

А. А. Гурко, К. И. Сучков*

ОАО «Владыкинский механический завод»

58, Дмитровское шоссе, Москва, 127238, Россия

E-mail: mosvmz@mail.ru

**ФГУП НПП «Исток»*

2а, ул. Вокзальная, Фрязино, 141190, Россия

E-mail: kisa222@mail.ru

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЭМИТТИРУЮЩЕГО УЗЛА КАТОДА МАГНЕТРОНА С АВТОЭМИССИОННЫМ ЗАПУСКОМ

В настоящее время отсутствуют методики прогнозирования долговечности катода и его работоспособности при пониженной температуре окружающей среды, а вывод об удовлетворении требованиям технических условий (ТУ) по этим параметрам оценивается только по результатам натурных испытаний контрольной партии. В научной литературе не существует единой точки зрения на способы определения эмиссионной способности материала катода для приборов со скрещенными полями. В связи с этим имеются значительные трудности обоснования выбора параметров катода для каждого конкретного прибора. Выполнено исследование различных партий материала Pd–Ba, применяемого в катодах серийных магнетронов. Проверено условие перехода автоэмиссии во взрывную путем оценки работоспособности магнетрона при скважности, существенно превышающей требования ТУ. По результатам исследования сделан вывод о существовании корреляции между долговечностью магнетрона и его работоспособностью при пониженной температуре. В качестве критерия предлагается превышающая максимальное эксплуатационное значение и определяемая экспериментально величина скважности, при которой в нормальных климатических условиях реализуется выход на рабочий режим при первом включении магнетрона. Полученная методика позволяет осуществлять 100 % прогнозирование выполнения требований ТУ по долговечности. Она адекватна методике проверки на холодоустойчивость, но при нормальных климатических условиях. Ил. 3. Табл. 1. Библиогр.: 2 назв.

Ключевые слова: магнетрон, автоэмиссионный катод, взрывная эмиссия.

Трудности, связанные с выбором и конструированием катода для конкретного прибора, весьма значительны. По мнению автора работы [1], во многом это связано тем, что «даже в одном из наиболее существенных вопросов – определении эмиссионных констант катода – до сих пор нет единого общепризнанного метода». Решение проблемы существенно осложняется в приборах со скрещенными полями: из-за наличия в них обратной бомбардировки ориентироваться следует исключительно на полученные в рабочем режиме параметры катода, поэтому в основе выбора типа и конструктивного оформления катода лежит сугубо эмпирический подход. Убедительным подтверждением изложенного может служить применение в магнетроне безнакального катода с автоэмиссионным запуском.

Смена предприятия-поставщика материала Pd–Ba (без изменения технических условий (ТУ) на материал) привело к неожиданному результату – изменению работоспособности магнетронов, причем в разной степени для разных типов магнетронов. Очевидно, что первопричину этого явления следует искать в изменении свойств вторично-эмиссионного катода (ВЭК).

Исследование материала Pd–Ba разных партий поставки обоих предприятий дало повторяющиеся результаты как для материала первого поставщика, с точки зрения работоспособности магнетрона – хорошего (тип А), так и для материала нового поставщика, с точки зрения работоспособности магнетрона – плохого (тип Б).

Химический состав (элементный состав поверхностной области размером 200×200 мкм на глубину 5...10 мкм) оказался следующим:

- в образцах типа Б наблюдается микронеоднородность распределения Ba, обусловленная более крупными размерами фазы Pd₅Ba;
- усредненное содержание Ba в образцах типа А и Б одного порядка;
- посторонних элементов на уровне чувствительности метода (0,01...0,1 % для элементов, тяжелее Na) помимо Pd и Ba не обнаружено.

Структура материала представлена на рис. 1 и 2 в виде фотографий с экрана растрового электронного микроскопа (РЭМ) изображения участков поверхности катодов:

- в образцах типа Б распределение фазы Pd₅Ba (светлая фаза) по объему образца неоднородно, относительное содержание Ba на отдельных участках размером 200×200 мкм отличается в 3–4 раза, размер частиц Pd₅Ba (светлая фаза достигает 50...100 мкм) (рис. 1);
- образцы типа А характеризуются более однородным распределением мелкодисперсной (5...10 мкм) фазы Pd₅Ba (рис. 2).

Основное различие между образцами типа А и Б заключается в размерах частиц и равномерности распределения фазы Pd₅Ba. Равномерность распределения Ba является критериальным параметром ТУ на материал (п.1.4.1 ТУ Яе0.021.079ТУ): «Распределение Ba считается равномерным, если разность результатов анализа проб не превышает 0,3 % абсолютных».

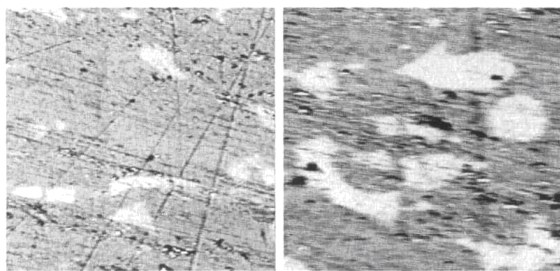


Рис. 1. РЭМ-изображения различных участков поверхности эмиттера Pd–Ва типа Б

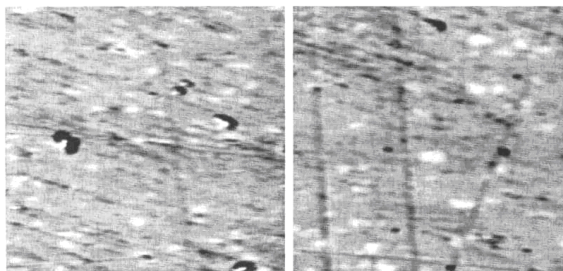


Рис. 2. РЭМ-изображения различных участков поверхности эмиттера Pd–Ва типа А

Причина ухудшения работоспособности магнетрона заключается в несоответствии требованиям ТУ допустимой величины неоднородности материала ВЭК в результате изменения технологии его изготовления. Последствие ухудшения однородности эмиссионного материала очевидно – ухудшение однородности эмиссионной мозаики ВЭК. Внешнее ее проявление в коаксиальных магнетронах (КМ) 2- и 3-см диапазонов (таблица) выглядело как разрыв на начальном участке вольт-амперной характеристики (ВАХ) (рис. 3), при этом крутизна ВАХ на концах участка разрыва различна.

Диапазон, см	U_a , кВ	I_a , А	$P_{имп}$, кВт	$P_{ср}$, Вт
2	9,5	10,0	37	15
3	6,0	6,0	5,5	5,5

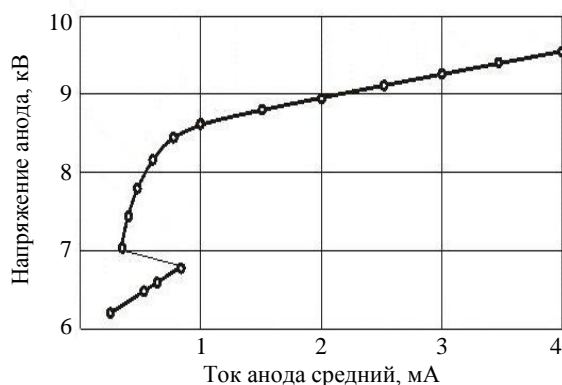


Рис. 3. ВАХ магнетрона

Уменьшение средней мощности $P_{ср}$ (путем уменьшения частоты следования модулирующего импульса) в КМ 3-см диапазона длин волн приводило к резкому увеличению флюктуаций фронта огибающей высокочастотных импульсов, переходящих в пропуски импульсов при снижении температуры окружающей среды.

В результате снижения температуры катода при увеличении скважности возникают затруднения, связанные с уменьшением стартового тока из-за перехода автоэмиссии во взрывную. В этой ситуации единственной возможностью сохранения величины стартового тока представлялось уменьшение количества автоэммиттеров, являющихся «фундаментом» для роста нитевидных кристаллов (авторы работы согласны с гипотезой об образовании на рабочей кромке автоэммиттера нитевидных кристаллов (или острых катодов)) [2].

В КМ 2-см диапазона уменьшение количества автоэммиттеров в 3 раза (с 6 до 2) привело к восстановлению монотонной ВАХ. Аналогичные конструктивные изменения в 3-см КМ не привели к улучшению его работоспособности. Различие между экспериментальными КМ состоит в уровнях напряжения анода.

Для оценки вероятности влияния этого фактора была проведена оценка реакции экспериментального 2-см КМ (таблица) на уменьшение величины U_a . После уменьшения индукции магнитного поля до значения, при котором рабочее напряжение анода понизилось до 7 кВ, граница устойчивой работы по току анода упала до 6,2 А. При этом напряжение анода, соответствующее совпадению границы пространственного заряда в предгенерационном режиме с радиусом автоэммиттера, изменилось от $\sim 5,5$ до ~ 3 кВ, что равносильно уменьшению времени, отведенного для перехода автоэмиссии во взрывную. Время нарастания напряжения анода от уровня $0,1U_a$ до величины, при которой имеет место равенство радиуса Бриллюэна и радиуса автоэмиссионного катода, уменьшилось в ~ 2 раза. Увеличение длительности фронта модулирующего импульса в 1,75 раза привело к росту верхней границы диапазона устойчивой работы по току анода до 8,5 А. Перечисленные факты можно рассматривать как подтверждение гипотезы о взрывной эмиссии в качестве источника первичных электронов.

В приведенном эксперименте с КМ 2-см диапазона на конечный результат влияет одновременно с уменьшением индукции магнитного поля падение напряжения анода. Величина напряжения анода при анализе возможных конструктивных вариантов магнетрона является константой. Величиной индукции постоянного магнитного поля разработчик магнетрона имеет возможность управлять, варьируя величиной отношения диа-

метров катода и анода и количеством периодов γ замедленной (синхронной) волны высокочастотного потенциала на периметре анодного отверстия.

Практически в любом магнетроне электроны приобретают энергию, достаточную для ионизации продуктов катодного распыления, т. е. создания материала для «строительства» нитевидных кристаллов. Ключевым вопросом в проблеме управляемого воздействия на процесс устойчивого возбуждения и стабильной работы магнетрона в условиях эксплуатации является определение конструкторско-технологических решений, обеспечивающих состояние, при котором скорость разрушения нитевидных кристаллов взрывной эмиссией не превосходит интенсивность их образования. Очевидно, что реализация этого состояния должна подтверждаться неразрушающим способом контроля каждого экземпляра магнетрона. Наиболее близко к этому практикуемое М. Н. Зыбиным (ОАО «Плутон», Москва) первичное введение магнетрона в генераторный режим без включения напряжения накала катода. Скорость подъема напряжения анода должна исключать вероятность искрений (пробоев анод–катод), так как это сопровождается разрушением на рабочей кромке ВЭК центров формирования нитевидных кристаллов.

Очевидно, что препятствием быстрого первичного введения магнетрона в номинальный режим является неспособность эмиссионных центров обеспечить необходимую величину стартового тока. Это свидетельствует о незначительном превалировании в переходный период роста нитевидных кристаллов над их разрушением. Сократить время переходного процесса можно некоторым повышением температуры ВЭК. При первичном введении магнетрона в генераторный режим с отличным от нуля напряжением накала катода вероятность возникновения искрений легко исключается. Однако после выключения напряжения накала катода неизбежно уменьшение интенсивности роста нитевидных кристаллов, и оценку последствий изменения баланса между их ростом и разрушением в настоящее время можно вести лишь выборочно с помощью испытаний на безотказность.

Для описанного выше 3-см КМ экспериментально установлено ухудшение работоспособности (вплоть до полной ее потери на некоторых экземплярах) при увеличении скважности (уменьшении величины среднего тока) и одновременном понижении температуры окружающей среды. Единственным объяснением этого явления представляется затруднение перехода автоэмиссии во взрывную. Таким образом, обнаруженный факт может быть положен в разработку методики и критерия прогнозирования работоспособности магнетрона при пониженной температуре окру-

жающей среды. В качестве критерия предлагается превышающая максимальное эксплуатационное значение и определяемая экспериментально величина скважности, при которой в нормальных климатических условиях реализуется выход на рабочий режим при первом включении магнетрона. Аналогично может быть получен корреляционный коэффициент прогнозирования долговечности катодного узла, гарантирующего работоспособность магнетрона в пределах заданной долговечности.

Библиографический список

1. *Электронные сверхвысокочастотные приборы со скрещенными полями*: в 2 т. Т. 1. Основные элементы приборов / пер. с англ. под ред. М. М. Федорова. – М.: Иностран. лит., 1961. – С. 104–126.
2. *Костюк Г. И.* О динамике эмиссионных процессов на острейном катоде / Г. И. Костюк // XVIII Всесоюз. конф. по эмиссионной электронике: тез. докл. – М., 1981. – С. 117.

Рукопись поступила 05.07.2012 г.

А. А. Gurko, K. I. Suchkov

A QUALITY EMISSION ESTIMATION TECHNIQUE OF MAGNETRON CATHODE NODE WITH AUTOEMISSION START

At present there are no techniques of forecasting the cathode durability and its working capacity at the lowered ambient temperature, and the conclusion about meeting technical specifications requirements on these parameters is estimated only by results of control party natural tests. In the scientific literature there is no uniform point of view on the ways to define the emissive ability of cathode material for devices with the crossed fields. There are great difficulties in substantiation of the cathode parameters choice for each concrete device. Research of various parties of Pd-Ba material applied in cathodes of serial magnetron is executed. The condition of autoemission transition to explosive by a magnetron working capacity estimation is checked at the pulse duty factor essentially below the technical specifications requirements. By means of the research results the conclusion about correlation between magnetron durability and its working capacity at the lowered temperature is drawn. As a criterion the experimentally defined pulse duty factor is offered, at which the operating conditions establishment in normal climatic conditions is realized at the first magnetron inclusion. The received technique allows to carry out 100 % forecasting of performance of the technical specifications requirements on durability. It is similar to a check technique on frost resistance, but under normal climatic conditions.

Key words: magnetron, auto-emission cathode, explosive emission.

А. А. Гурко, К. И. Сучков

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЯКОСТІ ЕМІТУВАЛЬНОГО ВУЗЛА КАТОДА МАГНЕТРОНА З АВТОЕМІСІЙНИМ ЗАПУСКОМ

На сьогодні відсутні методики прогнозування довговічності катода і його працездатності при зниженій темпера-

турі навколишнього середовища, а висновок про задоволення вимогам технічних умов (ТУ) за цими параметрами оцінюється тільки за результатами натурних випробувань контрольної партії. У науковій літературі не існує єдиної точки зору на засоби визначення емісійної здатності матеріалу катода для приладів зі схрещеними полями. В зв'язку з цим є значні труднощі обґрунтування вибору параметрів катода для кожного конкретного приладу. Виконано дослідження різних партій матеріалу Pd–Ba, який застосовується в катодах серійних магнетронів. Перевірено умову переходу автоемісії у вибухову шляхом оцінки працездатності магнетрона при шпаруватості, що істотно перевищує вимоги ТУ. За результатами

дослідження зроблено висновок про існування кореляції між довговічністю магнетрона і його працездатністю при зниженій температурі. В якості критерію пропонується величина шпаруватості, що перевищує максимальне експлуатаційне значення і визначається експериментально, і при якій в нормальних кліматичних умовах реалізується вихід на робочий режим при першому включенні магнетрона. Отримана методика дозволяє здійснювати 100 % прогнозування виконання вимог ТУ з довговічності. Вона адекватна методиці перевірки на холодостійкість, але при нормальних кліматичних умовах.

Ключові слова: магнетрон, автоемісійний катод, вибухова емісія.