

УДК 621.3.032.212

ВТОРИЧНО-ЭМИССИОННЫЙ КАТОД С ВОДЯНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

А. А. Тищенко, А. С. Мясников, О. Д. Тищенко, А. Я. Зоркин

**Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.,
410054, г. Саратов, ул. Политехническая 77**

Статья поступила в редакцию 25 февраля 2018 г.

Аннотация. Разработан катодный узел, обеспечивающий работу мощного импульсного прибора М-типа с высокой частотой следования высокочастотных импульсов и большой длительностью высокочастотного импульса. Разработанная конструкция металлокерамического катода позволяет предотвратить разрушения эмиссионной втулки вследствие её деформации, вызванной импульсной термической нагрузкой. Решена задача отвода средней мощности с поверхности катода. Динамические испытания макета прибора с данным катодом показали, что в первые часы работы прибора зона устойчивой работы по анодному току прибора была 80%. После шестнадцатичасового прогона зона устойчивой работы по анодному току снизилась с 80% до 66% и стабилизировалась. При дальнейшем прогоне в 150 часов и испытаний на циклы включения существенных изменений в работе прибора зафиксировано не было, что позволяет применить данную конструкцию для серийного изготовления мощных импульсных приборов М-типа.

Ключевые слова: катодный узел, вторичная эмиссия, водоохлаждаемый керн, эмиттер, импульсная нагрузка.

Abstract. The cathode design was developed. This cathode provides a powerful pulse M-type device with a high repetition rate of high-frequency pulses and a long duration of high-frequency pulse. The developed design of the metal-ceramic cathode allows avoiding destruction of the emission bushing due to its deformation caused by pulsed thermal load. The problem of medium power removal from the cathode surface is solved. Dynamic tests of the device with this cathode are carried out. In the first hours of operation of the device, the area of stable operation at an anode current of the device was 80%. After a sixteen-hour run, the stable area for the anode current

has decreased to 66% and stabilized. During the further run at 150 hours and tests for switching cycles, no significant changes in the operation of the device were recorded. This allows us to use this design for the serial production of high-power pulse M-type devices.

Key words: cathode, secondary emission, water-cooled cathode base, emitter, pulsed power.

В настоящее время развитие радиолокационных систем, средств радиоэлектронного противодействия и другой радиоэлектронной аппаратуры ставит перед разработчиками СВЧ элементной базы задачу создания приборов, обеспечивающих возможность работы как при больших импульсных, так и при больших средних мощностях. Кроме того, сохраняется тенденция расширения рабочего диапазона частот аппаратуры [1].

Одним из перспективных направлений решения этих задач является создание мощных комплексированных СВЧ устройств на базе приборов магнетронного типа (М-типа), характеризующиеся высоким КПД, относительно низким рабочим напряжением и низкой стоимостью приборов [2].

Основные сложности при создании таких устройств возникают при разработке и изготовлении выходных каскадов. Наиболее остро при решении этой задачи встает вопрос разработки катодного узла, способного рассеивать на рабочей поверхности высокий уровень средней мощности и иметь стойкость к высоким импульсным нагрузкам, вызванным обратной импульсной электронной бомбардировкой поверхности катода.

Развитие технологий изготовления эмиссионных материалов и конструкций катодных узлов шло параллельно с развитием СВЧ приборов.

На смену оксидным катодам пришли алюминатные катоды, способные работать при увеличенной длительности импульса до 10-100 мкс и более.

С ростом импульсной мощности приборов повышались требования к эмиссионным характеристикам катодов, а с её дальнейшим увеличением появились требования стойкости к импульсному нагреву.

Задача увеличения импульсной мощности решалась применением металлокерамических катодов, отвечающих требованиям высокой стойкости к обратной импульсной электронной бомбардировке.

Для увеличения средней мощности импульсных приборов были созданы и внедрены металлосплавные катоды, отличающиеся высокой теплопроводностью, низким электрическим сопротивлением и технологичностью изготовления [3].

Однако возникшая в настоящее время задача создания мощного импульсного СВЧ прибора, работающего с высокой частотой следования высокочастотных импульсов (сотни Гц) и их большой длительностью (более 100 мкс), требует применения катодного узла с комплексом свойств вышеперечисленных катодов.

При решении задач создания такого катода требуется:

1. Применение материала, способного выдерживать импульсные нагрузки порядка $1400-1600 \text{ Вт/см}^2 \cdot \text{с}^{1/2}$, что соответствует допустимым характеристикам для самого тугоплавкого металла – вольфрама, и в разы превышает аналогичную характеристику для материалов эмиттеров на основе металлов платиновой группы, широко применяемых в настоящее время в мощных приборах М-типа.

2. Решение задачи отвода средней мощности с поверхности катода – $150-300 \text{ Вт/см}^2$, что на порядок превышает допустимые значения для применяемых в настоящее время материалов и конструкций катодных узлов (эмиттеры на основе сплавов PtBa и PdBa – $40-50 \text{ Вт/см}^2$, алюминатный катод – $20-30 \text{ Вт/см}^2$, металлокерамический катод $50-100 \text{ Вт/см}^2$) [4].

Для решения вышепоставленных задач предложено применение вторично-эмиссионного металлокерамического катода на основе тугоплавкого металла и оксида – вольфрам-иттриевого катода, изготовленного методом порошковой металлургии [5].

Целью работы является разработка катодного узла, обеспечивающего работу мощного импульсного прибора М-типа с высокой частотой следования

высокочастотных импульсов и большой длительностью высокочастотного импульса.

Для отвода средней мощности применено водяное охлаждение катодного узла, состоящего из эмиссионной втулки 1, втулки из тугоплавкого металла, например молибдена 2 и водоохлаждаемого керна 3 (рис. 1).

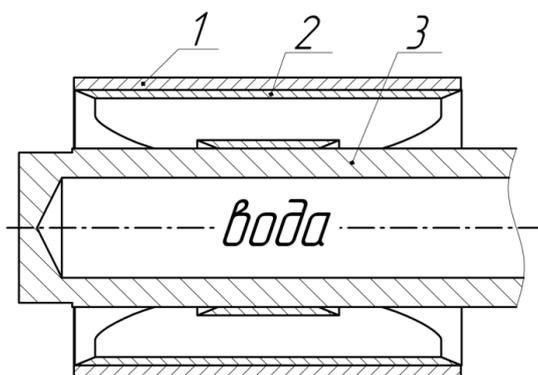


Рис. 1. Катодный узел с водяным охлаждением: 1 – эмиссионная втулка, 2 – молибденовая втулка, 3 – керн.

Конструкция такого катодного узла опробована в макете импульсного прибора М-типа. В процессе динамических испытаний зафиксированы электрические пробой в приборе, предположительно вызванные разрушением катода. После вскрытия макета прибора при детальном анализе выявлено разрушение эмиссионной втулки вследствие её деформаций, вызванной термической усадкой.

Для решения этой проблемы было предложено паяное соединение эмиссионной и молибденовой втулок, данную конструкцию также опробовали в макете прибора. Во время динамических испытаний были зафиксированы электрические пробой в приборе, предположительно вызванные разрушением катода.

После вскрытия макета прибора во время анализа было выявлено разрушение катода в месте пайки молибденовой и эмиссионной втулок, качество которого проверить не представляется возможным вследствие большой протяжённости паяного шва.

Для решения задачи контроля паяного соединения эмиссионной и молибденовой втулки было предложено разбить катод на несколько составных

частей, например 6, каждая из которых припаивается к керну катода. Конструкция катодного узла, состоящего из эмиссионных шайб 1, молибденовых шайб 2 и водоохлаждаемого керна 3, представлена на рис. 2.

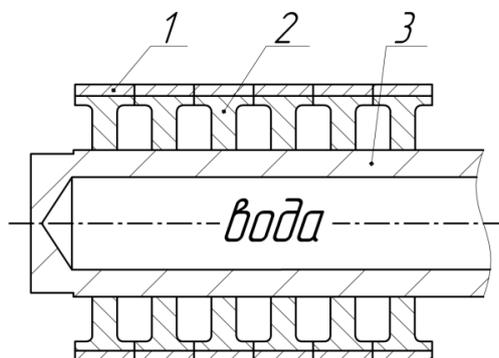


Рис. 2. Катодный узел: 1 – эмиссионная шайба, 2 – молибденовая шайба, 3 – керн.

Рабочая температура на поверхности катода при такой конструкции определяется толщиной стенки молибденовой шайбы.

Существенное снижение протяжённости паяного шва в предложенной конструкции обеспечивает надежное соединение эмиссионной и молибденовой шайб и позволяет контролировать качество пайки каждой шайбы.

Однако в ходе динамических испытаний макета прибора с данной конструкцией катода также возникли электрические пробой в приборе, возникшие вследствие разрушения катода.

После анализа разрушенного катода стало понятно, что проблема некачественного спая кроется в материале эмиссионной шайбы, изготовленной по классической технологии порошковой металлургии (смешивание порошков, прессование и последующее спекание). Такая технология изготовления предполагает наличие пор в эмиссионном материале. Так как материал эмиссионной шайбы имел пористость, во время пайки значительная часть установленного припоя заполняла поры и практически не создавала паяного шва между молибденовой и эмиссионной шайбой. Увеличение количества припоя не решало проблемы, так как припой заполнял все поры до их полного

заполнения, а это кардинально изменяло первоначальный химический состав эмиссионной шайбы, а соответственно и её эмиссионные характеристики.

Для решения этой задачи был предложен новый способ изготовления оксидно-иттриевого эмиссионного материала с вольфрамовой матрицей, который обеспечивал надежное паяное соединение эмиссионной и молибденовой шайб.

Конструкция такого катодного узла также была испытана в макете прибора. В результате испытаний было установлено, что после восьмичасового прогона зона устойчивой работы по анодному току снизилась с 80% в начале прогона до 47% в конце прогона (рис. 6). Зона устойчивой работы по анодному току ΔI определялась как отношение разницы крайних значений анодного тока зоны устойчивой работы к среднему значению зоны устойчивой работы и рассчитывалась по формуле:

$$\Delta I = \frac{2(I_{\max} - I_{\min})}{I_{\max} + I_{\min}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где: I_{\max} - верхняя граница зоны устойчивой работы по анодному току;

I_{\min} - нижняя граница зоны устойчивой работы по анодному току.

Снижение зоны устойчивой работы по анодному току, по-видимому, было вызвано недостаточной рабочей температурой эмиссионного материала (1500-1900°K для металлокерамического катода [6]) и как следствие, малой скоростью диффузии активного вещества на рабочую поверхность катода.

Для увеличения рабочей температуры катода было предложено ввести в существующую конструкцию молибденовых шайб отверстия с целью увеличения их термического сопротивления. Для определения необходимого количества отверстий в молибденовой шайбе было проведено численное моделирование. Моделирование количества отверстий проводилось до 12 шт., так как геометрические размеры разрабатываемого катодного узла не позволяли выполнить большее количество отверстий. Зависимость температуры на поверхности катода от количества отверстий представлена на рис. 3.

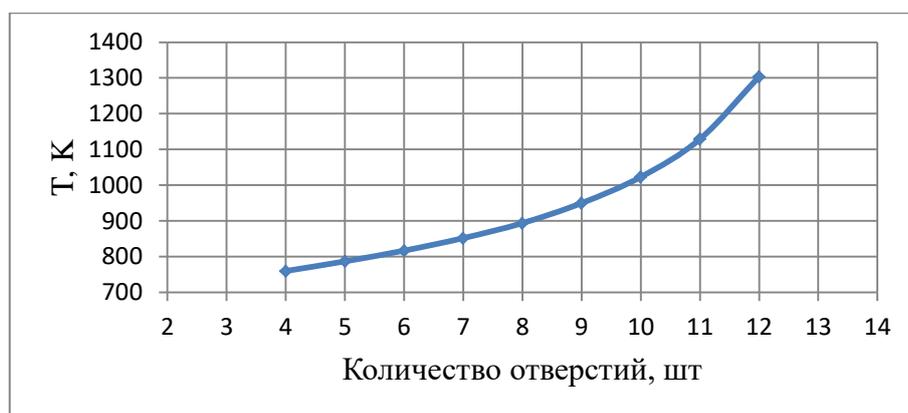


Рис. 3. Зависимость температуры на поверхности катода от количества отверстий в молибденовой шайбе.

Распределение температуры по объему катода также было рассчитано численным моделированием и представлено на примере шайбы с десятью отверстиями (рис. 4).

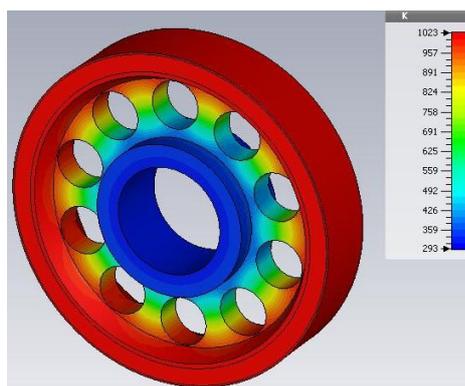


Рис. 4. Распределение температуры по объему катода.

С целью обеспечения наиболее близкой к рекомендуемой рабочей температуре катода был изготовлен катод с максимально возможным количеством отверстий – 12 шт.

После изготовления макета прибора с катодом такой конструкции были проведены динамические испытания. Были получены положительные результаты испытаний, в течение пятидесятичасовой наработки изменений в работе прибора не было. При испытаниях на циклы включения после пятидесяти циклов были зафиксированы электрические пробои, предположительно «говорящие» о разрушении катода.

После вскрытия прибора и анализа катода было обнаружено разрушение катода (рис. 5).



Рис. 5. Катодный узел после вскрытия макета прибора.

В ходе анализа было выявлено, что разрушение катода произошло не по паяному шву, а по материалам катодного узла. Это говорит о превышении допустимых градиентов температуры для выбранного материала.

Для исключения разрушения катода было принято решение снизить количество отверстий в молибденовой шайбе с 12 до 8 шт.

Динамические испытания макета прибора с данным катодом показали, что в первые часы работы прибора зона устойчивой работы по анодному току прибора была 80%. После шестнадцатичасового прогона зона устойчивой работы по анодному току снизилась с 80% до 66% и застabilизировалась (рис. 6). При дальнейшем прогоне в 150 часов и испытаний на циклы включения существенных изменений в работе прибора зафиксировано не было, что позволяет применить данную конструкцию для серийного изготовления мощных импульсных приборов М-типа.

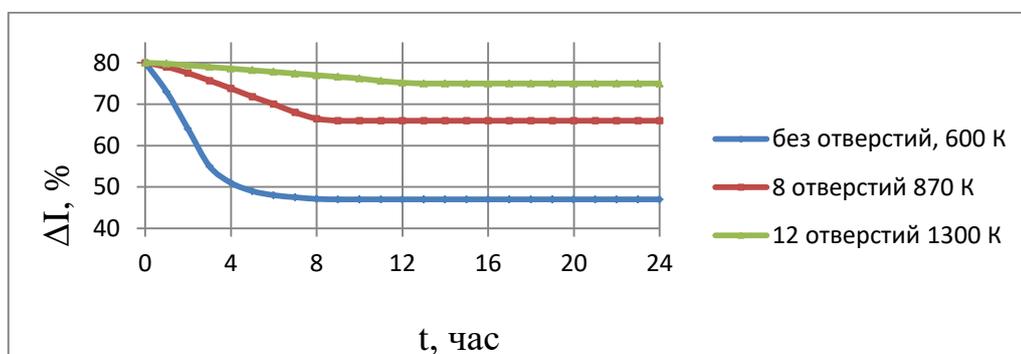


Рис. 6. Зависимость зоны устойчивой работы прибора от времени наработки и конструкции катодного узла.

Таким образом, был разработан катодный узел, обеспечивающий работу мощного импульсного прибора М-типа с большей частотой следования импульсов и большой длительностью импульса.

Литература

1. Белоус А.И., Мерданов М. К., Шведов С.В. СВЧ-электроника в системах радиолокации и связи. Техническая энциклопедия в 2-х книгах, книга 1, М.: Техносфера, 2016. – 688 с.
2. Быстров Р. П., Потапов А. А. Функциональные устройства и элементная база радиолокационных систем // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии, 2009, том 1, № 1-2, с. 43-58.
3. Дюбуа Б.Ч., Королев А.Н. Современные эффективные катоды // Электронная техника, сер. 1, СВЧ-техника, 2011, № 1(508), с. 5-25.
4. Гутцайт Э.М., Еремин В.П., Фурсаев М.А. Усилители М-типа с катодом в пространстве взаимодействия. Часть первая. М.: МЭИ, 1976, 88с.
5. Евстигнеев С.И., Ткаченко А.А. Катоды и подогреватели электровакуумных приборов. - М.: Высшая школа, 1970, 196 с.
6. Кудинцева Г. А., Мельников А. И., Морозов А.В., Никонов Б. П. Термоэлектронные катоды. – М.: Энергия, 1966, 366 с.

Ссылка на статью:

А. А. Тищенко, А. С. Мясников, О. Д. Тищенко, А. Я. Зоркин. Вторично-эмиссионный катод с водяным охлаждением. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2018. №3. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/mar18/2/text.pdf>