

5. Савицкий Е.М., Буров И.В., Пирогова С.В., Литвак Л.Н. Электрические и эмиссионные свойства сплавов. - М.: «Наука». 1978. 294 с.
6. Dionne G. The model of secondary electron emission // J. Appl. Phys. 1973, v. 44. p.5361-5365.
7. Dionne G. Origin of secondary - electron emission yield curve parameters // J. Appl. Phys. 1975, v. 46. P. 3347-3351.
8. Бронштейн И.М., Фрайман Б.С. Вторичная электронная эмиссия. М.: «Наука». 1969. 408 с.
9. Капустин В.И. Физико-химические основы создания многокомпонентных оксидосодержащих катодных материалов // Перспективные материалы. 2000. № 2. С. 5 – 17.

Определение температуры катодно-подогревательных узлов в составе электронных вакуумных приборов и электронно-лучевого технологического оборудования

С.В. Королев

*Москва, ФГУП РФЯЦ ВНИИТФ им. Забабахина Е.И. филиал ВЭИ. Красноказарменная 12,
E-mail:svulm@list.ru*

Рассматривается бесконтактный метод измерения температуры катодов в составе приборов. Метод связан с определением спектра распределения эмиссионной неоднородности и измерением его смещения по шкале работы выхода при изменении температуры по сравнению с исходной.

Determination of temperature of cathode-heating units as a part of electronic vacuum devices and electron-beam processing equipment. S.V. Korolev. A non-contact method for measuring the temperature of the cathodes in the composition of devices is considered. The method is associated with the determination of the spectrum of the distribution of emission in homogeneity and the measurement of its displacement on the scale of the work function when the temperature changes compared to the original.

В последние годы область применения электронных пушек типа Пирса, становится все шире и шире, в особенности в качестве источника нагрева для устройств в составе линий осаждения из паровой фазы оксида металлов, таких как MgO и SiO₂, для напыления которых требуется долговременная стабильность параметров в течение более 300 часов.

Анализ причины нестабильности работы пушек Пирса, приводящий к дефокусировке электронного луча и в ряде случаев к выходу из строя электронных пушек [1], показывает, что эта нестабильность часто связана с нестабильностью температуры источника электронов.

Указанная выше проблема в [1] решается с помощью измерения температуры внутри электронной пушки и управление электронной пушкой типа Пирса в соответствии с измеренной температурой. Благодаря контролю температуры внутри электронной пушки и управлению электронным лучом в соответствии с температурой катода, удалось [1] существенно повысить продолжительность стабильной работы пушки, что в свою очередь позволило повысить производительность в четыре раза, предотвратить повреждение электронной пушки, а так же заблаговременно предотвращать дефекты продукта.

Традиционный способ измерения температуры катода с помощью пирометров не приемлем для устройств с непрозрачной оболочкой или в приборах с прозрачной оболочкой, но при наличии экранировки катода элементами конструкции.

Известен способ, позволяющий получить сведения о температуре катодов из ВАХ [3] ЭВП. Сущность этого способа заключается в том, что с помощью источника тока между анодом и катодом создается разность потенциалов, необходимая для работы датчика в режиме насыщения. Измерительная аппаратура позволяет измерить величину тока эмиссии в цепи

датчика и по его величине определить локальную температуру поверхности эмитирующего термокатода. Вольтамперная характеристика (ВАХ) устройства имеет начальный, линейный участки и участок насыщения. В режиме контроля температуры используется линейный участок насыщения ВАХ. Температура определяется по величине эмиссионного тока, регистрируемого измерительной аппаратурой в режиме насыщения, в соответствии с известной зависимостью:

$$I = AT^2 \cdot e^{-\frac{e\varphi}{kT}}$$

Температура определяется в результате решения трансцендентного уравнения

$$\ln \frac{I}{A} = 2 \ln T - \frac{e\varphi}{kT}$$

где A - константа, зависящая от свойств материала катода и электронно-оптической системы;
 T - измеряемая температура, в K ;

$e\varphi$ - работа выхода, эВ;

k - постоянная Больцмана.

Следует обратить внимание на зависимость температуры от величины константы A и работы выхода $e\varphi$.

Автор не дает рекомендации по определению константы A для геометрии реальных электронных приборов, и путает понятие работы выхода и эффективной работы выхода. Если первую величину работы выхода можно найти в справочниках [4], то методика определения эффективной работы выхода для реальных приборов не имеет строгого физического обоснования. Более того, эта величина зависит от эмиссионной неоднородности, не известна в предлагаемом решении и может изменяться в течение времени, внося неопределенность и ошибку в измерение температуры.

В отличие от известного решения для определения отклонения температуры от исходного значения:

зарегистрировать исходную вольтамперную характеристику на участке от режима пространственного заряда, до режима насыщения.

$$I(u) = \int_0^{\infty} K(u, \varphi) \cdot f(\varphi) d\varphi$$

Где $K(u, \varphi)$ -ядро интегрального уравнения, характеризующее электронно-оптическую систему устройства;

$f(\varphi)$ -функция распределения работы выхода (спектр распределения работы выхода)– дифференциальный закон распределения работы выхода.

Учитывая, что

$$I(u) = \int_0^{\infty} K(u, \varphi) \cdot \delta(\varphi - \varphi_0) d\varphi \rightarrow I(u) = K(u, \varphi_0)$$

$$\begin{bmatrix} J(u_1) \\ J(u_2) \\ \dots \\ J(u_{n-1}) \\ J(u_n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K(u_1, \varphi_1) & K(u_1, \varphi_2) & \dots & K(u_1, \varphi_{k-1}) & K(u_1, \varphi_k) \\ K(u_2, \varphi_1) & K(u_2, \varphi_2) & \dots & K(u_2, \varphi_{k-1}) & K(u_2, \varphi_k) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ K(u_{n-1}, \varphi_1) & K(u_{n-1}, \varphi_2) & \dots & K(u_{n-1}, \varphi_{k-1}) & K(u_{n-1}, \varphi_k) \\ K(u_n, \varphi_1) & K(u_n, \varphi_2) & \dots & K(u_n, \varphi_{k-1}) & K(u_n, \varphi_k) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} f(\varphi_1) \\ f(\varphi_2) \\ \dots \\ f(\varphi_{k-1}) \\ f(\varphi_k) \end{bmatrix} \cdot \Delta\varphi$$

определить элементы матрицы электронно-оптической системы

Используя ранее полученную информацию о температуре катода и геометрии прибора определить текущий спектр эмиссионной неоднородности, путём минимизации функционал Тихонова:

$$\vartheta = \int_{u_{min}}^{u_{max}} \left[\int_{\varphi_{min}}^{\varphi_{max}} K_h(u, \varphi) \cdot f(\varphi) d\varphi - j_{\delta}(u) \right]^2 du + \alpha \cdot \int_{\varphi_{min}}^{\varphi_{max}} \{ [f(\varphi)]^2 + [f'(\varphi)]^2 \} d\varphi$$

где $j_{\delta}(u)$ - экспериментальные значения токоотбора;

$K_h(u, \varphi)$ - ядро соответствующее электронно-оптической системе, в которой производится испытание;

$f(\varphi) \geq 0$, $f'(\varphi)$ - искомая функция распределения вместе со своей производной;
 α - параметр регуляризации, определяемый по обобщенной невязке:

$$\rho_{\eta}(\alpha) = \int_{u_{\min}}^{u_{\max}} \int_{\varphi_{\min}}^{\varphi_{\max}} [K_h(u, \varphi) \cdot f(\varphi) d\varphi - j_{\delta}(u)]^2 d\varphi du - \left\{ \delta + h \cdot \int_{\varphi_{\min}}^{\varphi_{\max}} \{[f(\varphi)]^2 + [f'(\varphi)]^2\} d\varphi \right\}^2 = 0$$

В дальнейшем, в ходе эксплуатации электронного устройства, с периодичностью необходимой пользователю, регистрировать вольтамперную характеристику, определять спектр распределения работы выхода, и сравнивать положение спектра с исходным спектром. Величина смещения полученного спектра $\Delta\varphi$. относительного исходного говорит об отклонении температуры на величину $\Delta T = k \cdot \Delta\varphi$. Температура катода $T = T_{\text{исх}} + \Delta T$

На рис. 1 приведен априорно заданный спектр, вольт-амперная характеристика для заданного спектра и результат определения спектра эмиссионной неоднородно из вольт-амперной характеристики.

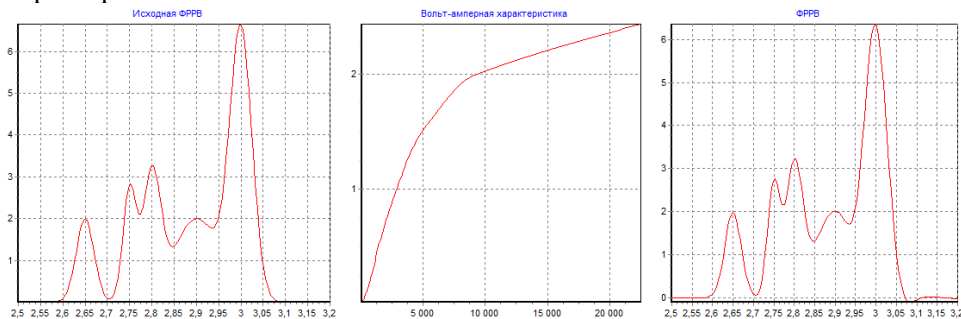


Рис. 1. Исходная функция распределения работы выхода (а), вольтамперная характеристика, построенная по априорной функции распределения (б) и восстановленная из вольтамперной характеристики функция распределения работы выхода.

Из рисунка видно, что используемый алгоритм позволяет адекватно определять спектр эмиссионной неоднородности из результатов эмиссионных испытаний.

На рис. 2 повторно задан тот же спектр распределения работы выхода для той же, как исходная электронно-оптическая система и увеличена на 30° температура катода. По заданному спектру и температуре определялась вольт-амперная характеристика, из которой определялся спектр распределения работы выхода. Так как температура повысилась, то спектр сместился влево на величину порядка 0.05 эВ. То есть для заданной электронно-оптической системы и рабочей температуре катода $\Delta T = 600 \cdot \Delta\varphi$

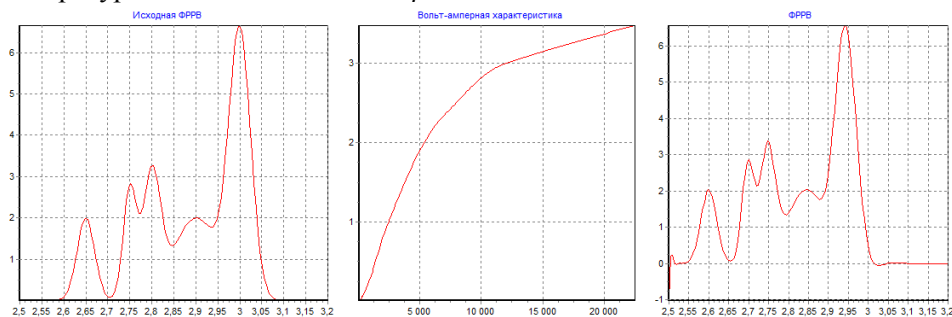


Рис. 2. Исходная функция распределения работы выхода (а), вольтамперная характеристика, построенная по априорной функции распределения (б) и восстановленная из вольтамперной характеристики функция распределения работы выхода. Температура поднялась на 30 градусов.

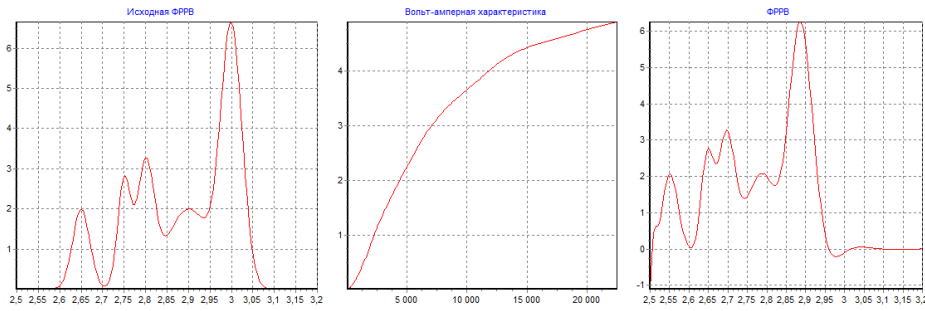


Рис. 3. Исходная функция распределения работы выхода (а), вольтамперная характеристика, построенная по априорной функции распределения (b) и восстановленная из вольтамперной характеристики функция распределения работы выхода. Температура поднялась на 60 градусов.

На рис. 2 температура отличалась от исходной температуры на 30⁰С. На рис.3 температура катода увеличилась на 60⁰С. Как видно из рисунков смещение спектра происходило влево, пропорционально отличию температуры от исходной температуры и удовлетворяет уравнению $\Delta T = 600 \cdot \Delta \varphi$.

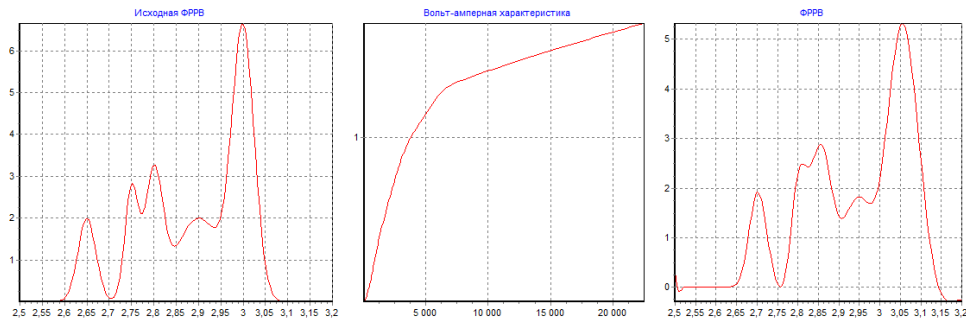


Рис. 4. Исходная функция распределения работы выхода (а), вольтамперная характеристика, построенная по априорной функции распределения (b) и восстановленная из вольтамперной характеристики функция распределения работы выхода. Температура опустилась на 30 градусов.

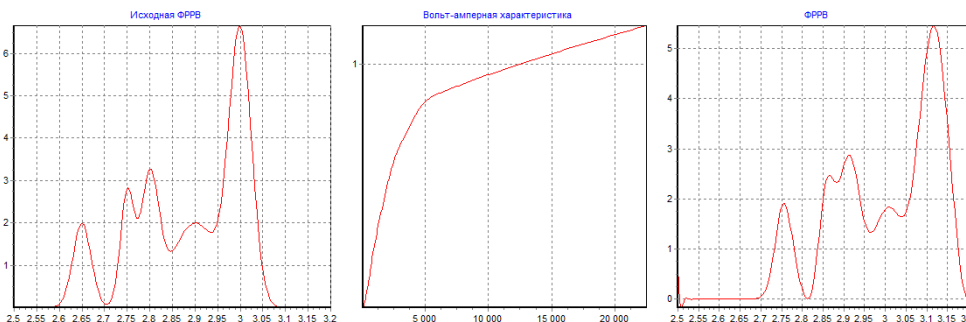


Рис. 5. Исходная функция распределения работы выхода (а), вольтамперная характеристика, построенная по априорной функции распределения (b) и восстановленная из вольтамперной характеристики функция распределения работы выхода. Температура опустилась на 60 градусов.

На рис. 4 температура отличалась от исходной температуры на 30⁰С в сторону уменьшения. На рисунке 5 температура катода уменьшилась по сравнению с исходной температурой на 60⁰С. Как видно из рисунков смещение спектра происходило влево, пропорционально отличию температуры от исходной температуры и удовлетворяет уравнению $\Delta T = 600 \cdot \Delta \varphi$.

Анализ результатов показывает перспективность применения предложенного метода.

Литература

1. Патент RU 2 449 409 ИИДЗИМА Эйити (JP), ШЭНЬ Гуо Хуа (JP), САТАКЕ Тохру (JP) Способ управления фокусировки электронного луча электронной пушки типа Пирса и управляющее устройство для нее. Опубликовано: 27.04.2012 Бюл. № 12.
2. Кудинцева Г.А. и др, Термоэлектронные катоды. М.-Л., Энергия . 1966, с. 27.
3. Козлов Л.Я., Фохтин А.Г., Фохтин В.Г., Карегин А.С., Левин М.Н. Патент РФ 2111462. Измеритель температуры. Патентообладатель Ракетно-космическая корпорация "Энергия" им. С.П. Королева. Публикация патента: 20.05.1998 .
4. Лингарт Ю.К., Шур Д.Л. Патент РФ 2030718 устройство для измерения температуры. публикация патента: 10.03.1995
5. В.С. Фоменко. Эмиссионные свойства материалов. Справочник. Киев. Наукова Думка. 1981. Стр. 338.
6. А.Н. Тихонов, В.В. Арсенин. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1979 г., 288 с.

Методика косвенной оценки вакуумного состояния отпаянных электровакуумных приборов

*П.О. Предтеченский, *Л.Л. Колесник*
*Москва, АО «Плутон», *МГТУ им.Н.Э.Баумана*
Нижняя Сыромятническая ул., 11, корп. 1
e-mail: po.pred@yandex.ru

В статье описана методика оценки вакуума в электровакуумном приборе после его отпайки. Описана теоретическая основа метода упругих столкновений, а также приведены экспериментальные данные по оценке вакуума в приборе на примере типового магнетрона.

Method of indirect estimation of the vacuum state of sealed electrovacuum devices. P.O.Predtechenskiy, L.L.Kolesnik. The methodology for estimating vacuum in an electrovacuum device after its sealing is described. The theoretical basis of the elastic collision method is presented, as well as experimental data are given for estimating the vacuum in the device using the example of a typical magnetron.

На данный момент существует несколько методик по оценке вакуумного состояния в отпаянных приборах, но ни одна из них не применяется для контроля приборов после их изготовления, что обусловлено низкой степенью их проработанности. Единственным широко используемым способом измерения вакуума в отпаянных приборах является встраивание в прибор миниатюрного магниторазрядного насоса. Разработка методики оценки вакуумного состояния отпаянных электровакуумных приборов позволяет определить значение давления в приборе после его откачки и заварки. Это позволит повысить надежность поставляемых изделий, а также позволит контролировать вакуум в изделии в процессе длительного хранения прибора и во время его эксплуатации.

Теоретическая основа

В основу метода положено упругое рассеяние электронов на молекулах остаточных газов при движении электронов в скрещенных электрическом и магнитном полях. На рис. 1