

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОПЕРВЕАНСНЫХ ТРЕХЭЛЕКТРОДНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУШЕК*

Н. С. Зинченко, А. С. Тищенко

Харьков

Известно исследование влияния изменений температуры катода на величину анодного тока в плоских диодах и триодах [10].

* Доложено на Украинской республиканской конференции по электронной оптике и ее применениям, посвященной 100-летию со дня рождения В. И. Ленина, 23 сентября 1969 г., Харьков.

Температурная зависимость электрических параметров высокопереванских трехэлектродных электронных пушек, использующих принцип продольной компрессии [1—6], пока не исследовалась. Исследование этой зависимости имеет два аспекта. Во-первых, с физической и прикладной точек зрения важно знать характер и пределы изменения параметров пушек при изменении температуры катода данного типа. Во-вторых, необходимо знать, как изменяются значения параметров пушек при использовании в них других типов катодов с иными рабочими температурами, в частности, при переходе к высокотемпературным катодам.

В настоящей работе исследуется влияние изменений температуры катода на ускоряющий потенциал, коэффициент токопотождения и перванс трехэлектродной пушки для нескольких типов катодов. Аналитические выражения, описывающие температурную зависимость этих параметров, получены как следствие зависимости катодного тока от температуры в режиме насыщения. Изменение геометрических размеров пушки вследствие изменения температуры катода не учитывается.

Поскольку в трехэлектродных пушках с продольной компрессией диодный участок может находиться в режиме насыщения или в близком к нему режиме, все количественные соотношения должны учитывать эту особенность условий работы.

Основные формулы

Ранее было показано [7], что основные параметры трехэлектродной пушки взаимосвязаны и являются функциями отношения потенциалов V_1 первой и V_2 второй диафрагм. Зависимости, полученные расчетным путем при фиксированной температуре, проверялись экспериментально, при этом обнаруживалось достаточно хорошее совпадение расчетных и экспериментальных величин.

Как известно [8, 11], распределение потенциала в сферическом диоде с учетом известной зависимости катодного тока от температуры в режиме насыщения описывается выражением

$$V(r) = \frac{\left(2\sqrt{\frac{m}{2e}}\right)^{2/3}}{r/r_k} \left(AST^2 e^{-\frac{b}{T}}\right)^{2/3} [u'(x_k)v'(x) - v'(x_k)u'(x)]^2. \quad (1)$$

Здесь r — текущий радиус;

r_k — радиус кривизны катода;

T — температура катода;

u' и v' — производные функций Эйри [9], аргументы которых с учетом зависимости от температуры имеют вид

$$x = \frac{16 \cdot 10^{-4}}{\left(AST^2 e^{-\frac{b}{T}}\right)^{2/3}} \left(V + r \frac{dV}{dr}\right), \quad x_k = \frac{16 \cdot 10^{-4}}{\left(AST^2 e^{-\frac{b}{T}}\right)^{2/3}} r_k \left. \frac{dV}{dr} \right|_{r=r_k}.$$

Обозначения других величин в (1) общеприняты.

Значения аргументов функций Эйри на катоде x_k и аноде x_1 при заданных граничных условиях, каковыми являются ток катода и потенциал анода V_1 , определяют режим работы диода. Изменение одного из этих условий приведет к изменению режима работы. Чтобы этого не произошло, при изменении температуры катода (катодного тока) потенциал анода V_1 должен быть изменен так, чтобы величины x_1 и x_k оставались постоянными. В частном случае при $r = r_1$ и $x = x_1$ из (1) определяем V_1 и после дифференцирования по температуре получим выражение для относительного изменения ускоряющего потенциала

$$\frac{dV_1}{V_1} = \frac{2}{3} \left(2 + \frac{b}{T} \right) \frac{dT}{T}. \quad (2)$$

Коэффициент токопрохождения трехэлектродной пушки определяется как отношение тока пучка на выходе из нее к току катода и равен [7].

$$\eta = \frac{p_1 [u'(x_k) v'(x_1) - u'(x_1) v'(x_k)]^3 \left(1 + \sqrt{\frac{V_2}{V_1}} \right)^2}{32 \cdot 10^{-6} (r_1/r_k)^{3/2}}. \quad (3)$$

Из (3) следует, что коэффициент токопрохождения есть функция температуры, поскольку от температуры зависит V_1 .

При условии, что V_2 не зависит от температуры катода, после дифференцирования (3) по T для относительного изменения коэффициента токопрохождения в режиме насыщения получаем

$$\frac{d\eta}{\eta} = - \frac{2}{3} \frac{2 + \frac{b}{T}}{1 + \sqrt{V_1/V_2}} \frac{dT}{T}. \quad (4)$$

Знак минус в последней формуле означает, что коэффициент токопрохождения уменьшается с увеличением температуры. Это легко объясняется тем, что с изменением температуры при постоянном V_2 изменяется также отношение потенциалов V_1/V_2 , определяющее степень продольной компрессии. Коэффициент токопрохождения, как следует из (3), зависит от величины компрессии. Это подтверждается экспериментально. Учитывая (2), для относительного изменения коэффициента токопрохождения имеем

$$\frac{d\eta}{\eta} = - \frac{1}{1 + \sqrt{V_1/V_2}} \frac{dV_1}{V_1}. \quad (4a)$$

Выражая ток пучка через катодный ток и коэффициент токопрохождения, после дифференцирования выражения для первеанса по температуре получаем для относительного изменения первеанса выражение вида

$$\frac{dp_2}{p_2} = \left(2 + \frac{b}{T} \right) \left[1 - \frac{2\sqrt{V_2}}{3(\sqrt{V_1} + \sqrt{V_2})} \right] \frac{dT}{T}, \quad (5)$$

или

$$\frac{dp_2}{p_2} = \left(\frac{3}{2} - \frac{1}{1 + \sqrt{V_1/V_2}} \right) \frac{dV_1}{V_1}. \quad (5a)$$

Таким образом, приведенные выше аналитические выражения позволяют производить расчет параметров трехэлектродной пушки в режиме насыщения с учетом температуры, типа катода и режима питания.

В связи с исследованием влияния типа катода на температурную зависимость параметров пушки необходимо отметить следующее обстоятельство. Применяемые в пушках эффективные термокатоды не имеют четко выраженного режима насыщения из-за наличия эффекта Шоттки. Однако было показано [8], что выражение (1) справедливо и для токов, вызванных эффектом Шоттки. В последнем случае по известному экспериментальному значению тока определяется ток насыщения, а из (1) — потенциал насыщения.

Расчетные графики

Исследовалась температурная зависимость параметров трехэлектродной пушки с четырьмя типами катодов: импрегнированным (алюминатным)*, лантан-боридным, танталовым и вольфрамовым.

Из (2) следует, что относительное изменение потенциала первой диафрагмы для данного типа катода зависит от абсолютного значения его температуры: чем больше температура катода, тем меньше значение dV_1/V_1 . На рис. 1 представлена зависимость потенциала первой диафрагмы пушки от температуры для катода из гексаборида лантана LaB_6 при отборе с него тока плотностью 2 и 10 a/cm^2 . Из рисунка следует, что относительное изменение потенциала V_1 линейно зависит от приращения температуры.

Для различных типов катодов изменение потенциала V_1 при изменении температуры катода определяется не только ее абсолютным значением, но и значением работы выхода ϕ . На рис. 2 представлена зависимость $dV_1/V_1 = f(dT)$ для импрегнированного, лантан-боридного, танталового и вольфрамового катодов при отборе с них тока плотностью 1 a/cm^2 .

Выражение (4) показывает, что изменение коэффициента токопрохождения более заметно при относительно низких рабочих температурах. Это иллюстрирует рис. 3, на котором изображены зависимости $|d\eta/\eta| = \psi(dT)$ для четырех типов катодов с различными рабочими температурами при $V_1/V_2 = 10$.

* Результаты расчета для вольфрамо-бариевого катода не приводятся, так как по эмиссионным свойствам он практически не отличается от импрегнированного катода.

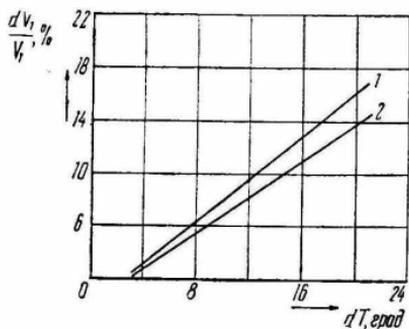


Рис. 1. Зависимость ускоряющего потенциала от температуры лантанборидного катода:

1 — $T_K = 1830^\circ \text{K}$; 2 — $T_K = 1690^\circ \text{K}$.

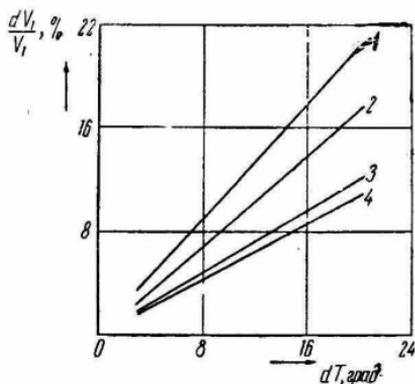


Рис. 2. Температурная зависимость ускоряющего потенциала для различных типов катодов:

1 — импрегнированный катод; 2 — LaB_6 ; 3 — Ta ; 4 — W .

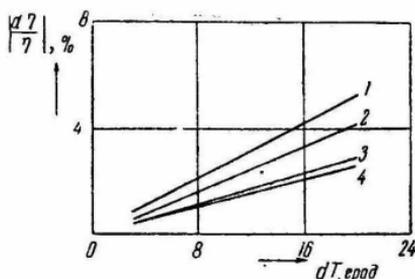


Рис. 3. Температурная зависимость коэффициента токопрохождения для различных катодов:

1 — импрегнированный катод; 2 — LaB_6 ; 3 — Ta ; 4 — W .

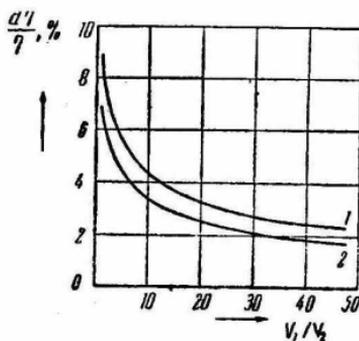


Рис. 4. Относительное температурное изменение коэффициента токопрохождения в зависимости от величины продольной компрессии:

1 — импрегнированный катод; 2 — LaB_6 — катод.

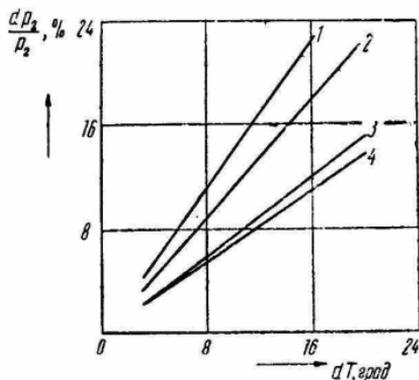


Рис. 5. Температурная зависимость первеанса трехэлектродной пушки для различных катодов:

1 — импрегнированный катод; 2 — LaB_6 ; 3 — Ta ; 4 — W .

Соотношение (4а) учитывает зависимость коэффициента токопрохождения от температуры (dV_1/V_1) и от продольной компрессии (V_1/V_2). Подобная зависимость для первеанса дается формулой (5а). На рис. 4 представлены кривые изменения $|d\eta/\eta|$ при изменении температуры на двадцать градусов в зависимости от V_1/V_2 . Обе кривые получены для плотности тока эмиссии, равной 10 а/см^2 . Из рисунка следует, что увеличение продольной компрессии в пушке приводит к ослаблению влияния изменений температуры на коэффициент токопрохождения. На рис. 5 представлен график зависимости dp_2/p_2 от температуры для пушек с различными типами катодов при $V_1/V_2 = 10$. Формула (5а) показывает, что изменение первеанса при изменении температуры увеличивается с ростом V_1/V_2 .

ВЫВОДЫ

Полученные в настоящей работе результаты относятся к режиму насыщения катодного тока пушки. Для него влияние изменений температуры катода на величину электрических параметров трехэлектродной пушки наиболее выражено, о чем свидетельствуют большие значения расчетных величин. Поэтому можно считать, что в режиме насыщения изменения параметров являются предельно максимальными. Так как пушки с эффективными термокатадами работают в режимах, отличающихся от насыщения, реальные изменения параметров должны быть меньше. Качественный же ход температурной зависимости сохраняется и для этих режимов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. С. Зинченко. Теория трехэлектродных электронных пушек, использующих продольную компрессию. Тезисы докладов на XVI Украинской республиканской конференции, посвященной Дню радио, 7 июня 1966, Киев.
2. Н. С. Зинченко. УФЖ, XII, 11, 1828, 1967.
3. Н. С. Зинченко. ЖТФ, 38, 1, 184, 1968; ЖТФ, 38, 8, 1344, 1967.
4. Н. С. Зинченко. Высокопервеансные трехэлектродные электронные пушки. Сб. докл. «4 Чехословацкая конференция по электронике и вакуумной физике», 560 — 566, 1968, Прага.
5. Н. С. Зинченко, В. А. Соколова. РнЭ, 14, 2, 276, 1969.
6. Н. С. Зинченко, И. В. Лопатин, В. А. Соколова. ПТЭ № 3, 22, 1969.
7. Н. С. Зинченко. УФЖ, 13, 11, 1828, 1968; УФЖ, 14, 2, 213, 1969.
8. Р. П. Поплавский. ЖТФ, 20, 2, 1499, 1950.
9. В. А. Фок. Таблицы функций Эйри, издание информационного отдела, 1946.
10. T. Rabuzin. Int J. Electron. 20, № 2, 149, 1966.
11. I. Itzkan. Solutions of the Equations of Flow for Radial Flow between Concentric Spherical Electrodes, J. Appl. Phys, 31, 4, 652, 1960.