

Министерство образования и науки Украины
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Академия наук прикладной радиоэлектроники
ЗАО «НПК «Наука»
НТО РЭС Украины
НТО РЭС им. А.С. Попова РФ

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

**2-й Международной научной конференции
«ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПОНЕНТНАЯ БАЗА.
СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ»**

30 сентября - 3 октября 2009г.

Харьков - Кацевели
2009

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ОХЛАЖДЕНИЯ БЕЗЭЛЕКТРОДНОЙ СЕРНОЙ ЛАМПЫ СВЧ-НАКАЧКОЙ

Мачехин Ю.П., Чурюмов Г.И., Старчевский Ю.Л.,
Фролова Т.И., Галстян С.Г., Коротеев М.О.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
(61166, Харьков, пр. Ленина, 14, каф. ФОЭТ тел. 7-021-057)

The experimental setup for investigation of the electrodeless light source employing high-frequency and microwave electromagnetic energy created. A sulfur electrodeless SHF-powered lamps is a great solving of problems of energy-savings and ecological cleanness of sources of light. The conducted analysis of radiation of lamp taking into account dependence of degree of blackness on a wavelength allows to estimate a heat sink by heat radiation theory. Also in the submitted job is investigated the capacity of a source, at which is reached maximal temperature of heating glass with molecules Ne and S. It will help to exclude malfunctions in job of a researched light source.

Решением проблем энергосбережения и экологической «чистоты» источников света, может стать использование безэлектродных серных ламп с СВЧ-накачкой. Источники света на основе безэлектродных серных лам обладают повышенной светоотдачей, квазисолнечным спектром, высокой яркостью, долговечностью, являются экологически чистыми и поэтому обладают существенными преимуществами по сравнению с распространёнными лампами накаливания и люминесцентными лампами.

В результате исследования безэлектродных серных ламп был изготовлен экспериментальный образец безэлектродной серной лампы, которая представляет собой стеклянную сферу, заполненную неонам и серой. Давление в лампе составляет несколько миллиметров ртутного столба и выбирается исходя из кривой Пашена. Экспериментальный стенд представляет собой металлическую камеру, закрытую с одной стороны сеткой, для ослабления СВЧ-излучения. К этой камере через коаксиально-волновой переход подводилось излучение на частоте 2,45 ГГц, создаваемое магнетроном. Лампа помещалась в металлическую камеру, а её излучение в видимом диапазоне регистрировалось при помощи видеокамеры.

Спектр излучения безэлектродной серной лампы существенно зависит от режима работы магнетрона. На первом этапе происходит ионизация атомов неона в поле электромагнитной СВЧ-волны. Давление газа в лампе выбрано согласно кривым Пашена, таким образом, чтобы под действием поля происходила ударная ионизация молекул неона. Часть ионов рекомбинируют, заново образуя молекулы неона и испуская свет. В результате камера регистрировала свечение в спектральной области красного света. Под действием ионов неона и СВЧ-волны происходит испарение и возбуждение молекул серы. При столкновении молекул серы с ионами неона молекулы серы переходят на более высокие энергетические уровни. При обратном переходе молекулы серы излучают свет. В зависимости от энергии возбуждения спектр излучения серы может меняться и достигать ультрафиолетовой области.

В ходе экспериментов установлено, что со временем оболочка безэлектродной серной лампы разрушается вследствие перегрева и расплавления, что приводит к разгерметизации кварцевой колбы и выхода из строя источника освещения. Поэтому в данной работе был предложен метод охлаждения и описаны их физические принципы. Предложен принцип охлаждения нагретых тел излучением. Этот способ охлаждения нагретых тел при высоких температурах наиболее эффективен по сравнению с остальными способами теплопередачи.

Коэффициент пропускания стекла в видимой области составляет 90%. Полосы поглощения расположены в диапазонах длин волн 170-250 нм, 2100-2300 нм и 260-2800 нм. В диапазоне от 5 до 50 мкм кварцевое стекло непрозрачно. Полосы поглощения обусловлены разогреванием примесей и микровключений.

В полосе частот 2,6-2,8 мкм и 5-50 мкм кварцевая оболочка представляет собой черное тело с коэффициентом поглощения близким к единице. Определим температуру

при которой максимум излучаемой энергии оболочки приходится на диапазон 2,6-2,8 мкм ($\lambda_m = 2,7 \cdot 10^{-6}$ м). Для этого воспользуемся первым законом Вина. Рассчитанная температура составляет 800 °С и является допустимой, поскольку она ниже температуры плавления кварца более чем на 200 градусов. Кроме того, при данной температуре кварцевое стекло возобновляет свои свойства в случае возникновения нарушений.

Энергетическая светимость в полосах частот $\lambda_1 = 2,6 \cdot 10^{-6}$ м, $\lambda_2 = 2,8 \cdot 10^{-6}$ м, и $\lambda_3 = 5 \cdot 10^{-6}$ м, $\lambda_4 = 5 \cdot 10^{-5}$ м, которая является интегралом от универсальной функции Кирхгофа $f(\lambda, T)$ в заданном спектральном диапазоне и составляет $M = 12720 \dot{A} \dot{o} / i^2$.

Мощность P , которая может быть отведена из поверхности кварцевой оболочки радиусом $R = 2 \cdot 10^{-2} i$ путем излучения составляет 64 Вт.

С увеличением внешнего радиуса поверхности кварцевой оболочки (рис. 1) можно значительно увеличить излучаемую мощность до нескольких сотен ватт. Выбор источника СВЧ-излучения той мощности, что не превышает заданный диапазон позволяет исключить возможность разрушения кварцевой оболочки в результате перегрева.

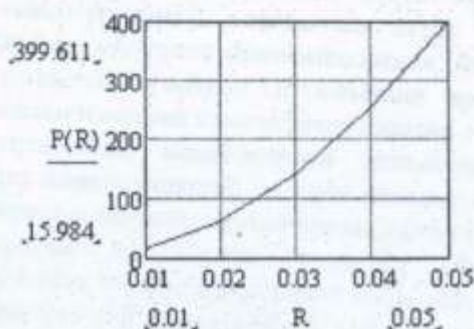


Рис. 1. Зависимость излучаемой мощности от внешнего радиуса поверхности кварцевой оболочки

Известно, что поток излучения пропорционален площади поверхности лампы. Однако необходимо учитывать особую роль спектральных характеристик кварцевого стекла колбы и её содержимого в тепловом диапазоне излучения. Проведенный анализ излучения лампы с учётом минимости степени черноты от длины волны позволяет теоретически оценить теплоотвод путём теплового излучения.

Важно обеспечить рабочую температуру лампы не выше 800 градусов Цельсия, поскольку при дальнейшем повышении температуры начинают происходить необратимые изменения в структуре стекла и его разрушение. Поэтому система СВЧ-накачки выбирается таким образом, чтобы электромагнитные волны в микроволновом и оптическом диапазоне могли излучаться в окружающее пространство, не создавая дополнительного перегрева элементов лампы.

Данная работа, решающая задачу теплоотвода, даёт возможность определить параметры и режимы работы СВЧ-накачки лампы с учетом ее непрерывной эксплуатации в течение всего срока службы.

Также важной проблемой при работе безэлектродной СВЧ-разрядной серной лампы является то, что со временем оболочка (стеклянная колба, в которой находится неон с серой) разрушается. Возможные причины разрушения заключаются в большом перепаде температур и неравномерном нагреве. Также может оказать влияние на герметичность оболочки однородность стекла при его изготовлении и вакуумировании, когда происходит пережигание газоведущих трубок и образование пузырей. Высокая температура внутри стеклянной оболочки приводит к существенному изменению

давления, а при многократном включении – к циклическим нагрузкам и тепловым ударам.

Цель данной работы состоит в исследовании теплового режима работы безэлектродной СВЧ-разрядной лампы.

Для определения наиболее приемлемого температурного режима работы безэлектродной СВЧ-разрядной серной лампы необходимо определить критическую мощность поглощения излучения серой в данной лампе. Это связано с тем, что разрушение стекла, из которого выполнена стеклянная колба, происходит при достижении на его поверхности температуры порядка 1000°C. Соответственно необходимо определить, при какой мощности поглощения излучения серой достигается такая температура на поверхности колбы. Исследование этого процесса возможно при помощи трёхмерного компьютерного моделирования, которое позволяет получить нестационарное температурное поле объекта.

Температурное поле объекта описывается нестационарным уравнением теплопроводности:

$$\Delta T(x, y, z, t) + \frac{q_v}{\lambda} = \frac{1}{a} \cdot \frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial t} \quad (1)$$

Уравнение (1) решается конечно-разностным итерационным численным методом. Математическая модель реализуется в среде Microsoft Visual Studio C++ под Windows, что обеспечивает максимально эффективное использование вычислительных ресурсов компьютера.

В результате работы определяется температурное поле на поверхности стеклянной колбы при заданных начальных и граничных условиях, и рассчитывается, при какой максимальной мощности поглощения серой, достигается на поверхности стеклянной колбы температура 1000°C. (рис.2 а,б).

Предполагается, что в начальный момент времени температура распределена равномерно во всём объёме тела и составляет 300К. В результате расчётов установлено, что частицы серы не должны поглощать более 0,254 Вт/м³.

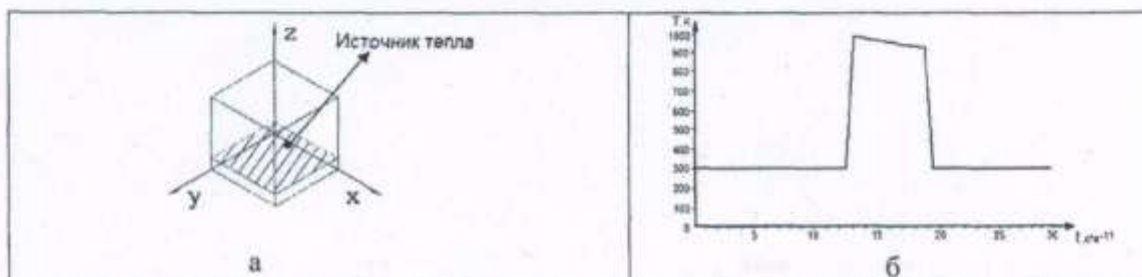


Рис. 2. а) расположение источника тепла; б) распределение температур в исследуемом сечении

При выполнении данной работы исследованы физические процессы, приводящие к разрушению стеклянной колбы безэлектродной СВЧ-разрядной серной лампы в процессе эксплуатации. Построена математическая модель температурного поля на поверхности стеклянной колбы. Определена максимальная удельная мощность поглощения серой, для достижения на поверхности стеклянной колбы, из которой изготавливается оболочка безэлектродной СВЧ-разрядной серной лампы, температура 1000°C. Полученные результаты позволяют определить мощность источника СВЧ-накачки, при котором разрушение стеклянной колбы вследствие действия локального перегрева будет исключено.