

**Смирнов В.А., Акимов П.А., Воробьев М.Д.,
Мельничук Г.В., Никитин А.П., Фрейдович И.А.,
Потапов Ю.А., Судаков Ю.С.,
Чудин В.Г., Якушкин Е.П.**

ФГУП "Научно Производственное Предприятие "ТОРИЙ"

Результаты разработки и исследований плазменнонапыленных металлопористых катодов

Приведены результаты разработки, исследований и внедрения эффективных металлопористых катодов, изготовленных методом плазменного напыления, в электровакуумные приборы СВЧ-диапазона. Даны примеры конструктивных решений катодных узлов с плазменно напыленными эмиттерами для многолучевых ЭВП

Ключевые слова: эффективные металлопористые катоды, метод плазменного напыления, эмиссионный материал, многолучевые катодные узлы, эмиссионные свойства, долговечность катодов

Использование эффективных металлопористых катодов [1-3], изготовленных методом плазменного напыления, в мощных гиротронах (рис. 1) и многолучевых клистронах (рис. 2) доказало возможность существенного снижения трудоемкости изготовления катодных узлов (КУ) по сравнению с технологией Леви за счет сокращения технологического цикла производства. Применение плазменной технологии позволило также расширить диапазон типоразмеров в сторону крупногабаритных эмиттеров [4,5], повысить их эмиссионную однородность, электропрочность [6] и долговечность. Однако для многолучевых КУ с диаметром эмиттера 10 мм и менее потребовались дополнительные конструктивные решения по уменьшению испарения эмиссионного вещества и паразитной эмиссии с боковой поверхности эмиттеров, а также обеспечения однородности эмиссионных свойств эмиттеров, количество которых достигает в современных многолучевых клистронах нескольких десятков в одном КУ. Результаты решения данных задач и приводится в представленной работе.

Широко применялись до недавнего времени конструкции многолучевых КУ, в которых отдельные эмиттеры в виде шпильков закрепля на общем фланце [7], а управляющий электрод изолирован от эмиттеров и расположен на керамическом изоляторе. При изготовлении таких эмиттеров диаметром 2-5 мм плазменным методом возникают определенные технологические трудности, преодолеть которые удалось применением конструкции эмиттера по схеме, представленной на рис. 3, на котором обозначены: 1-молибденовый керн, 2 – металлопористый эмиттер, нанесенный на керн методом плазменного напыления.

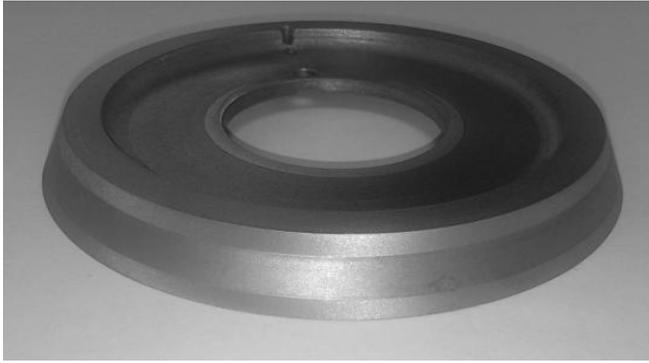


Рис. 1



Рис. 2

Катодные узлы с подобными эмиттерами были изготовлены и испытаны в мощных многолучевых клистронах с целью исследования возможности снижения скорости испарения эмиссионного вещества, уменьшения вероятности возникновения пробоев и увеличения долговечности катодов и прибора в целом. На рис.4 приведена фотография одного из вариантов КУ, прошедшего испытания в приборе с параметрами: импульсная мощность – 500 кВт; средняя мощность -14кВт, средняя наработка – 4000 часов; плотность тока – $6,25 \text{ А/см}^2$; катод многолучевой – 30 лучей; диаметр отдельного эмиттера – 6мм.

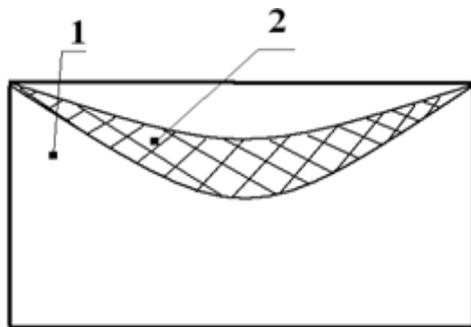


Рис.3



Рис. 4

Сравнение некошальных характеристик разработанного КУ с катодом, изготовленным по традиционной технологии, показало возможность снижения мощности накала на 40-50 Вт (~15%), что эквивалентно снижению рабочей температуры на 50°C и потенциально способно увеличить срок службы прибора в 4 раза. Приборы проходят дальнейшие испытания на долговечность в эксплуатации.

Многолучевые катодные узлы с единым эмиттером

С целью дальнейшего улучшения параметров КУ и приборов предложена конструкция многолучевого КУ [8,9], включающая фокусирующий электрод,

эмитирующие элементы и блок подогревателя. Рабочая поверхность эмитирующих элементов расположена в углублениях фокусирующего электрода на едином основании, выполненном из эмиссионного материала и размещенном между фокусирующим электродом и блоком подогревателя. При этом эмитирующие элементы могут быть выполнены в виде выступов с высотой, не превышающей величины углублений в фокусирующем электроде, а между фокусирующим электродом и основанием из эмиссионного материала может быть установлен гарантированный зазор.

На рис. 5 схематически представлен один из возможных вариантов конструкции многолучевого КУ с единым эмиссионным основанием. На данном рисунке представлены: 1 – фокусирующий электрод, 2 – основание из эмиссионного материала, 3 – углубление в электроде, 4 – рабочая поверхность эмиттера, 5 – блок подогревателя, 6 – выступы из эмиссионного материала.

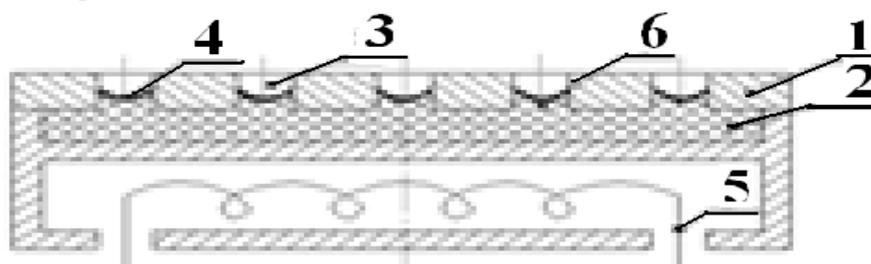


Рис.5

Расположение рабочей поверхности эмитирующих элементов на едином основании из эмиссионного материала 2 приводит к повышению их однородности по эмиссии, исключает необходимость проведения трудоемких операций по изготовлению и закреплению отдельных эмиттеров КУ. Выполнение эмитирующих элементов в виде выступов 6 с высотой, не превышающей размер углублений в фокусирующем электроде, позволяет осуществить фокусировку электронного потока.

На рис.6 приведено фото КУ, разработанного для 4-х ствольного 72-х лучевого клистрона. Основным элементом является обойма (2) с эмитирующими элементами (3). Такие КУ могут быть выполнены любой формы и размера и содержать несколько пучков (5) эмиттеров. Сетка может касаться эмиттера или быть установлена на некотором расстоянии от него.

Формирование электронных пучков в приборах с многолучевыми катодными узлами на едином эмиссионном основании

Реализация преимуществ использования многолучевых КУ с единым эмиссионным основанием в конструкциях МЛК потребовало проработки вопросов проектирования электронно-оптических систем (ЭОС) формирования многолучевых электронных пучков, существенно отличающихся от предшествующих вариантов ЭОС МЛК. При этом крайне желательно было в максимальной степени сохранить неизменной основную конструкцию прибора с учетом хорошо отлаженных технологий изготовления и сборки.

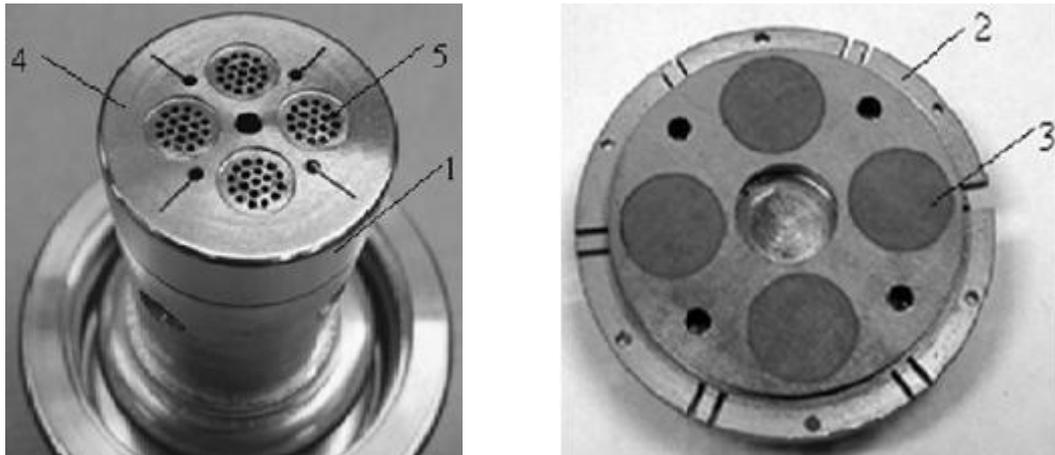


Рис. 6

Проведенные исследования позволили разработать ряд электронно-оптических систем, удовлетворяющих требованию равномерности эмиссии на поверхности эмиттеров и достаточной ламинарности формируемых парциальных пучков [10,11]. Результаты численного моделирования формирования траекторий электронов пучка в парциальной пушке для варианта конструкции многолучевого катодного узла с эмиттерами на едином эмиссионном основании и модуляторной сеткой приведены на рис. 7. На рисунке цифрами обозначены: 1 – общее эмиссионное основание; 2 – поверхность парциального эмиттера; 3 – анод; 4 – модулятор; 5 – граница парциального электронного пучка.

Результаты анализа распределения плотности эмиссионного тока на поверхности парциального эмиттера представлены ниже, на рис. 8.

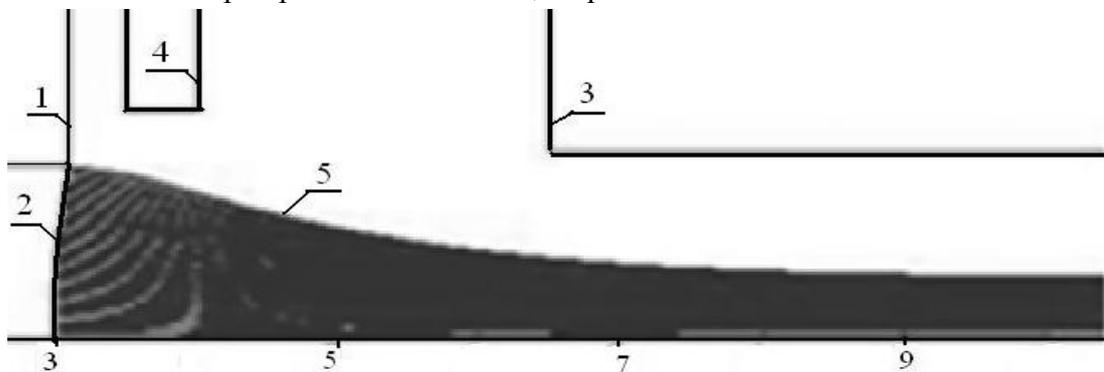


Рис.7

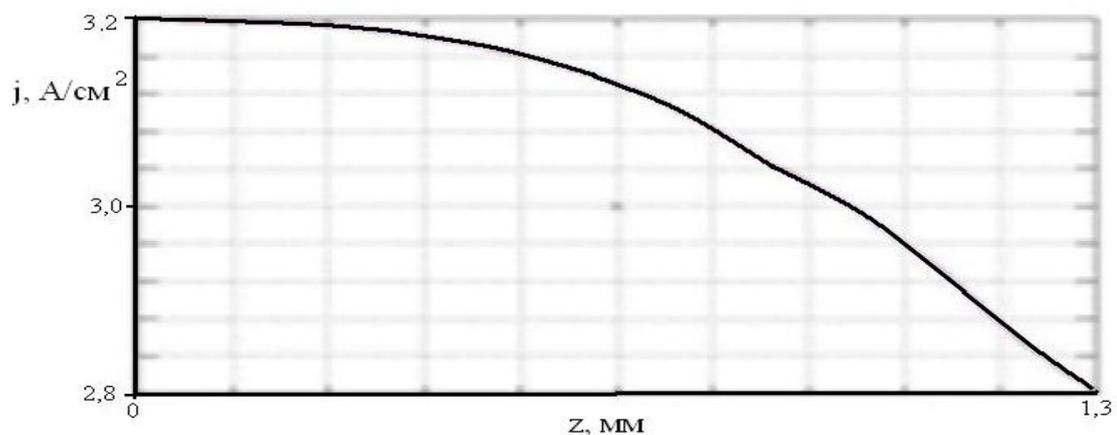


Рис.8

С целью прогнозирования эмиссионной долговечности представляет интерес исследование стабильности свойств таких катодов в форсированном режиме. Конструкция экспериментального прибора и методика измерений приведена в работе [12].

Измерения эмиссионных характеристик катода в процессе испытаний проводились в импульсном режиме: - длительность импульса – 1мкс; - скважность – 50000; $T_{ярк} = 1340 - 1350^\circ \text{C}$. Проведенные исследования показали, что эмиссия катода в течение 350 часов работы в режиме форсированного подогрева уменьшилась в два раза, оставаясь на довольно высоком уровне – 150 A/cm^2 . Учитывая изменение скорости испарения эмиссионного вещества на каждые $20-25^\circ \text{C}$ в два раза, можно оценить срок службы эмиттеров при температуре 1050°C в ~ 300000 часов, без учета влияния ионной бомбардировки.

В заключение следует отметить, что в дальнейшем планируется проведение ряда технологических усовершенствований конструкций разрабатываемых многолучевых КУ и оптимизацию режимов их работы с целью повышения стабильности эмиссионных свойств при отборе больших плотностей тока.

Библиографический список

1. Andronov A.V., Ilin V.N., Khmara V.A., Luchin A.A., Lucsha O.I., Makarova S.P., Maslennikov O.Yu., Roborov S.V., Smirnov V.A., Sominsky G.G. Metal-porous Cathodes – effective Sources of electron Emission for high power Gyrotrons. Proc. IVESC'96, Eindhoven, Netherlands, July 1-4, 1996.
2. С.С. Дроздов, О.Ю. Масленников, В.А. Смирнов, Ю.А. Судаков. Многолучевой источник электронов для мощных электровакуумных приборов. Вакуумная наука и техника, XI научно-техническая конференция. 2004, стр. 312-316.
3. Myasnikov V.B., Agapova M.V., Smirnov V.A. and others/ Development of 1 MW long pulse CW Gyrotrons in 110-170 GHz frequency Range. Proc. Int. Conf. "Electronics and Radiophysics of Ultra-High Frequencies" May 24-28.1999. 3. 138. St. Petersburg, Russia.
4. V.P. Yakovlev and other. 100MW Electron Gun for A 34.3 Ghz Magnicon, Proceeding of the 2001 Particle Accelerator Conference, Chicago, p. 1041
5. А.А. Корнюхин, А.В. Крылов, Г.И. Кузнецов, Н.В. Логичев, О.Ю. Масленников, Ю.А. Потапов, В.А. Смирнов, Ю.С. Судаков. Сильноточный источник электронов для ускорителя-инжектора, Вакуумная наука и техника, XV научно-техническая конференция, 2008г., стр.191-195.
6. В.А. Смирнов. Катоды со специальными характеристиками для сверхмощных электровакуумных приборов, Вакуумная наука и техника, VIII научно-техническая конференция. 2001г., стр. 208-2011
7. С. Абанович, и др. Новые результаты испытаний на долговечность многолучевых клистронов с многоэмиттерными катодными узлами, X научно-техническая конференция Вакуумная наука и техника, Т.2 стр. 442, 2003г.
8. Смирнов В.А., Никитин А.П., Мельничук Г.В., Кубарев Ю.В., Бойкачев В.Н., Потапов Ю.А., Акимов П.И., Судаков Ю.С. Устройство для изготовления металлопористого многоэмиттерного катода. Патент РФ №115561, 2011 г.
9. Акимов П.И., Бойкова Т.С., Никитин А.П., Смирнов В.А., и др. Многолучевой катодный узел. Патент РФ № 97563, 2010г.
10. Акимов П.И., Бойкова Т.С., Никитин А.П., Смирнов В.А. Источник многолучевого электронного пучка с катодами плазменного напыления. XV Научно-техн. конф. Вакуумная наука и техника. 2008г., С. 186-190.
11. Акимов П.И., Богословская А.Б., Смирнов В.А. и др. Численное проектирование систем формирования электронных пучков для многолучевых приборов с эмиттерами на основе технологии плазменного напыления. XVI научно-техническая конф. "Вакуумная наука и техника". 2009, октябрь. С. 312-317.
12. В.А. Смирнов, П.И. Акимов и др. Применение в многолучевых клистродах плазменнонапыленных металлопористых катодов и прогнозирование их долговечности в форсированных режимах. XIX научно-техническая конф. Вакуумная наука и техника". 2012, сентябрь. С. 207- 209.