю. И. Математическое моделирование и исследование импульсных разрядных ламп инфракрасного излучения// Светотехника. 2008. № 5. С. 12—18.

6. 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.

7. Breaking stresses in seals of sapphire lamps / Gaidukov E. N., Brailovskii V. B., Gavrish S. V., Ryzhkov A. E.// Light & Engineering. 1998. V. 6. No. 1. P. 37—41.

8. Бреховский С. М., Викторова Ю. Н., Гринштейн Ю. Л., Ланда Л. М. Основы радиационного материаловедения стекла и керамики. — М.: Стройиздат, 1971. — 256 с.

Thermal and physical processes in sapphire tube of charge lamps

S. V. Gavrish

«SKB “Zenith”», Closed Corp., 8/5 Pamfilov av., Moscow, Zelenograd, 124489, Russia

E-mail: svgavr@list.ru

In the article, results of theoretical analyses and experimental research of thermal effect of pulse Cs plasma on lamps Sapphire covers are shown. It is demonstrated that tensions which appear in discharge tube, and induced absorption are determined with temperature state of cover. Influence of structure defects on mechanical and radiation Sapphire parameters is considered intime of changing the temperature.

PACS: 07.50.-e

Keywords: discharge, plasma, cesium, sapphire, corundum, defect, structure, transmission coefficient, durability.

Bibliography — 8 references.

Received 14 September 2009

* * *