

**Смирнов В.А.¹, Акимов П.И.¹, Иванов В.В.¹,
Шешин Е.П.¹, Александров В.Ю.², Потапов Ю.А.²**

¹Московский физико-технический институт «МФТИ»

²АО «НПП «Торий»

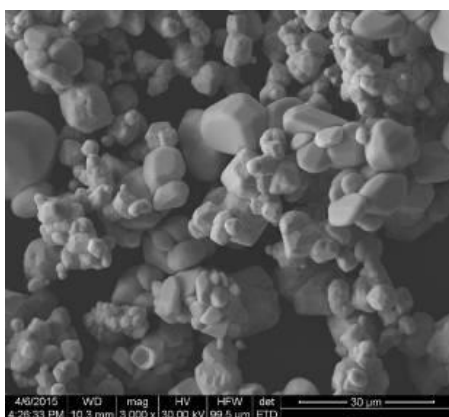
Щелевые металлопористые катоды

Рассмотрена структура и свойства матриц металлопористых катодов, изготовленных по плазменной технологии. Показано, что щелевая структура матрицы более предпочтительна для экономичного расходования эмиссионного вещества, получение большей однородности эмиссии и долговечности катодов.

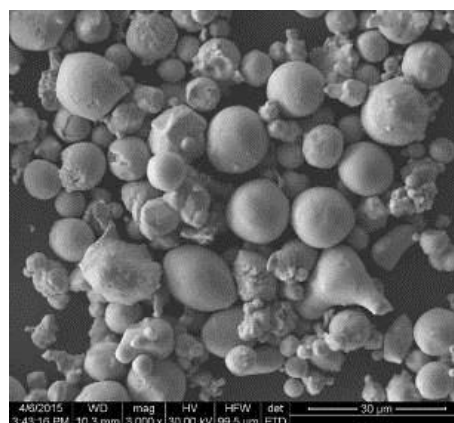
Ключевые слова: плазменная технология, металлопористый катод, щелевые поры, газопроницаемость, однородность эмиссии, скорость испарения.

Целью работы является рассмотрение влияния особенностей структуры металлопористых катодов ($W + 3BaO \cdot 0,5CaO \cdot Al_2O_3$) изготовленных по плазменной технологии [1-3] на физико-химические свойства: однородность эмиссии, скорость испарения, долговечность катодов.

При формировании матрицы металлопористых катодов плазменным методом, частицы вольфрамового порошка ускоряются в плазменной струе до 1-2 км/с, оплавляются (см. рис. 1) и при ударе о подложку плотно заполняют пространство, прочно привариваясь к керну и между собой. Кроме того, частицы деформируются и поры в такой матрице (см. рис. 2) имеют вид щелей, у которых длина много больше их ширины, а ширина много меньше размера частиц.



а



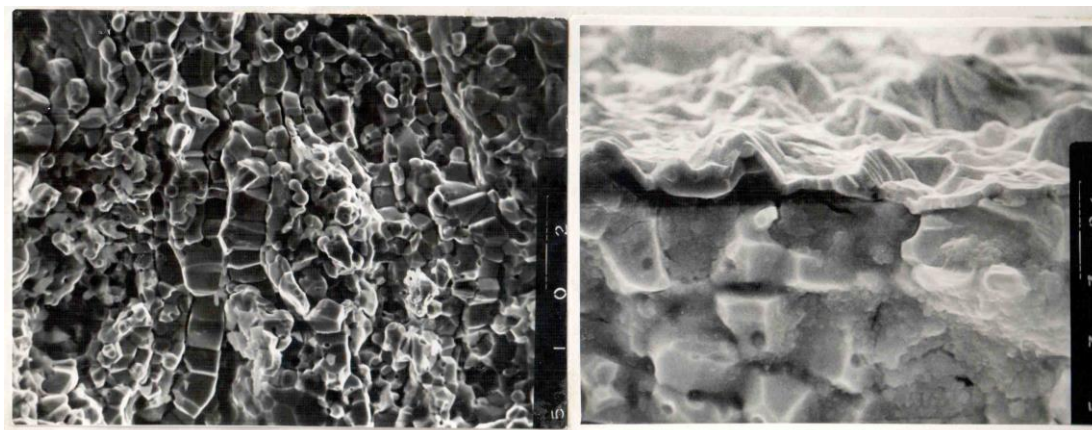
б

Рис. 1. Изображение вольфрамовых частиц порошка.

а – исходный порошок, б – после прохождения через плазменную струю.

Проведенные исследования гранулометрического состава порошков с помощью растрового электронного микроскопа FEI Quanta 200 MK2 и приставки для микроанализа EDAX ECON 6, а также методом лазерной дифракции на приборе Malvern Mastersizez

3000 показали, что их состав до и после прохождения через плазменную струю мало изменился [4]. Для частиц 3÷7 мкм получена плотность матрицы 80÷81%, а по традиционной технологии Леви из исходного порошка – только 73÷75%. При попытке получить большую плотность обычных матриц за счет режимов прессования и спекания образуются замкнутые поры, которые не пропитываются алюминатом.



а (x 2000)

б (x 5000)

Рис. 2. Фотографии излома матрицы.

а – в объеме; б – на границе с поверхностью, покрытой осмием.

С помощью растрового электронного микроскопа исследовалась также морфология поверхности различных вольфрамовых матриц. Анализ данных показывает, что периметр пор и щелей для матриц, изготовленных по плазменной технологии примерно в 6 раз больше, чем по традиционной. Это имеет большое значение для обеспечения однородности эмиссии катода, так как повышенная плотность трещин способствует перекрытию миграционных потоков Ва по поверхности катода. Так, по данным [5], длина миграции Ва по вольфраму при рабочей температуре катода составляет 30-40 мкм.

Для количественной оценки влияния этих особенностей на работу катода проведены исследования скорости испарения и однородности эмиссии катодов, в зависимости от газопроницаемости матриц с различной структурой, которая представлена в виде измеренного нами [11] коэффициента газопроницаемости.

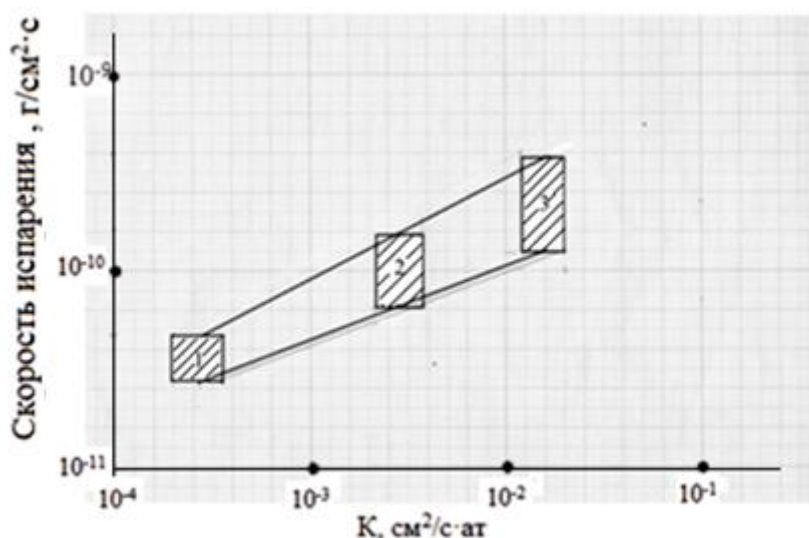


Рис. 3. Зависимость скорости испарения эмиссионного вещества

(при температуре $1385 \pm 10\text{K}$) от газопроницаемости вольфрамовых матриц:

- 1 – плазменнонапыленные;
- 2 – комбинированные;
- 3 – традиционные, с учётом [6].

Из рисунка 3 видно, что меньшая газопроницаемость матриц снижает скорость испарения эмиссионного вещества почти на порядок, при одновременном увеличении доли миграционного потока атомов бария на эмитирующую поверхность, что обеспечивает большую однородность эмиссии и долговечность катодов.

Однородность эмиссии по катодной поверхности является важным фактором, например, для увеличения КПД мощных гиротриборов. На рис. 4. представлено азимутальное распределение плотности тока на катодах гиротронов с эмитирующей поверхностью в виде осесимметричной полоски шириной 5 мм при диаметре около 80 мм, нанесенной на усеченный конус с диаметром в основании 90 мм. Здесь следует отметить, что осмирование катодов для гиротронов не проводилось, так как их поверхность подвергается электронной бомбардировке.

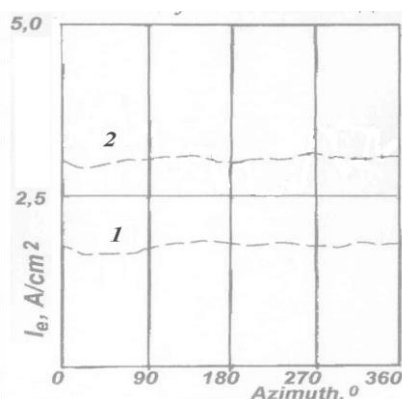


Рис. 4. Азимутальное распределение плотности тока для катода гиротрона

Рабочие температуры для кривых 1 и 2 составляют 1230 К и 1300 К, а работа выхода 2,15 эВ и 2,2 эВ соответственно. Как видно неоднородность эмиссии катодов – не более $\pm 5\%$ от величины среднего тока. Такие катоды применены в различных типах гиротронов высокой мощности (до 1 МВт) с рабочим диапазоном частот 110-170 ГГц и КПД – до 35÷40% [7,8].

Кроме того, при сравнительных испытаниях таких катодов в 3-х типах многолучевых серийно-выпускаемых клистронов, во всех случаях обнаружено существенное изменение некокальных характеристик, при постоянных (рабочих) анодных напряжениях. На рисунке 5 рост тока А (первианса) в области

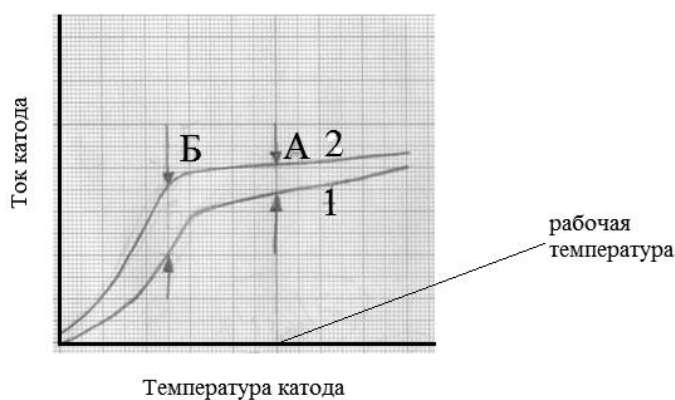


Рис. 5. Схема некокальных характеристик катодов в приборе:
1 – традиционные, 2 – плазменнонапыленные.

пространственного заряда можно объяснить за счет увеличения эффективной площади катода, через повышение однородности эмиссии, уменьшение эмиссионной пятнистости. Рост эмиссии Б в недокале связан с уменьшением работы выхода, по видимому, за счет обеспечения большей концентрации от атомов бария – эмиссионных центров в монослое на поверхности катода.

К настоящему времени получена также апробация эмиссионной долговечности катодов, изготовленных по плазменной технологии в серийно выпускаемом мощном 5÷6 МВт многолучевом клистроне КИУ-40 [9]. При плотности тока 4÷5 А/см², длительности импульса 140÷250 мкс и частоте следования импульса 50 Гц приборы с №128012 и 128061, 128032 проработали в динамическом режиме соответственно по 22,5, 17,3 и 16,7 тыс. часов. Эксплуатация приборов продолжается. Ранее нами также сообщалось [10] о стабильной работе таких катодов в многолучевых клистроны с отбором тока 14-20 А/см² в непрерывном и квазинепрерывном режимах в течении не менее 3 тыс. часов, при температуре 1060-1080°С ярк. Кроме того, благодаря низкой скорости испарения показана возможность работы катодов в форсированных режимах по температуре 1340-1310°С ярк., с отбором тока до 300 А/см², в течении не менее 300 часов в импульсном микросекундном режиме.

Библиографический список

1. Смирнов В.А., Катоды со специальными характеристиками для сверхмощных электровакуумных приборов, «Вакуумная наука и техника», Материалы VIII научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов. Судак, 2001. С. 208-211.
2. Смирнов В.А., Высокоэффективные металлопористые (импрегнированные) катоды для электровакуумных приборов, «Вакуумная наука и техника», материалы X юбилейной научно-технической конференции, Судак, 2003, с.436-442.
3. Smirnov V.A., Akimov P.I., Melnichuk G.V., Chudin V.G., Nikitin A.P., Freydovich I.A., Potapov Y.A., Sudakov Y.S., Bogoslovskaya A.B., Plasma spraying metal-porous cathodes for high-power microwave devices , – IVEC 2013 Conference proceedings (21st-23rd May 2013).
4. Smirnov V.A., Akimov P.I., Alexandrov V.Y., Ivanov V.V., Melnichuk G.V., Potapov Y.A., Chudin V.G., Sheshin E.P., Metal porous cathodes with a gap pore structure, IVESC 2016, Seoul, Korea., p.121-124.
5. Дружинин А.В., Миграция Ва по поверхности W, Mo, Re, покрытых адсорбированной газовой пленкой, «Радиотехника и электроника», 1965, т.10, №3, с.498-504.
6. Par A.M.: Shroff et Pallvel: Les Cathodes impregnees: Revue Technique Thomson-GSF, 1982, Vol.4, №3, p. 583.
7. Andronov A.V., Ilin V.N., Khmara V.A., Luchin A.A., Lucsha O.I., Makarova S.P., Maslennikov O.Y, Roborerov S.V., Smirnov V.A., Sominsky G.G: Metalporous cathodes – effective sources of electron emission for hight power gyrotrons: Proc. IVESC'96, Eindhoven, July 1-4, 1996.
8. Myasnikov V.E., Agapova M.V. and others: Development of 1MW long pulse/CW gyrotrons in 110-170 Ghz frequency range, Proc. Int. University Conf. «Electronics and Radiophysics of Ultra-High Frequencies», May 24-28, p.138, St. Petersburg, Russia.
9. Дроздов С.С., Масленников О.Ю., Смирнов В.А., Судаков Ю.С., Многолучевой источник электронов для мощных электровакуумных приборов, «Вакуумная наука и техника», материалы XI, научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов, Судак, 2001, с. 208-211.
10. Смирнов В.А., Потапов Ю.А, Ю.С. Судаков, Чудин В.Г., Плазменнонапыленные металлопористые катоды с многослойной структурой эмиттера для электровакуумных приборов, «Вакуумная наука и техника», XXI научно-техническая конференция с участием зарубежных специалистов, Москва, 2014, с.288-291.
11. Смирнов В.А., Акимов П.И., Александров В.Ю., Иванов В.В., Кудряшов А.В., Потапов Ю.А., Чудин В.Г., Шешин Е.П., Исследование металлопористых катодов со щелевой структурой пор, сборник статей Пятой Всероссийской конференции «Электроники и микроэлектроники СВЧ», том 2, стр. 115, Санкт-Петербург, 2016.