

УДК 621.385.7

А. П. КИСЛИЦЫН

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина***КОНТРОЛЬ ЭМИССИОННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТЕРМОКАТОДА В ПРОЦЕССЕ ЭМИССИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ**

*Представлены результаты анализа эмиссионно-неоднородной (пятнистой) поверхности термокатода. Учитывается наличие двух сортов пятен. Влияние контактного поля пятен на величину анодного тока диода рассматривается как перехват электронов пятнами, имеющими бóльшую работу выхода. В качестве характеристики, определяющей этот процесс, предлагается параметр перехвата. Использование компьютерного моделирования эмитирующей поверхности, имеющей два сорта пятен, и параметра перехвата, определяемого из эксперимента, дает возможность найти значения работы выхода пятен и значения долей поверхности, занимаемых этими пятнами.*

**Ключевые слова:** термокатод, ток эмиссии, пятнистая поверхность, параметр перехвата, работа выхода электрона.

**1. Общая постановка проблемы и её связь с научно-практическими задачами**

Термокатоды являются неотъемлемым элементом разнообразных электровакуумных и газоразрядных устройств, широко используемых в авиационно-космической технике и современных технологических процессах [1 – 3]. Поиск катодных материалов, обладающих высокой эмиссионной способностью, представляет постоянный повышенный интерес в рамках эмиссионной электроники. Наряду с этим, для катодов СВЧ устройств важным параметром является эмиссионная однородность их рабочей поверхности. Неоднородность поверхности существенно влияет на высокочастотные шумы этих устройств [4]. В свою очередь, шумы заметно ухудшают рабочие характеристики устройств. Таким образом, контроль эмиссионной однородности поверхности катодов непосредственно в процессе эмиссионных испытаний и в работающих электровакуумных устройствах является достаточно важной задачей эмиссионной электроники.

**2. Обзор публикаций и анализ нерешенных проблем**

Новая генерация высокоэмиссионных высокотемпературных катодов, позволяющих получать плотности термоэмиссионного тока до  $300 \text{ А/см}^2$  и более, представляет собой материалы на основе скандатов и гафнатов бария (см., например, [5 – 7]). Эти материалы являются композиционными, т.е. состоящими из различных компонент. Так, высокоэмиссионные материалы на основе гафната бария (бария-стронция) изготавливаются из смеси высоко-

дисперсных порошков гафната ЩЗМ и вольфрама. Эта смесь в последующем гомогенизируется, пресуется под высоким давлением и спекается в инертной среде. Получаемый материал оказывается зернистым (неоднородным), а эмитирующая поверхность катода представляет собой определенный набор пятен, обладающих различной работой выхода. Термообработка катода и процесс активирования приводит к улучшению его эмиссионных свойств и снижению исходной неоднородности поверхности. Исследования эмитирующей поверхности, изменений неоднородности этой поверхности в процессе испытаний и работы катодов являются весьма важными для установления механизмов, обеспечивающих эмиссионную активность катода, прогноза его рабочих характеристик.

Контроль эмиссионной неоднородности рабочей поверхности катода наиболее просто осуществляется в термоэмиссионном микроскопе. Однако особенность конструкции и допускаемый температурный режим таких установок не позволяет проводить исследования высокотемпературных катодных материалов обеспечивающих плотность тока эмиссии  $100 \text{ А/см}^2$  и выше. По этой причине получили развитие косвенные методы контроля эмиссионных неоднородностей.

В [8] предложен подход к определению эмиссионной неоднородности исследуемых катодов, основанный на сопоставлении реальной и модельной вольтамперных характеристик диодов. Для модельной эмитирующей поверхности вводится функция распределения элементов поверхности по возможным эмиссионным состояниям (плотностям эмиссионных токов) –  $F(j_n)$ . Предполагается независимая эмиссия пятен и переход каждого из них в режим насыщения при определенном значении анодного

напряжения. При этом плотность эмиссионного тока пятна, работающего в режиме насыщения, не зависит от анодного напряжения. В рамках таких представлений показано, что вторая производная модельной вольтамперной характеристики с точностью до постоянного множителя равна функции  $F(j_n)$ . Нормированная функция для нормированной плотности измеренного эмиссионного тока, как отмечается в работе [8], во многих случаях хорошо описывается нормальным законом распределения. При этом среднеквадратичное отклонение в получаемом из эксперимента распределении предлагается использовать в качестве параметра эффективной эмиссионной неоднородности. Наряду с этим, автором еще показана связь между зависимостями нормированной функции и амплитудой шумов (при фиксированной частоте) от нормированной плотности тока.

Идеи, описанные выше, в последующем были развиты. В [9] предложен косвенный метод контроля эмиссионной неоднородности термокатода по характеристикам низкочастотных шумов. Но этот метод требует использования специфического прецизионного малошумящего оборудования. В [10] показана возможность восстановления функции распределения работы выхода (ФРПВ), учитывающей статистически неоднородное состояние поверхности, по измерениям эмиссионных токов в электровакуумных устройствах. В рамках такого подхода эмиссионный ток описывается уравнением Фредгольма 1-го рода. Решение обратной задачи Фредгольма, т.е. определение ФРПВ на основании результатов эмиссионных испытаний, требует применения специальных алгоритмов, связанных с использованием априорной информации, или путем минимизации функционала Тихонова [11]. При этом удовлетворительные результаты по восстановленной ФРПВ достигались в случае прецизионных измерений эмиссионных токов. В [12] было показано, что адекватное восстановление функции распределения работы выхода в диапазоне 1 эВ из результатов эмиссионных испытаний возможно при регистрации эмиссионных токов с погрешностью порядка 0,001%. Кроме того, компьютерное моделирование, представленное в [13], показало, что не только эмиссионные способности пятен, но еще и их расположение на эмитирующей поверхности оказывает влияние на вид вольтамперной характеристики модельного плоского диода конечных размеров.

Таким образом, определение неоднородности эмитирующей поверхности непосредственно в работающем устройстве по термоэмиссионным токам продолжает оставаться актуальной задачей, особенно для измерений, не требующих использования специального прецизионного оборудования.

### 3. Цель исследований

Целью работы явился поиск алгоритма обработки экспериментальных зависимостей термоэмиссионного тока от анодного напряжения, который бы обеспечивал оперативную информацию о неоднородности рабочей поверхности катода и не требовал прецизионных измерений.

### 4. Результаты исследований

Рабочую поверхность термокатода рассматриваем и анализируем как пятнистую поверхность. ФРПВ упрощаем и учитываем только два сорта пятен с работами выхода  $\phi_1$  и  $\phi_2$  ( $\phi_1 < \phi_2$ ). В отличие от [8, 10, 12], будем считать, что эффективная площадь наиболее эмиссионно активных пятен не остается постоянной при изменениях анодного напряжения.

Как и в работах [8 – 13], предполагаем, что работа выхода для каждого из пятен, приведенная к нулевому полю, не изменяется в процессе измерений, а температура поверхности остается постоянной. Эмиссионный ток  $i$ -го сорта пятен при нулевом поле у поверхности катода ( $I_{0,i}$ ) описывается формулой Ричардсона-Дешмана

$$I_{0,i} = S_i j_{0i} = S_i A_0 T^2 \exp\left(-\frac{e\phi_i}{kT}\right), \quad (1)$$

где  $S_i$  - площадь эмитирующей поверхности, занятая пятнами сорта  $i$ ;  $j_{0i}$  - плотность эмиссионного тока с пятна сорта  $i$  при нулевом поле у поверхности катода;  $A_0$  - термоэмиссионная постоянная;  $T$  - температура поверхности;  $e$  - элементарный заряд;  $k$  - постоянная Больцмана.

Рассматриваем диод, работающий в режиме насыщения, когда вблизи катода отсутствует электронное облако, ограничивающее поток электронов на анод. Анализируем ситуации с плоской геометрией электродов. Такая геометрия наиболее распространена при проведении эмиссионных испытаний новых материалов. В этом случае при отборе электронного тока от катода, пренебрегая микрорельефом его поверхности, напряженность поля у поверхности катода можно считать равной

$$E = \frac{U_a}{d},$$

где  $U_a$  - анодное напряжение,  $d$  - величина зазора между катодом и анодом.

Наличие электрического поля у поверхности катода уменьшает потенциальный барьер для выходящих электронов. Это приводит к тому, что увеличение напряженности поля у поверхности катода влечет за собой увеличение эмиссионного тока, т.е. отсутствует абсолютное насыщение. Такое абсолютное насыщение отсутствует как для всей по-

верхности, так и для отдельных ее пятен. Для однородной эмитирующей поверхности влияние напряженности электрического поля (нормальный эффект Шоттки) может быть отображено зависимостью

$$I_{em} = I_{0em} \cdot \exp\left(\frac{1}{kT} \sqrt{\frac{eE}{\epsilon_0}}\right) = I_{0em} \cdot \exp(\beta \sqrt{U_a}), \quad (2)$$

где  $I_{0em}$  – эмиссионный ток при нулевой напряженности поля у поверхности катода,  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная.

Если эмитирующая поверхность пятнистая, как это имеет место в рассматриваемом случае, то различие работ выхода из пятен приводит к появлению контактного электрического поля по границам разнородных пятен. Это контактное поле влияет на эмиссию электронов непосредственно с пограничных областей пятен. Часть электронов, эмитированных пятнами сорта «1», перехватывается контактным полем пятен, в результате чего они перемещаются к пятнам сорта «2». Это приводит к уменьшению величины суммарного эмиссионного тока с поверхности катода. Увеличение анодного напряжения сопровождается увеличением напряженности внешнего поля и уменьшением влияния контактного поля (происходит раскрытие поля пятен). В результате у пятнистых катодов темп роста эмиссионного тока при увеличении анодного напряжения оказывается выше, чем у однородных, до тех пор, пока влияние поля пятен не будет скомпенсировано внешним полем полностью. Такой механизм влияния разнородных пятен на величину анодного тока формально можно отобразить следующим образом

$$I_a = I_k = I_{em} = I_{id} - I_{int}, \quad (3)$$

где  $I_a$  – измеренный эмиссионный ток;  $I_k$  – ток катода, определяемый электронами покинувшими катод;  $I_{id}$  – идеализированный ток, который бы имел место в отсутствие перехвата электронов;  $I_{int}$  – перехваченный ток, т.е. заряд электронов, которые ежесекундно перехватываются контактным полем пятен.

Идеализированный ток ( $I_{id}$ ) можно представить суммой эмиссионных токов, испущенных пятнами независимо друг от друга при данном анодном напряжении. Площади пятен в идеализированном состоянии соответственно равны  $S_{01}$  и  $S_{02}$ . Их сумма равна площади эмитирующей поверхности катода ( $S_k = S_{01} + S_{02}$ ), что позволяет записать

$$I_{id} = I_{em1} + I_{em2} = S_{01} j_{em1} + S_{02} j_{em2}. \quad (4)$$

Переходя к плотностям токов, разделим выражение (4) на площадь катода  $S_k$  и введем доли поверхности катода, занятые соответствующими пятнами ( $s_{01}$  и  $s_{02}$ ), причем  $s_{01} + s_{02} = 1$ . Учитывая эффект Шоттки для каждого из пятен, идеализированную плотность тока можно записать в виде

$$j_{id}(U_a) = (s_{01} j_{01} + s_{02} j_{02}) \exp(\beta \sqrt{U_a}). \quad (5)$$

Ток перехвата ( $I_{int}$ ), в соответствии с представлениями, описанными выше, можно записать

$$I_{int} = S_{int} j_{01} = S_k s_{int} j_{01}, \quad (6)$$

где  $S_{int}$  и  $s_{int}$  – соответственно площадь и доля поверхности пятен сорта «1», с которых электроны не поставляются в общий электронный поток, идущий от катода к аноду.

В рамках предлагаемого рассмотрения эффективная площадь пятен сорта «1» зависит от анодного напряжения  $S_1 = S_1(U_a)$ , поскольку от него зависит площадь, с которой осуществляется перехват электронов  $S_{пер} = S_{пер}(U_a)$ . При этом

$$S_{01} = S_1(U_a) + S_{int}(U_a) \text{ и } s_{01} = s_1(U_a) + s_{пер}(U_a).$$

Влияние контактного поля на эмиссию пятен сорта «2» учитывать не будем.

В рамках таких представлений для плотности эмиссионного тока (тока отбираемого с катода)

$$I_k(U_a) = (I_{0id} - S_{int}(U_a) j_{01}) \cdot \exp(\beta \sqrt{U_a}). \quad (7)$$

Идеализированное состояние эмиссионной системы имеет место в том случае, когда  $S_{int} = 0$ , т.е. контактные поля пятен полностью скомпенсированы внешним полем. К такому состоянию эмитирующая поверхность будет приближаться при высоких анодных напряжениях. Будем считать, что при некотором анодном напряжении  $U_{max}$  контактные поля пятен раскрыты полностью и тогда

$$I_{id}(U_{max}) = I_k(U_{max}),$$

из чего следует

$$\begin{aligned} I_{id}(U_a) &= I_{0id} \cdot \exp(\beta \sqrt{U_a}) = \\ &= I_k(U_{max}) \cdot \exp\left[\beta \left(\sqrt{U_a} - \sqrt{U_{max}}\right)\right]. \end{aligned} \quad (8)$$

Проведенный анализ иллюстрируется экспериментальными данными, представленными на рис. 1. Здесь отображены зависимости плотности тока (термоэмиссионного и идеализированного) от анодного напряжения, для композиционного материала  $Ba_{0,5}Sr_{0,5}HfO_3 + W$ . Превышение идеализированной плотности тока над термоэмиссионной при одном и том же анодном напряжении является плотностью тока перехвата.

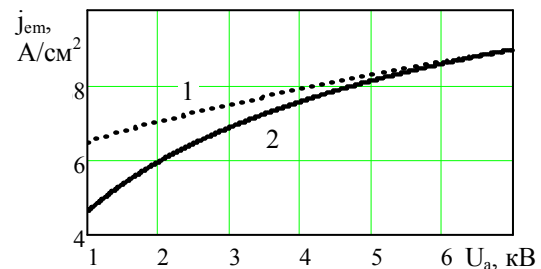


Рис. 1. Зависимость плотности термоэмиссионного тока от анодного напряжения:

1 – идеализированная,  
2 – катод  $Ba_{0,5}Sr_{0,5}HfO_3 + W$ ,  $T = 1788 \text{ K}$

При таком рассмотрении процессов естественно описывать влияние пятен на величину эмиссионного тока параметром перехвата, характеризующим долю эмиссионного тока, перехваченного контактным полем пятен:

$$P_{int}(U_a) = \frac{I_{int}(U_a)}{I_{id}(U_a)} = \frac{I_{id}(U_a) - I_k(U_a)}{I_{id}(U_a)} \quad (9)$$

или переходя к плотностям токов с учетом (3), (5) и (7) получим

$$P_{int}(U_a) = \frac{s_{int}(U_a) \cdot j_{01}}{s_{01}j_{01} + s_{02}j_{02}} \quad (10)$$

Здесь  $s_{01}$  и  $s_{02}$  – доли поверхности катода, занятые пятнами соответствующих сортов,  $s_{int}(U_a)$  – доля поверхности катода, с которой электроны перехватываются и не участвуют в общем токопереносе на анод.

В тех случаях, когда контактная разность потенциалов между пятнами ( $\Delta_{крп} = \phi_2 - \phi_1$ ) оказывается больше 1 В, а доли площадей поверхности катода  $s_{01} \sim s_{02}$ , выражение (10), определяющее параметр перехвата, упрощается

$$P_{int}(U_a) \approx \frac{s_{int}(U_a)}{s_{01}} \quad (11)$$

и позволяет дать этому параметру простую интерпретацию, а именно:  $P_p(U_a)$  – характеризует долю поверхности пятен сорта «1», не участвующей в обеспечении общего анодного тока.

На рис. 2 приведена зависимость параметра перехвата от анодного напряжения для катода  $Ba_{0,5}Sr_{0,5}HfO_3 + W$ , эмиссионная характеристика которого отображена на рис. 1. Из рисунка видно, что при анодных напряжениях 6,5 кВ и выше параметр перехвата равен нулю, т.е. 6,5 кВ для данного катода является тем критическим напряжением, выше которого все электроны, эмитированные катодом, достигают анода. Кроме того, зависимость, представленная на рис. 2, позволяет говорить о том, что при напряжении 1 кВ только около 70% поверхности, занятой пятнами сорта «1», обеспечивает поставку электронов в общий анодный ток.

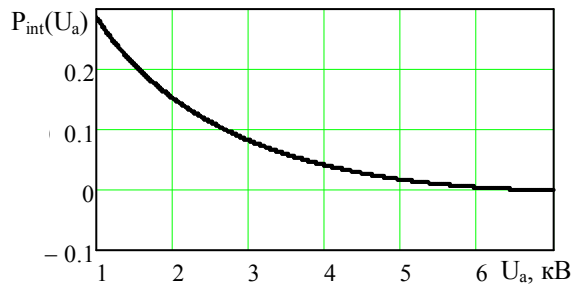


Рис. 2. Зависимость параметра перехвата от анодного напряжения для  $Ba_{0,5}Sr_{0,5}HfO_3 + W$  катода при температуре поверхности 1788 К

Для последующих рассмотрений был проведен компьютерный анализ модельной эмиссионной системы, состоящей из двух сортов частиц. Осредненная по поверхности работа выхода ( $\phi_{cp}$ ) такой системы равна

$$\phi_{cp} = \phi_1 - \frac{kT}{e} \ln s_1 - \frac{kT}{e} \ln \left( 1 + \frac{s_{02}}{s_1} \exp \left( -\frac{e\Delta_{крп}}{kT} \right) \right) \quad (12)$$

Отсюда видно, что при контактной разности потенциалов между пятнами ( $\Delta_{крп} = \phi_2 - \phi_1$ ), превышающей  $\approx 1$  эВ, и, когда доля поверхности  $s_1$  не стремится к нулю,  $\phi_{cp}$  определяется главным образом работой выхода и долей пятен, обладающих наименьшей работой выхода, т.е.  $\phi_1$  и  $s_1$ . В этом случае пятна второго сорта оказывают очень слабое влияния на величину  $\phi_{cp}$ , как это видно из рис. 3.

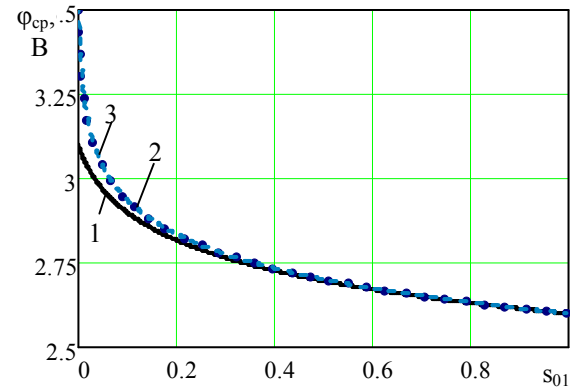


Рис. 3. Зависимость осредненной по поверхности работы выхода модельного пятнистого катода от доли пятен сорта «1» для различных значений  $\Delta_{крп}$  при  $\phi_1 = 2,6$  эВ и  $T = 1700$  К:

1 –  $\Delta_{крп} = 0,5$  В; 2 –  $\Delta_{крп} = 0,9$  В; 3 –  $\Delta_{крп} = 1,1$  В

Слабое влияние работы выхода пятен «2» на величину осредненной работы выхода объясняется малым вкладом этих пятен в общий эмиссионный ток поверхности катода.

Такое же слабое влияние пятен сорта «2» наблюдается и в тех случаях, когда работа выхода для самих пятен оказывается зависящей от температуры. Результаты моделирования для такой ситуации представлены на рис. 4.

Результаты компьютерного анализа свидетельствуют о том, что величина осредненной по поверхности работы выхода может использоваться для приближенной оценки работы выхода эмиссионно-активных пятен. Такая оценка вполне оправдана в качестве начального значения  $\phi_1$  при проведении уточняющих расчетов характеристик пятнистой эмитирующей поверхности.

Теоретический анализ, анализ экспериментальных данных и компьютерный анализ модельной эмиссионной системы, состоящей из двух сортов частиц, позволили организовать процедуру опреде-

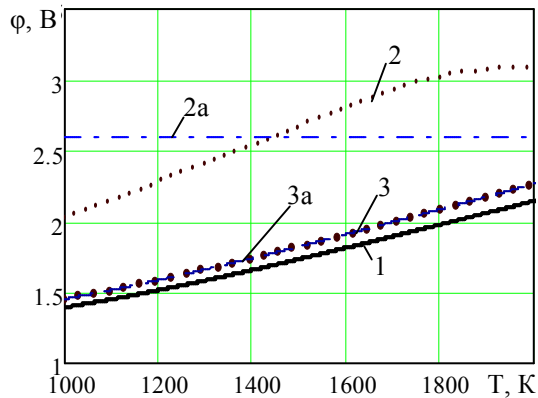


Рис. 4. Температурная зависимость работы выхода индивидуальных пятен и осредненной поверхности в случае изменяющихся работ выхода пятен при  $s_{01} = 0,5$ :  
 1 –  $\varphi_1(T)$ ; 2 –  $\varphi_2(T)$ ; 2a –  $\varphi_{2a} = 2,6$  В;  
 3 –  $\varphi_{cp}$  для  $(\varphi_1 + \varphi_2)$ ; 3a –  $\varphi_{cp}$  для  $(\varphi_1 + \varphi_{2a})$

ления идеализированных параметров, которые могут быть использованы в качестве характеристик реальной эмитирующей системы. К таким параметрам относим:

–  $s_{01}$  и  $s_{02}$  – доли эмитирующей поверхности, занятые пятнами сортов «1» и «2»;

–  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  – работы выхода для пятен сортов «1» и «2».

Определение параметров осуществлялось путем минимизации функционала, являющегося разностью между измеренной плотностью тока  $j_k(U_a)$  и модельной  $j_m(\varphi_1, s_{01}, \varphi_2, s_{02}, f(U_a))$

$$F(j_k(U_a), \varphi_1, s_{01}, \varphi_2, s_{02}) = [j_k(U_a) - j_m(\varphi_1, s_{01}, \varphi_2, s_{02}, f(U_a))],$$

в котором  $j_k(U_a)$  соответствует (6), а доля площади перехвата  $s_{пер}(U_a) = s_{01}f(U_a)$ , где  $f(U_a)$  – аппроксимирующая функция для параметра перехвата.

Некоторые зависимости рассогласования экспериментальной и модельной плотностей тока в зависимости от анодного напряжения представлены на рис. 5.

Эти зависимости свидетельствуют о регулярном приближении рассогласования к нулю, т.е. о приближении значений параметров к своим значениям, соответствующим результатам измерений.

В результате многопараметрических итераций, направленных на минимизацию функционала, получены следующие значения параметров:

$$s_{01} = 0,2096; s_{02} = 0,7904; \\ A_1 = 2,55 \text{ эВ}; A_2 = 4,1 \text{ эВ}.$$

Эти значения имеют вполне разумные величины, что свидетельствует о правомерности предлагаемого подхода к анализу эмиссионной неоднородности рабочей поверхности катода.

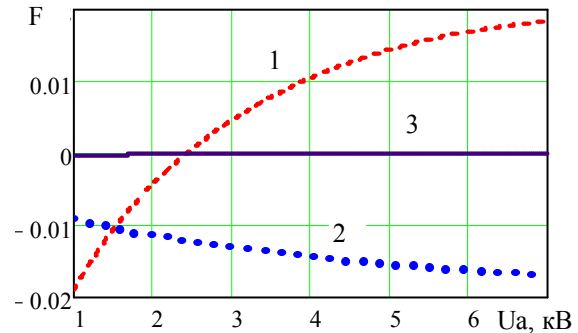


Рис. 5. Зависимость рассогласования токов измеренного и модельного от анодного напряжения.

Этапы итерационного приближения:

1 –  $s_{01} = 0,206$ ;  $\varphi_1 = 2,55$  В;  $\Delta_{крп} = 0,85$ ;

2 –  $s_{01} = 0,21$ ;  $\varphi_1 = 2,55$  В;  $\Delta_{крп} = 1,55$ ;

3 –  $s_{01} = 0,2096$ ;  $\varphi_1 = 2,55$  В;  $\Delta_{крп} = 1,55$

## Выводы

Проведенный анализ пятнистой эмиссионной системы позволяет ввести для ее характеристики параметр перехвата, который определяется из экспериментальных данных и определяет долю поверхности эмиссионно-активных пятен, не участвующую в формировании общего электронного потока с катода на анод. Наряду с этим, параметр перехвата, а точнее его зависимость от анодного напряжения, несет информацию о характере раскрытия пятен, что может зависеть от вида неоднородности поверхности: гладкая или рельефная.

Компьютерное моделирование пятнистой эмитирующей поверхности и опробование алгоритма обработки экспериментальных данных позволяют утверждать, что данный подход может обеспечить получение информации о пятнах неоднородной эмитирующей поверхности.

Данный подход не требует проведения прецизионных измерений и может быть использован для оперативного контроля неоднородности поверхности в процессе эмиссионных испытаний катодных материалов.

**Автор выражает искреннюю благодарность д-ру техн. наук, проф. А. А. Тарану за полезные дискуссии при подготовке статьи.**

## Литература

1. Шулов, В. А. Перспективы применения сильноточных импульсных электронных и ионных пучков в авиационном двигателестроении [Текст] / В. А. Шулов // Сб. науч. трудов Научная сессия МИФИ–2003. – М. : МИФИ, 2003. – Т. 9. – С. 56–59.
2. Перспективные радиационно-пучковые технологии обработки материалов [Текст] : учебник / В. А. Грибков, Ф. И. Григорьев, Б. А. Калинин.

В. Л. Якушин ; под ред. Б. А. Калина. – М. : Круглый год, 2001. – 528 с.

3. Emission materials for discharge lamps and methode for manufacturing electrode structures with such materials [Text] : US Pat. 5744905: Int. Class H01J 1/62 / V. Mehrotra, H. S. Betrabet, D. R. Woodward et al. ; Assignee: Philips Electronics North America Corporation, New York, N.Y. – № 363182; appl. 23.12.1994 ; publ. 28.04.1998.

4. Ашкинази, Л. А. Материалы электронных эмиттеров. Ч. II. [Текст] : учеб. пособие / Л. А. Ашкинази, В. С. Петров. – М. : Моск. гос. ин-т электроники и математики, 1997. – 68 с.

5. Investigation and application of impregnated scandate catode [Text] / J. Li, S. Yua, W. Shao et al. // Appl. Surf. Sci. – 2003. – Vol. 215, № 1-4. – P. 49 – 53.

6. Development of high current density cathodes with scandia-doped tungsten powders [Text] / Y. Wang, J. Wang, W. Lin et al. // IEEE Trans. Electron Devices. – 2007. – Vol. 54, № 5. – P. 1061 – 1074.

7. Исследования композиционного материала на основе  $Ba_{0,5}Sr_{0,5}HfO_3$  с вольфрамом. Часть 1. Термоэмиссионные свойства [Текст] / А. П. Кислицын, А. А. Таран, П. А. Комозынский, С. С. Орданьян // Авиационно-космическая техника и технология. – 2013. – №5 (102). – С. 26 – 31.

8. Ходневич, С. П. Определение эмиссионной неоднородности поверхности реальных катодов по

вольтамперным характеристикам [Текст] / С. П. Ходневич // Электронная техника, сер. 1, Электроника СВЧ. – 1969. – № 4. – С. 119-130.

9. Воробьев, М. Д. Шумовая диагностика термокатодов в составе электронно-лучевой пушки [Текст] / М. Д. Воробьев, Д. Н. Юдаев // Прикладная физика. – 2010. – № 5. – С. 60–65.

10. Ермилов, А. Н. Токоотбор в мощных СВЧ-приборах с учетом эмиссионной неоднородности термокатодов [Текст] / А. Н. Ермилов, Д. С. Королев // Электронная техника, сер. 1, СВЧ-техника. – 2010. – Вып. 4(507). – С. 37-45.

11. Тихонов, А. Н. О некорректных задачах линейной алгебры и устойчивом методе их решения [Текст] / А. Н. Тихонов // ДАН СССР. – 1965. – Т. 163, № 3. – С. 591-594.

12. Королев, Д. С. Метод контроля параметров эмиссионных материалов СВЧ устройств в процессе их производства и эксплуатации [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.12.07 ; защищена 29.09.11 ; утв. 28.12.11 / Королев Дмитрий Сергеевич. – М., 2011. – 239 с.

13. Глумова, М. В. Исследование влияния эмиссионной неоднородности катода на вольтамперные характеристики электронных приборов [Текст] / М. В. Глумова, М. Д. Воробьев // Ученые записки ТНУ. – 2001. – № 14 (53). – С. 41-46.

Поступила в редакцию 20.05.2015, рассмотрена на редколлегии 17.06.2015

## КОНТРОЛЬ ЕМІСІЙНОЇ НЕОДНОРІДНОСТІ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ТЕРМОКАТОДІВ ПІД ЧАС ЕМІСІЙНИХ ВИПРОБУВАНЬ

О. П. Кислицын

Наведено результати аналізу емісійно-неоднорідної (плямистої) поверхні термокатоду. Враховується наявність двох сортів плям. Вплив контактного поля плям на значення анодного струму діода розглядається як перехоплення електронів плямами, які мають більшу роботу виходу. В якості характеристики, що визначає цей процес запропоновано параметр перехоплення. Використання комп'ютерного моделювання емітуючої поверхні, яка має два сорти плям, та параметра перехоплення, який визначається з експерименту, надає можливість визначити роботу виходу плям та значення часток поверхні, які вони займають.

**Ключові слова:** термокатод, струм емісії, плямиста поверхня, параметр перехоплення, робота виходу електрона.

## EMISSION INHOMOGENITY CONTROL OF THE THERMIONIC CATHODE WORKING SURFACE DURING EMISSION TESTS

A. P. Kyslytsyn

The analysis results of emissive no uniform (patchy) surface of thermionic cathode are presented. The presence of two kinds of patches had taken into account. The effect of patches contact field on the value of anode current in a diode is considered as electron interception leg patches with the greater work function. In the capacity of the characteristic which determinates this process interception parameter is proposed. The use of a computer simulation of the emitting surface with two kinds of patches and parameter of interception from the experiment makes possible to detect the values of patches work function and fractions of surface with these patches.

**Key words:** thermionic cathode, emission current, patchy surface, interception parameter, electron work function.

**Кислицын Александр Петрович** – канд. техн. наук, доцент, доцент каф. физики, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: apkyslytsyn@mail.ru.