

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 - Кацивели  
2009

## ИЗМЕРЕНИЕ ДОБРОТНОСТИ РЕЗОНАТОРА И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СВЧ С МАТЕРИАЛАМИ СВЧ-РАЗРЯДНОЙ СЕРНОЙ ЛАМПЫ

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

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

In this work theoretical investigations of the resonators for the electrodeless SHF-charge lamp. The data of distributions of electromagnetic field and other significant parameters for different types of oscillations in it were received; a preferences of different types of oscillations were defined. This investigations will help to choice most convenient type of resonator and type of oscillations in work of creation different light sources based on this technology. The one of the most important parameter of light's sources - it's spectral structure of radiating light. In the sulfuric lamp based on SHF - discharge have electromagnetic radiation in wide diapason (from SHF to ultraviolet). Then we have a questions about interaction electromagnetic radiation in the labor range with materials of lamp.

Важным вопросом при создании СВЧ-разрядной серной лампы является расчет электромагнитных полей, необходимых для накачки лампы энергией. Для этого используются различные резонаторы, позволяющие значительно увеличить амплитуду электрического поля.

Структура электромагнитного поля в резонаторе с холодной лампой представлена на рис. 1. В этом случае лампа является прозрачной для электромагнитных волн и не влияет на их распространение.



Рис. 1 Структура поля в резонаторе

Лампа размещена в том месте резонаторной камеры, где поле имеет наибольшую амплитуду. Желательно, чтобы распределение амплитуды поля внутри лампы было равномерным для обеспечения одинаковых условий свечения различных участков лампы. Этого можно достичь лишь приближённо, выбирая размеры лампы значительно меньше длины волны СВЧ-накачки.

Давление внутри лампы выбирается исходя из кривой Пашена для неона, имеющей характерный минимум электрического поля, при котором наступает электрический пробой. В результате взаимодействия молекул неона с СВЧ-полем газ ионизируется. Ионы ускоряются СВЧ-полем, набирают энергию, сталкиваются и рекомбинируют, образуя нейтральные молекулы неона и фотоны. Частота этих фотонов находится в красной области спектра. Ионы неона во время движения также сталкиваются и с молекулами серы. Происходит процесс ударного возбуждения. Молекулы серы возбуждаются и переходят на более высокие энергетические уровни. При их остывании наблюдается характерный спектр излучения. При столкновениях молекул серы с ионами неона происходит образование атомарной серы. Атомы серы также возбуждаются в

результате столкновений и, при переходе на более низкие энергетические уровни, испускают фотоны, соответствующие линиям атомарного спектра.

В результате можно сделать вывод, что спектр серной лампы представляет собой наложение молекулярного и атомарного спектров серы, интенсивность линий которых существенно зависит от амплитуды СВЧ-поля, используемого для накачки. В зависимости от энергии возбуждения спектр излучения серы может меняться и достигать ультрафиолетовой области.

Безэлектродная лампа представляет собой кварцевую колбу сферической формы. Внутри колбы находится неон под давлением 530 Па и кристаллическая сера (рис. 2).

Экспериментальная установка состоит из высоковольтного блока питания, магнетрона М-152, резонатора и лампы. Блок питания магнетрона состоит из высоковольтного трансформатора TV (ТВ11 - 1МН - 220 - 50, 2000 В) и умножителя напряжения, который представлен конденсатором С1 (К75-53, 1 мкФ, 5 кВ), ограничивающим резистором R1 (10 МОм) и высоковольтным диодом VD1 (КЦ201Е). Блок питания подключается к сети 220 В, 50 Гц. Для разогрева катода магнетрона, обеспечения термоэлектронной эмиссии и формирования электронного потока в рабочем пространстве магнетрона используется обмотка трансформатора, на выходе которой напряжение 3,15 В. Ток накала катода составляет 8–11 А. Анодное напряжение магнетрона (по паспорту) может меняться в диапазоне 3,2 кВ – 4,3 кВ. Частота генерации лежит в пределах 2,4 ГГц – 2,5 ГГц. Мощность генерируемых СВЧ-колебаний составляет 720-800 Вт. Минимальный КПД магнетрона не менее 65%.

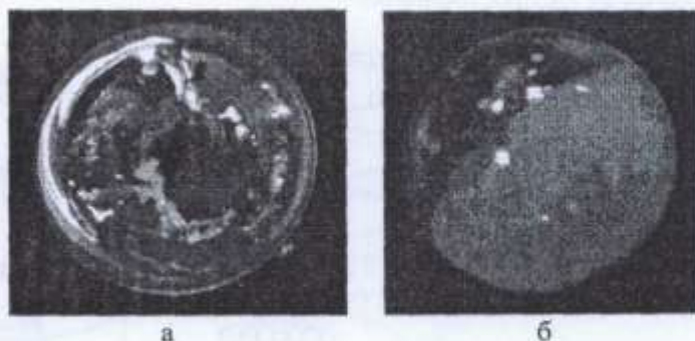


Рис. 2. Внешний вид лампы до экспериментов (а) и после продолжительных экспериментов (б)

Магнетрон в установке подключается через коаксиально-волноводный переход к ферритовому вентилю, который исключает попадание сгенерированной СВЧ энергии обратно в магнетрон и предотвращает его выход из строя. Для плавной регулировки мощности СВЧ накачки используется аттенуатор, который соединён с резонатором с размерами 230x350x370 мм, оканчивающийся сетчатым экраном, не пропускающим СВЧ излучение. В качестве нагрузки в СВЧ-тракте выступает безэлектродная серная лампа.

В ходе экспериментов, проводимых с блоком питания магнетрона, было установлено, что лампа мигает с частотой питающих импульсов магнетрона (50 Гц).

Для управления магнетроном был разработан блок питания постоянного напряжения, которое можно плавно изменять в диапазоне от 0 до 5,6 кВ (Рис. 3). Блок питания включает высоковольтный трансформатор TV (ТВ11 - 1МН - 220 - 50, 2000 В) и двухполупериодную схему умножителя напряжения, состоящую из шестнадцати диодов VD1-VD16 (тип ВУ359, 1500 В, 15 А), четырёх высоковольтных конденсаторов С1-С4 (2 мкФ, 3 кВ) и четырёх резисторов R1-R4 (10 МОм).

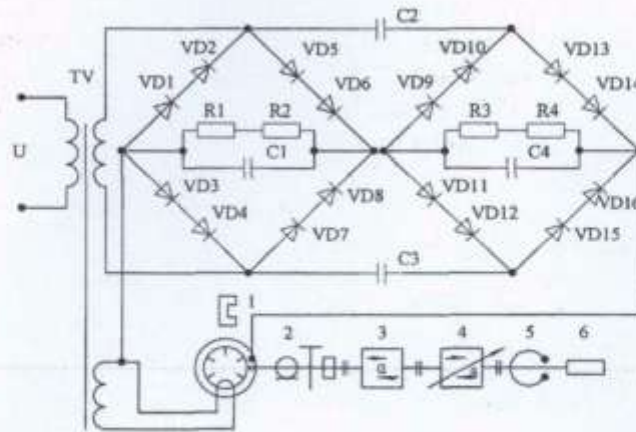


Рис. 3. Схема питания экспериментальной установки источником постоянного напряжения.

В работе рассчитана мощность генератора  $P_{ген}(E_m)$ , необходимая для зажигания разряда в лампе при различных видах колебаний  $H_{111}$ ,  $H_{011}$ ,  $E_{010}$ , (рис. 3-5) в цилиндрических резонаторах в зависимости от электрического поля  $P_{ген}$ . Цифрами на графиках указаны различные значения добротностей и размеров резонаторов.

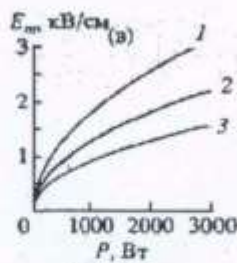


Рис. 3

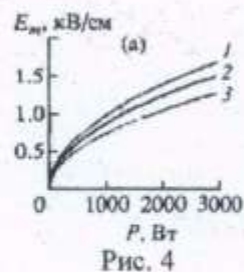


Рис. 4

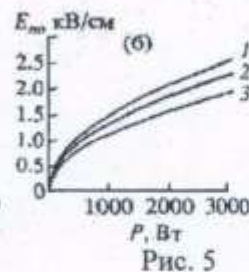


Рис. 5

Из полученных результатов следует, что при необходимой для зажигания разряда напряженности  $E_m=0,5$ кВ/см, для резонатора с видом колебаний  $H_{111}$  требуется мощность  $P_{ген}=300..500$  Вт, для вида колебаний  $H_{011}$  необходима мощность  $P_{ген}=120..200$  Вт, а для вида колебаний  $E_{010}$  достаточно  $P_{ген}=80..300$  Вт при выбранных параметрах резонатора.

Поэтому наиболее эффективным для обеспечения минимального разрядного поля при минимальной мощности источника СВЧ-колебаний является резонатор с типом колебаний  $E_{010}$  с размерами  $4,7 \times 9,4$ .

Еще одним из наиболее важных параметров источников освещения является спектральный состав излучаемого света. Поскольку в СВЧ-разрядной серной лампе присутствует электромагнитное излучение, то особый интерес вызывают вопросы взаимодействия электромагнитного излучения в рабочем диапазоне с материалами лампы. Для данной работы был создан экспериментальный стенд для исследования спектральных характеристик стекол используемых для изготовления оболочки безэлектродной СВЧ-разрядной серной лампы.

В результате выполнения работы установлено, что наиболее эффективным для обеспечения минимального разрядного поля при минимальной мощности источника СВЧ-колебаний является резонатор с типом колебаний  $E_{010}$  с размерами  $4,7 \times 9,4$ см. Спектральная характеристика кварцевого стекла имеет минимумы поглощения и максимум пропускания, на которые необходимо настраивать системы СВЧ-накачки. Полученные данные позволяют установить наиболее эффективный диапазон частот СВЧ-накачки снизить потери энергии и рабочую температуру ламп.