

НОВЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ЭМИССИОННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ КАТОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

© 2015 г. В.И. КАПУСТИН*, И.П. ЛИ, А.В. ШУМАНОВ

*Московского государственного университета информационных технологий,
радиотехники и электроники,
ОАО «Плутон», г. Москва
e-mail: Kapustin@mirea.ru

Введение

Основными параметрами катодного материала являются плотность тока термоэмиссии при рабочей температуре катода и изменение плотности тока термоэмиссии во времени. При этом универсальной характеристикой катодного материала служит величина работы выхода, а также температурный коэффициент работы выхода материала [1].

Известно, что все типы эффективных катодов являются эмиссионно-неоднородными, при этом требуется проведение этапа активирования катода, который включает прогрев катода в вакууме при повышенной температуре [2]. Известно также, что после изготовления металлопористого катода, процесс которого включает пропитку вольфрамовой матрицы аллюминатами бария-кальция при температуре 1850 °С, оксидная фаза катода представляет собой набор сложных оксидов бария – кальция – алюминия - вольфрама [3]. При этом этап активирования катодного материала с физико-химической точки зрения заключается в формировании кристаллитов оксида бария, содержащего определенную концентрацию кислородных вакансий. Таким образом, структуру неоднородного металлопористого катодного материала можно представить в виде, показанном на рис. 1, где цифрами обозначено: 1 – зерна вольфрама, 2 – зерна оксидной фазы (аллюминатов), 3 – зерна оксида бария, 4 – поры, а – средний размер зерен оксида бария, D – среднее расстояние между зернами оксида бария.

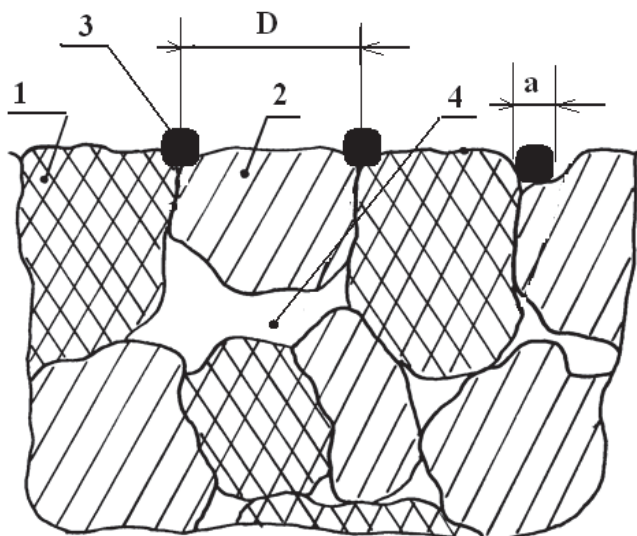


Рис. 1. Структура неоднородного металлопористого катодного материала.

Данная работа посвящена разработке методики, позволяющей определять средний размер центров термоэмиссии и среднее расстояние между центрами термоэмиссии неоднородного катодного материала, а также оценить параметры активирования центров термоэмиссии неоднородного катодного материала.

Установка для исследования термоэмиссии материалов

Установка для исследования параметров термоэмиссии катодных материалов собрана на базе универсального откачного поста УСУ-4. Образец исследуемого материала в виде таблетки диаметром 6,37 мм и толщиной 2 мм закрепляется в держателе, снабженном нагревателем и хромель-алюмелевой термопарой. На манипуляторе установки может быть одновременно установлено три держателя с образцами исследуемых материалов. Температура образца регулируется микропроцессорным терморегулятором в интервале температур 100 – 1200 °С с точностью 0,2 °С и шагом 1 °С. Анодный блок выполнен в виде металлокерамической конструкции с плоским молибденовым анодом, покрытым слоем никеля толщиной 3 мкм. Анод имеет измерительное отверстие диаметром 1 мм, за которым расположены антидинаatronная диафрагма и коллектор в виде цилиндра Фарадея. Потенциал антидинаatronной диафрагмы может устанавливаться с пульта управления в интервале – 100 ÷ + 100 В с шагом 1 В. Ускоряющее напряжение отрицательной полярности подается на образец и может регулироваться программно в диапазоне 0 ÷ 600 В с шагом в интервале 0,1 ÷ 5 В. Система регистрации тока цилиндра Фарадея обеспечивает регистрацию тока в интервале $2 \cdot 10^3 \div 2 \cdot 10^{-11}$ А, что в целом позволяет проводить прецизионные измерения термоэмиссионных параметров катодных материалов вплоть до очень низких значений температуры материалов. Для повышения точности измерений система автоматически проводит от двух до десяти накоплений с усреднением результатов измерений. Созданная измерительная система позволяет регистрировать зависимости тока термоэмиссии с катодного материала от ускоряющего напряжения, температуры и времени с визуализацией процесса в реальном времени на экране пульта управления и формированием XL-файла для последующей обработки результатов измерений.

Теоретическое обоснование методики

Термоэлектронная эмиссия с поверхности катода определяется электронной эмиссией с поверхности кристаллитов оксида бария и для области насыщения тока термоэмиссии величину регистрируемого тока можно представить в виде [4]

$$I = S \frac{a^2}{D^2} A_0 T^2 \exp \left[- \frac{\varphi - e \left(\frac{e(\varepsilon + 1)K_1}{4\pi\varepsilon_0(\varepsilon - 1)} \right)^{1/2} E^{1/2}}{kT} \right], \quad (1)$$

где S – площадь катода, с которой измеряется ток термоэмиссии, a – средний размер кристаллитов оксида бария, D – среднее расстояние между кристаллитами, k – постоянная Больцмана, T – температура, e – заряд электрона, φ – величина работы выхода материала, ε_0 – диэлектрическая постоянная, ε – высокочастотная диэлектрическая проницаемость оксида бария, E – напряженность поля в зазоре катод – анод без учета усиления поля у поверхности кристаллитов оксида бария, K_1 – константа, характеризующая усиление электрического поля у поверхности кристаллитов оксида бария, A_0 – постоянная Ричардсона. При этом истинная напряженность поля у поверхности кристаллитов E^* определяется константой K_1 и приложенным напряжением U

$$E^* = K_1 E = K_1 \frac{U}{d} \approx \frac{2U}{a} \quad (2)$$

где d – расстояние катод – анод, причем кристаллиты оксида бария для простоты рассматриваются как сферы с радиусом $r = a/2$. Обработка экспериментальных данных с учетом соотношений (1) и (2) позволяет определить величины a материала.

Для области ограничения тока пространственным зарядом вольт – амперная характеристика зазора катод – анод - описывается так называемым законом «трех – вторых»

$$I = K_2 \frac{(U - U_m)^{3/2}}{(d - x_m)^2}, \quad (3)$$

где x_m – расстояние от катода до минимума потенциала U_m в зазоре катод – анод.

Если расстояние x_m будет больше или равно среднему расстоянию между кристаллитами оксида бария D , то термоэмиссия с катода будет регистрироваться, как с квазиоднородного катода в режиме «плоского диода». Если же это расстояние будет меньше – термоэмиссия будет регистрироваться, как с набора острых катодов. То есть на вольт-амперной характеристике при изменении напряжения появится излом, по величине которого можно определить среднее расстояние между центрами эмиссии катодного материала с использованием теоретических соотношений [5].

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Предложенная методика была апробирована на примере стандартного металлопористого катода, полученного пропиткой вольфрамовой губки алюминатом состава $2,5BaO \cdot 0,4CaO \cdot Al_2O_3$. Измерения проведены в интервале температур $760 - 840$ °C. На рис. 2 приведена температурная зависимость величины работы выхода металлопористого катода, на рис. 3, а - температурная зависимость среднего размера активных центров на поверхности металлопористого катода, а на рис. 3, б – температурная зависимость среднего расстояния между активными центрами.

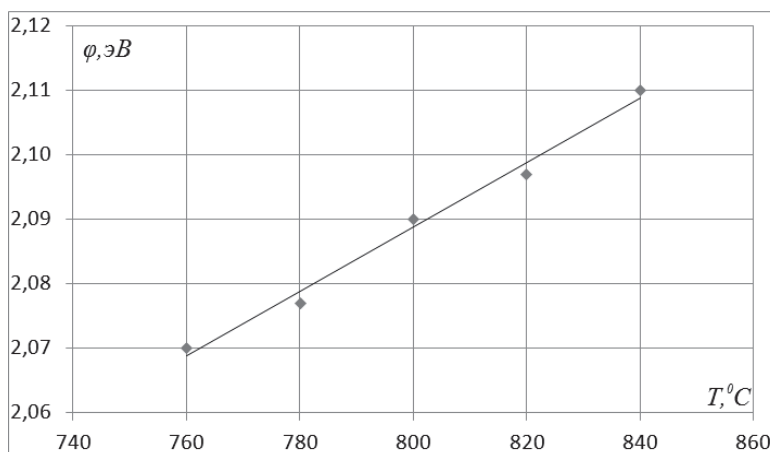


Рис. 2. Температурная зависимость работы выхода катода.

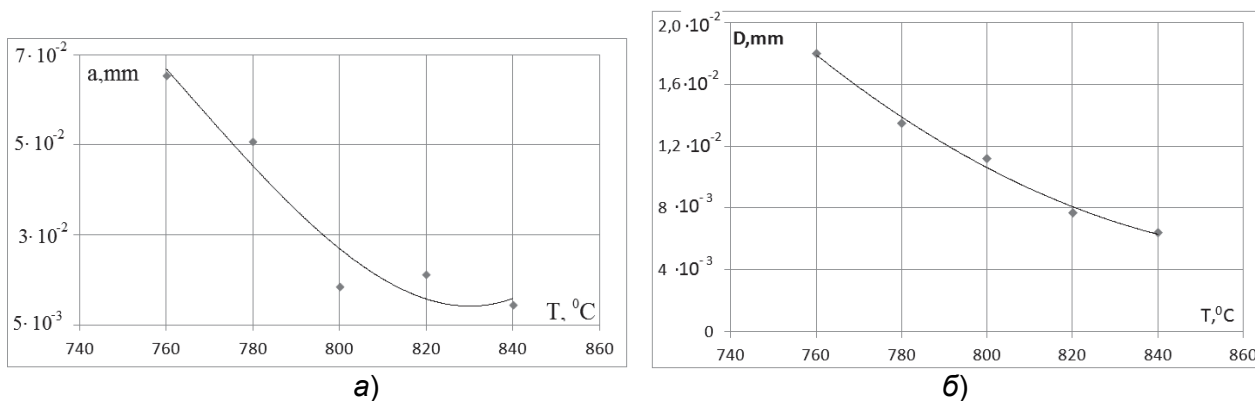


Рис. 3. Температурная зависимость среднего размера активных центров (а) и среднего расстояния между активными центрами термоэмиссии (б).

На рис. 4 приведены расчетные зависимости работы выхода оксида бария от концентрации кислородных вакансий при различных значениях температуры [6-7].

При измерении работы выхода катодного материала на основе оксида бария при каждом значении температуры реально регистрируется ток с участков, в которых концентрация кислородных вакансий соответствует минимуму на соответствующей кривой рис. 4. При увеличении температуры материала регистрируется ток термоэмиссии с участков, в которых концентрация кислородных вакансий выше, чем в предыдущем случае – и так далее. Это дает основание представить модифицированную модель структуры металлопористого катода, показанную на рис. 5.

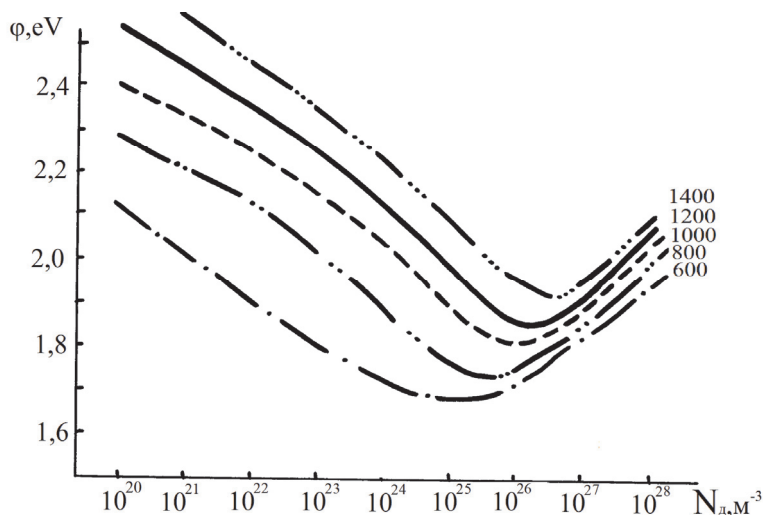


Рис. 4. Зависимости работы выхода оксида бария от концентрации кислородных вакансий.

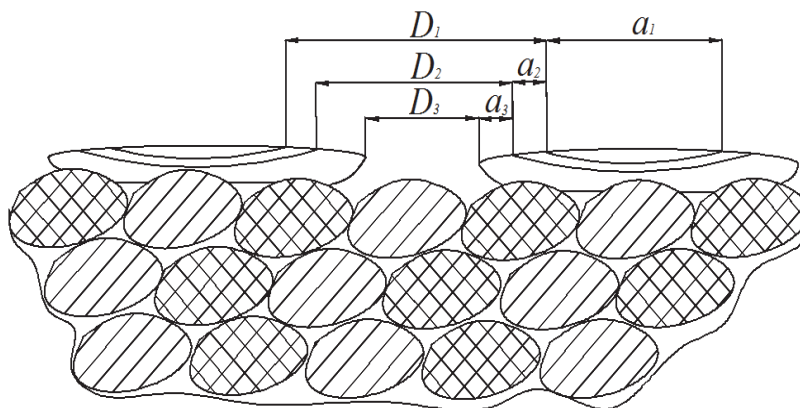


Рис. 5. Модифицированная модель структуры металлопористого катода.

На рис. 5 область a_1 оксида бария – область со сравнительно невысокой концентрацией кислородных вакансий, которая увеличивается при переходе к области a_2 и затем к области a_3 . Соответственно, с ростом температуры средний размер активных центров регистрируется в последовательности $a_1 \rightarrow a_2 \rightarrow a_3$, а среднее расстояние между активными центрами – в последовательности $D_1 \rightarrow D_2 \rightarrow D_3$.

Заключение

1. Разработана методика и аппаратура, позволяющие определять геометрические параметры активных центров термоэмиссии на поверхности катодных материалов

– средние размера активных центров термоэмиссии и средние расстояния между активными центрами.

2. Разработана методика прецизионных измерений работы выхода и температурного коэффициента работы выхода катодных материалов, которая позволяет регистрировать степень активирования активных центров термоэмиссии.

3. Разработанные методики могут быть использованы при разработке новых катодных материалов, технологий их изготовления и активирования, а также при серийном производстве катодов для их выборочного технологического контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Gartner G., Geintter P., Ritz A.* Emission properties of top-layer scandate cathodes prepared by LAD. // *Appl. Surf. Sci.* – 1997, № 111, pp. 11-17.
2. *Козлов В.И.* Технология и свойства металлопористых катодов для СВЧ приборов. // *Обзоры по электронной технике. Серия 1 «Электроника СВЧ».* – Москва. ЦНИИ «Электроника», 1980, Выпуск 6 (709), 66 с.
3. *Schoenbeck L.* Investigation of reactions between barium compounds and tungsten in a simulated reservoir hollow cathode environment. // *In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Master of Science in Materials Science and Engineering.* - Georgia Institute of Technology, February 2005, 118 p.
4. *Добрецов Л.Н., Гомоюнова М.В.* Эмиссионная электроника. – М.: Наука, 1966, 564 с.
5. *Царев Б.М.* Расчет и конструирование электронных ламп. – М.: Энергоиздат, 1961, 235 с.
6. *Капустин В.И.* Расчет температурной зависимости работы выхода окиси бария. // *Изв. АН СССР. Сер. Физ.* – 1991, т.55, №12, с. 2455-2458.
7. *Капустин В.И.* Физико-химические основы создания многокомпонентных оксидсодержащих катодных материалов. // *Перспективные материалы.*- 2000, № 2, с. 5-17.