

УДК 537.533

М.М. Зильберман, Н.В. Потапенко

МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЙ ТИРАТРОН С РТУТНЫМ НАПОЛНЕНИЕМ

Представлены результаты разработки металлокерамического тиратрона с ртутным наполнением. Прибор рассчитан на средний ток анода 1 А и обратное напряжение анода 10 кВ. Показана перспективность разработки металлокерамических ртутных тиратронов для обеспечения высокой экологической безопасности применения тиратронов с ртутным наполнением.

Ключевые слова: *металлокерамический тиратрон с ртутным наполнением, средний ток анода, обратное напряжение анода, объемная концентрация ртути, экологическая безопасность.*

Введение. При несомненных преимуществах ртутных тиратронов перед другими высоковольтными управляемыми преобразовательными приборами (вакуумными и газонаполненными) по КПД и долговечности их основным недостатком является наличие в сравнительно больших количествах (до нескольких граммов) ртути, являющейся ядовитым металлом [1].

Другим недостатком этих ламп является сравнительно низкая механическая прочность стеклянной оболочки. Эти недостатки определяют низкую экологическую безопасность стеклянных ртутных тиратронов, так как при разрушении оболочки и попадании сравнительно большого количества ртути в производственное помещение в нем будет намного превышена предельно допустимая концентрация (ПДК) ртути, которая составляет не более 100 мкг/м³ воздуха [2].

Поэтому целью работы было исследование путей существенного уменьшения массы ртути, вводимой в тиратрон, и создание ртутного тиратрона с высокой механической прочностью оболочки.

Методика эксперимента. Исследование путей существенного уменьшения массы ртути, вводимой в тиратрон, проводилось в основном на стеклянных макетных образцах.

В качестве критериев допустимости уменьшения массы ртути были выбраны: напряжение возникновения разряда, напряжение поддержания разряда и изменение этих параметров в течение испытания на долговечность [3-6]. В результате выполненных исследований был разработан стеклянный ртутный тиратрон на средний ток анода 0,5 А и обратное напряжение анода 5 кВ [7].

В этом тиратроне масса ртути уменьшена на порядок величины (до 20-100 мг) по сравнению с ранее разработанными и выпускаемыми промышленностью стеклянными ртутными тиратронами.

Проведенными в дальнейшем исследованиями установлено, что определяющее влияние на электрические параметры и долговечность ртутных тиратронов оказывает отношение массы ртути, находящейся в тиратроне, к его внутреннему объему [8]. Это отношение названо в настоящей статье объемной концентрацией ртути. Установленное минимально допустимое значение объемной концентрации ртути, при котором электрические параметры тиратрона не ухудшаются, а долговечность не уменьшается, равно 0,2 мг/см³ [8].

Дальнейшее уменьшение массы ртути, вводимой в тиратрон, при минимально допустимой объемной концентрации ртути возможно только при уменьшении внутреннего объема тиратрона. Такая возможность представилась при замене стеклянной оболочки металлокерамической (как в водородных тиратронах [9]). При этом, наряду с уменьшением массы ртути, увеличивается механическая прочность оболочки тиратрона. Общий вид разработанного металлокерамического ртутного тиратрона показан на рисунке 1.

Оболочка прибора выполнена из алюмооксидной керамики ВК-94, которая применяется в качестве материала оболочки водородных тиратронов [9]. Металлические детали оболочки прибора, включая анод, изготовлены из железоникелевого сплава 42 НАВИ, который, так же как железо и никель в отдельности, не образует с ртутью амальгам [10].

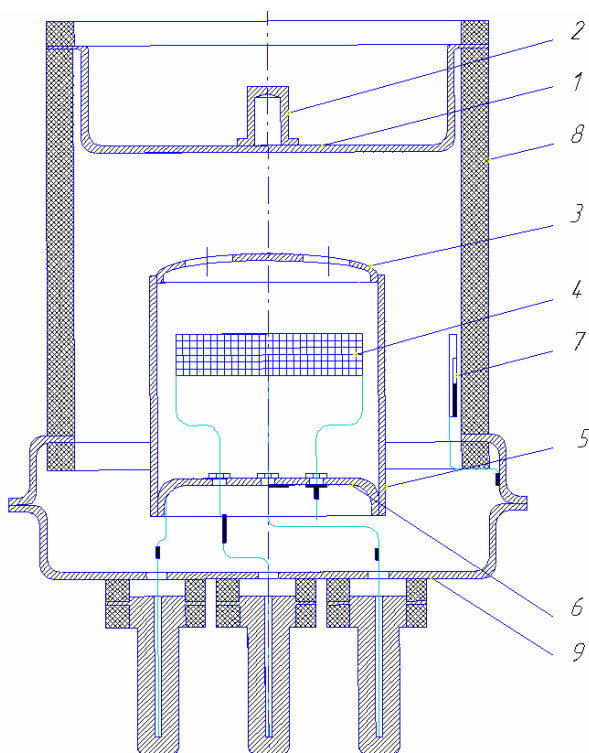


Рисунок 1 - Конструкция макета металлокерамического тиратрона:

- 1 – анод; 2 – вывод анода; 3 – сетка; 4 – катод;
5 – тепловой экран; 6 – катодно-сеточный экран;
7 – контейнер с ртутью; 8 – керамическая оболочка; 9 – катодная ножка

Сплав имеет такой же коэффициент термического расширения, как и керамика, что обеспечивает согласованность спая деталей из этих материалов. Пайка металлокерамических соединений производилась с помощью медно-серебряного припоя ПСР-72. В связи с тем, что этот припой взаимодействует с ртутью с образованием амальгам и возникает опасность нарушения вакуумной плотности соединения, внутренняя поверхность спаев защищена слоем никеля, нанесенным гальваническим способом.

Ртуть в прибор вводилась в герметизированном стеклянном или металлическом контейнере в жидком виде или в виде твердотельного генератора ртути – таблетки, спрессованной из порошков красной окиси ртути, железа, титана или циркония. Контейнер с ртутью вскрывался в откачанном и герметизированном тиратроне при нагреве токами высокой частоты [11].

С целью обеспечения максимальной экономичности при минимальном времени разогрева катод выполнен прямонакальным в виде сеточного полотна из никелевой проволоки диаметром 0,12 мм с прямоугольными ячейками. Коэффициент заполнения сеточного полотна равен 0,8. Для обеспечения высокой

прочности сцепления активного покрытия с керном катода на никелевую сетку наносился слой смеси никелевого порошка с размером частиц менее 10 мкм со связующим. Удельный привес никелевой губки равен 3 мг/см². После нанесения никелевая губка спекалась с керном катода в атмосфере водорода. Состав активного покрытия катода – тройной карбонат (BaCO₃ – 50-55 %, SrCO₃ – 40-45 %, CaCO₃ – 5-8 %). Удельный привес активного покрытия 10,5 - 15 мг/см². Для уменьшения габаритных размеров катод выполнен в виде спирали Архимеда при расположении сеточного полотна перпендикулярно к плоскости электродов тиратрона. Для обеспечения более равномерного отбора тока с поверхности катода, погруженной в плазму, отношение ширины сеточного полотна (глубины катода) к расстоянию между соседними участками спирали катода составляет не более 1,7 [12].

Для обеспечения надежной работы оксидного катода в приборе применен нераспыляемый титановый газопоглотитель, поддерживающий в приборе газовую среду, необходимую для работы катода в течение длительного интервала времени, и не взаимодействующий с ртутью.

Сетка тиратрона выполнена в виде диска из никелевой ленты с 4 круглыми отверстиями. Применение внешнего анода позволяет при его принудительном воздушном охлаждении расширить эксплуатационные возможности тиратрона за счет уменьшения температуры анода.

Результаты и их обсуждение. Проведенные испытания тиратрона показали, что при обеспечении среднего тока анода 1 А напряжение поддержания разряда не превышает 10-12 В. Напряжение возникновения разряда находится в пределах 50-70 В при напряжении сетки, равном нулю.

При испытании на электрическую прочность пробой в тиратроне отсутствовали при обратном напряжении анода до 11 кВ. Время разогрева катода – 10 секунд. Лабораторные образцы тиратронов испытывались на стабильность в течение 100 часов и на безотказность в течение 500 часов в выпрямительном режиме при среднем токе анода 1 А, амплитуде тока анода 3 А, напряжении сетки, равном нулю, амплитуде обратного напряжения анода 10 кВ при частоте питающей сети 50 Гц. В течение этих испытаний каждые 50 часов контролировались напряжения возникновения и поддержания разряда. В качестве критериев испытания были установлены следующие напряжения: поддержания разряда – не более 15 В, возникновения разряда при $U_g=0$ – не

более 100 В и возникновения разряда при U_g , равном минус 10 В, - не более 1000 В. Эти напряжения измерялись в режиме постоянного тока. Зависимость напряжения поддержания разряда от времени испытания представлена на рисунке 2. Зависимости напряжения возникновения разряда при $U_g=0$ и $U_g=-10$ В представлены на рисунках 3 и 4 соответственно.

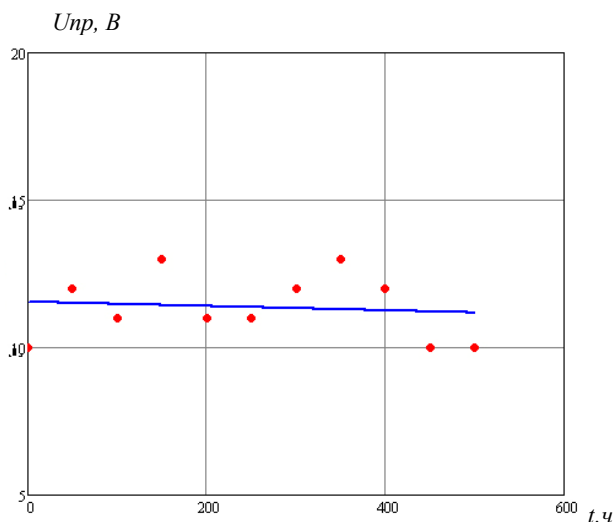


Рисунок 2 - Зависимость напряжения поддержания разряда при $U_g=0$ В от времени испытания

Анализ представленных зависимостей свидетельствует о высокой стабильности контролируемых параметров в течение периода испытаний. Это позволяет сделать вывод о надежной работе тиратрона в заданном режиме. Кроме того, можно сделать вывод и об эффективности защитного никелевого покрытия спаев элементов оболочки тиратронов, препятствующего образованию амальгам медно-серебряных припоев и ртути.

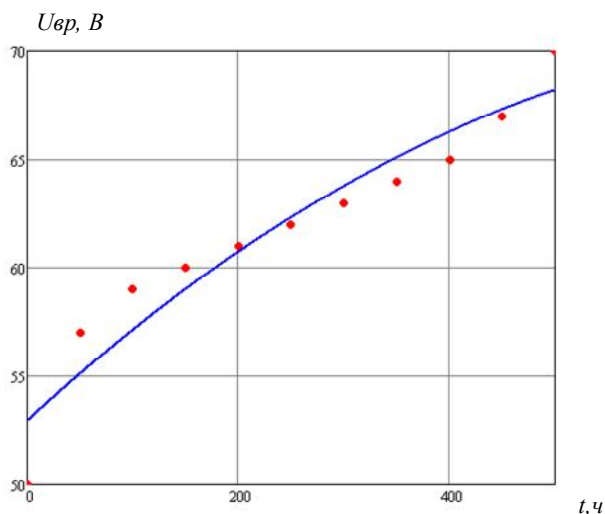


Рисунок 3 - Зависимость напряжения возникновения разряда при $U_g=0$ В от времени испытания

Для сравнительной оценки экологической безопасности ртутных тиратронов различных типов и разного уровня мощности в работе предложено использовать коэффициент экологической безопасности, который представляет собой отношение полезной мощности тиратрона к массе находящейся в нем ртути. Полезная мощность определялась как произведение среднего тока анода и выпрямленного напряжения. В свою очередь, выпрямленное напряжение вычислялось из соотношения между этим напряжением и обратным напряжением анода тиратрона, обычно указываемым в справочных данных на прибор. В наиболее эффективных выпрямителях переменного тока отношение обратного напряжения к выпрямленному равно 1,05 [13]. Расчет коэффициента экологической безопасности разработанного металлокерамического ртутного тиратрона показал, что этот показатель тиратрона равен $5 \cdot 10^2$ Вт/мг, что в 4 раза выше, чем коэффициент экологической безопасности стеклянного тиратрона с существенно уменьшенной массой ртути - $1,25 \cdot 10^2$ Вт/мг [7].

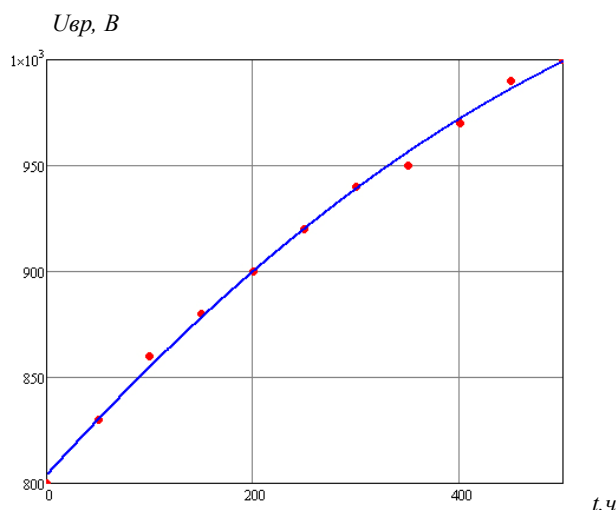


Рисунок 4 - Зависимость напряжения возникновения разряда при $U_g=-10$ В от времени испытания

Заключение. В работе исследованы пути существенного уменьшения массы ртути, вводимой в ртутные тиратроны.

Создан металлокерамический ртутный тиратрон на средний ток анода 1 А и обратное напряжение анода 10 кВ с коэффициентом экологической безопасности, в несколько раз превышающим соответствующий коэффициент современных стеклянных ртутных тиратронов. Показана перспективность направления создания металлокерамических ртутных тиратронов с повышенным коэффициентом экологической безопасности.

Библиографический список

1. Каганов И.Л. Электронные и ионные преобразователи. Ч. 2. М.;Л.: Госэнергоиздат, 1955. 456 с.
2. Эспе В. Технология электровакуумных материалов. Т. 1. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1962. 632 с.
3. Потапенко Н.В. Исследование дугового разряда в парах ртути в трехэлектродных промежутках с накаленным катодом и разработка долговечных ртутных тиратронов: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Рязань, 2006. 16 с.
4. Егорова Н.С., Зильберман М.М., Киселев Ю.В., Потапенко Н.В. Влияние количества вводимой ртути на электрические параметры тиратрона // Тез. докл. X конференции по физике газового разряда. Ч. 2. Рязань, 2000. С. 178-180.
5. Зильберман М.М., Киселев Ю.В., Потапенко Н.В. Исследование долговечности тиратрона с ртутным наполнением // Тез. докл. XI конференции по физике газового разряда. Ч. 1. Рязань, 2002. С. 102 - 103.
6. Зильберман М.М., Киселев Ю.В., Потапенко Н.В. Стабильность напряжений возникновения и поддержания дугового несамостоятельного разряда в парах ртути // Известия АН. Сер. Физическая, 2003. Т. 67. № 9. С. 1284-1285.
7. Егорова Н.С., Зильберман М.М., Киселев Ю.В., Потапенко Н.В. Высоковольтный тиратрон с ртутным наполнением // Тез. докл. X конференции по физике газового разряда. Ч. 2. Рязань, 2000. С. 177-178.
8. Зильберман М.М., Потапенко Н.В. Исследование влияния объемной концентрации ртути на долговечность ртутных тиратронов // Электроника: межвуз. сб. науч. тр. Рязань: РГРТУ, 2008. С. 88-90.
9. Фогельсон Т.Б., Бреусова Л.Н., Вагин Л.Н. Импульсные водородные тиратроны. М.: Сов. радио, 1974. 212 с.
10. Носек М.В., Атаманова Н.М. Амальгамные системы. Алма-Ата: Наука, 1980. 160 с.
11. Зильберман М.М., Потапенко Н.В. Твердотельный генератор ртути для приборов с ртутным наполнением// Тез. докл. V всероссийской конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы физики полупроводников и источников света». Саранск, 2007. С. 141.
12. Зильберман М.М., Потапенко Н.В. Оксидный катод для мощных приборов с ртутным наполнением// Тез. докл. V всероссийской конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы физики полупроводников и источников света». Саранск, 2007. С. 142.
13. Терентьев Б.П. Электропитание радиоустройств. М.: Связьиздат, 1958. 240 с.