

# Испытания на долговечность металлопористых катодов, модифицированных нанокластером углерода в составе ЛБВ

Т.М. Крачковская, П.Д. Шалаев

АО «НПП «Алмаз»

**Аннотация:** приведены результаты экспериментальных исследований металлопористых катодов, модифицированных углеродными наноструктурами - Астралеными® и Углероном®. Длительные испытания на долговечность ЛБВ космического назначения с такими катодами в форсированном режиме показали, что предложенная конструкция и технология изготовления металлопористых катодов позволяют увеличить время их работы в ЛБВ без потери эмиссионной способности до  $3 \cdot 10^6$  ч. Зафиксированное за время испытаний изменение величины тока катода не превысило 5%.

**Ключевые слова:** космическая ЛБВ, металлопористый катод, долговечность, нанокластер углерода

## 1. Введение

Проблема повышения долговечности и надежности катодов остаётся актуальной для СВЧ приборов космического назначения. В частности, для спутниковых ЛБВ с выходной непрерывной мощностью  $100 \div 150$  Вт в диапазоне длин волн  $1 \div 2$  см. требуется обеспечить безотказную работу катода в течение не менее 170 тыс. часов при плотности тока до  $2 \text{ А/см}^2$ . Достижение таких параметров возможно путем применения и усовершенствования металлопористых катодов (МПК).

В данной работе для повышения срока службы МПК и прибора в целом предлагается модификация катода углеродными нанокластерами, Астраленами® в составе вольфрамовой губки и Углероном® в составе активного вещества. В работах [1-3] описаны положительные результаты испытаний на эмиссионную способность и долговечность таких катодов в диодах.

## 2. Подготовка образцов и экспериментальные результаты

Для исследования были изготовлены МПК по технологии, описанной в [4]. Металлическая матрица катода состояла из вольфрама фракции Б с 0,5% добавкой полиэдральных наночастиц фуллероидного типа тороидальной формы (Астраленов®) и пропитана активным веществом – алюминатом бария-кальция в пропорции 3:0,5:1 с 0,2 % добавкой сульфаддукта нанокластеров углерода (Углерона®), на эмитирующую поверхность была нанесена композиционная пленка состава Os-Ir-Al.

С этими катодами изготовлены и проходят испытания ЛБВ космического назначения с плотностью тока катода  $0,645 \text{ А/см}^2$  в непрерывном режиме. Для первого прибора испытания проводились в форсированном режиме с коэффициентом ускорения 1024 – температура катода при испытаниях ЛБВ превышала рабочую температуру катода на 270 К. В процессе исследований через каждые 50 часов фиксировалась эмиссионная характеристика прибора, по которой оценивалось соответствие параметру годности – температурный запас (разность рабочей и характеристической температуры) больше нуля. За характеристическую температуру принимается температура, при которой ток катода уменьшается на 10% и дальнейшее снижение температуры сопровождается переходом работы катода из режима ограничения пространственным зарядом в режим ограничения тока.



долговечности катода в составе ЛБВ до  $3 \cdot 10^6$  ч. В [5,6] обосновано изменение скорости деградации поверхности МПК, модифицированных углеродными наноструктурами.

Второй прибор проходит испытания на долговечность по аналогичной первому прибору методике, но с коэффициентом ускорения равным 256. С таким коэффициентом ускорения проводятся периодические испытания ЛБВ этого типа при их производстве для комплектации радио трансляторов спутников связи. Это (испытания при совпадающих форсированных температурах) позволяет более точно сопоставить результаты испытаний предлагаемого катода и катода, применяемого в промышленных образцах ЛБВ этого типа. Ранее, при выполнении испытания на долговечность и ресурс экспериментального образца ЛБВ этого типа с МПК промышленно применяемой конструкции (без модификации углеродными наноструктурами), наработка образца ЛБВ в форсированном режиме составила 780 ч., что соответствует 199680 ч. наработки в паспортном режиме [7].

На рисунке 16 представлено семейство некокальных характеристик второй ЛБВ с течением времени. Из рисунка 16 следует, что катод сохраняет свои эмиссионные свойства - изменение величины тока катода при рабочем напряжении накала 3,1 В менее 3% (не превышает 10%) после наработки в форсированном режиме 3375 ч. в форсированном режиме (эквивалентно 864000 ч. в паспортном режиме). На рисунке видно, что температурный запас за время испытаний только нарастает и, вероятно, не достиг ещё своего максимума. По этой причине сделать прогноз о долговечности катода по имеющимся на 3375 ч. возможности нет. Испытания будут продолжены до получения полной информации по максимальной наработке второго образца.

### 3. Заключение

Проведенные исследования срока службы МПК, модифицированных Астраленами® и Углероном®, в составе приборов показывают рекордную наработку. Причинами полученных результатов могут служить пониженная скорость испарения активного вещества с добавкой Углерона®, и сниженная диффузия вольфрама в осмиевую пленку в МПК с Астраленами® в вольфрамовой матрице [1,3,5].

Следовательно, дальнейшая разработка МПК с наноуглеродом является перспективной для применения таких катодов в сверхдолговечных приборах СВЧ.

#### Список литературы

1. Крачковская Т.М., Сторублев А.В., Сахаджи Г.В., Емельянов А.С. Исследование характеристик металлопористого катода, модифицированного наноуглеродом // Известия вузов России. Радиоэлектроника. - 2018. - №4. - с. 57-63.
2. Крачковская Т.М., Мельников Л.А. Эмиссионные свойства металлопористых катодов, модифицированных наноуглеродом // Письма в ЖТФ. – 2018. - т. 44. - Вып. 22. - с. 11-18.
3. Крачковская Т.М., Мельников Л.А. Перспективы применения различных форм наноуглерода в катодных системах // Электронная техника, Сер.1, СВЧ-техника. - Вып. 3(542). - 2019. - С. 6-14.
4. Металлопористый катод и способ его изготовления. Патент №2658646. Крачковская Т. М., Сахаджи Г. В., Сторублев А. В., Пономарев А. Н. Заявл. 27.06.2017 г. Опубл. 22.06.2018.
5. Крачковская Т.М. Металлопористые катоды, модифицированные наноуглеродом, с высокой долговечностью для применения в приборах СВЧ / Т.М. Крачковская, Л.А. Мельников, О.Е. Глухова, В.В. Шунаев, П.Д. Шалаев // Письма в ЖТФ. – 2020. - т. 46. - вып. 13. - с.51-54.
6. Arin M.P., Krachkovskaya T.M., Shalaev P.D. Life Test Performance of Nanocarbon-Modified Metal-Porous Cathode in the Traveling Wave Tube // 2020 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering (APEDE).
7. Шалаев П.Д. Результаты разработки образца ЛБВ средней мощности в трёхсантиметровом диапазоне с КПД до 69% // Материалы научно-технической конференции "Перспективы развития электроники и вакуумной техники на период 2001 – 2006 гг." Саратов. ГНПП "Контакт". Изд. Саратовского ун-та. 22 – 23 февраля 2001.