

ЭФФЕКТ АНОМАЛЬНОГО УВЕЛИЧЕНИЯ АНОДНОГО ТОКА В ДИОДНЫХ СТРУКТУРАХ

Чурюмов Г. И., Экезли А. И., Являнский И. Ю.
Харьковский национальный университет радиозлектроники
пр. Ленина, 14, Харьков, 61166, Украина
тел.: 057-702-10-57, e-mail: g.churyumov@iee.org

Аннотация — В данной работе рассматриваются вопросы термоэлектронной эмиссии в диодной структуре с оксидным катодом. Получены и анализируются теоретические и экспериментальные вольтамперные характеристики (ВАХ) для диодов цилиндрической конструкции. Показано, что в области значений анодного напряжения $U_a < U_a^{\max}$ имеет место хорошее их соответствие, а при значении анодного напряжения, превышающее значение U_a^{\max} , наблюдается эффект самопроизвольного роста анодного тока и расхождение между теоретическими и экспериментальными ВАХ увеличивается. Установлено, что при $U_a > U_a^{\max}$ рост анодного тока связан с процессами вторичноэмиссионного размножения электронов на аноде. Этому процессу способствует также увеличение температуры анода, обусловленной бомбардировкой электронами его поверхности.

I. Введение

Вопросы исследования поведения электронной эмиссии в пространстве взаимодействия электровакуумных приборов СВЧ и последующее формирование электронных потоков представляют несомненный практический интерес [1]. Понимание закономерностей и физики электронных процессов позволяет проектировать и разрабатывать приборы с прогнозируемыми характеристиками.

В данной работе экспериментально исследуется явление аномального роста анодного тока в цилиндрической диодной структуре с оксидным катодом.

II. Математическая модель процесса токопрохождения в диоде

В качестве математической модели, описывающей прохождение электронного потока в цилиндрическом диоде с оксидным термоэлектронным катодом, рассмотрим ВАХ диода, которая имеет три отличные друг от друга области: область начальных токов, область пространственного заряда и область насыщения [2]. В области начальных токов анодный ток появляется при малых отрицательных напряжениях на аноде и обусловлен электронами, которые способны преодолеть тормозящее действие анодного напряжения U_a благодаря конечным значениям начальных скоростей вылета с катода. В области пространственного заряда изменение плотности анодного тока описывается законом степени 3/2, а в области насыщения ВАХ диода представляет собой горизонтальную линию, предполагая, что анодный ток равен току эмиссии с катода при любых значениях U_a .

Для определения плотности анодного тока в области пространственного заряда цилиндрического диода воспользуемся выражением [2]:

$$j = 2.33 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{S_a \cdot (U - U_m)^{\frac{3}{2}}}{(r_a - r_k) - x_m} \cdot \left[1 + 2.66 \cdot \left(\frac{U_T}{U - U_m} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \cdot \gamma, \quad (1)$$

где $S_a = 2\pi \cdot r_a \cdot h_a$ – площадь анода, см^2 ; r_a и r_k – радиусы анода и катода, см ;

$x_m = 0.475 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{T_k}{1000} \right)^{\frac{3}{4}} \cdot \left(\frac{1}{j_a} \right)^{\frac{1}{2}}$ – расстояние плоскости минимума потенциала от катода, см ;

$U_m = -U_T \cdot \ln \left(\frac{j_e}{j_a} \right)$ – глубина потенциала на расстоянии x_m от катода (величина отрицательная);

$U_T = \frac{k \cdot T_k}{e}$ – величина, зависящая от температуры катода; j_a и j_e – плотность анодного тока и тока эмиссии с катода, $\text{А} \cdot \text{см}^{-2}$; U – анодное напряжение, В;

$\gamma = \frac{(r_a - r_k)^2}{r_a^2 \cdot \beta}$ и $\beta = f \left(\frac{r_a}{r_k} \right)$ – величины, которые зависят от размеров системы электродов, при отношении $r_a / r_k < 2$ $\beta = \left(1 - \frac{r_k}{r_a} \right)^2$.

Для нахождения плотности анодного тока в области насыщения с учетом эффекта Шотки воспользуемся выражением [2]:

$$J_H = J_0(T_k) \cdot \exp \left(\frac{\frac{3}{2} \cdot \sqrt{\frac{U}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0}} \cdot \frac{r_a - r_k}{k \cdot T_k}} \right), \quad (2)$$

где $j_0(T_k) = A_R \cdot \bar{D} \cdot T_k^2 \cdot \exp \left(\frac{-\phi}{k \cdot T_k} \right)$ – плотность тока насыщения при нулевом внешнем электростатическом поле (уравнение Ричардсона); $\bar{D} = (1 - \bar{r})$ – прозрачность потенциального барьера;

$A_R = \frac{4 \cdot \pi \cdot e \cdot k^2 \cdot m}{h^3} = 120.4 \frac{\text{А}}{\text{см}^2 \cdot \text{град}^2}$ – универсальная

постоянная; \bar{r} – коэффициент отражения электронов от поверхности электрода (усредненный по энергиям); e и m – заряд и масса электрона; k – постоянная Больцмана; h – постоянная Планка ϕ – работа выхода электронов, эВ; T_k – температура катода в абсолютных градусах; ϵ_0 – абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума.

III. Анализ экспериментальных результатов

Исследование токопрохождения проводится для цилиндрических диодов, основные геометрические параметры которых представлены в табл. 1. В качестве материала анода использовалась вакуумная медь.

Табл. 1. Параметры цилиндрического диода

Table 1. Parameters of cylindrical diode

| Радиус катода, мм | Радиус анода, мм | Высота анода, мм | Напряжение накала, В |
|-------------------|------------------|------------------|----------------------|
| 0.925 | 1.25 | 4 | 6.3 |

На рис. 1 представлены теоретическая и экспериментально полученная ВАХ диода и показано изменение температуры внешней поверхности анодного блока. Кривая без символов представляет теоретическую характеристику, сплошная кривая – экспериментальное изменение анодного тока, пунктирная – изменение температуры анодного блока.

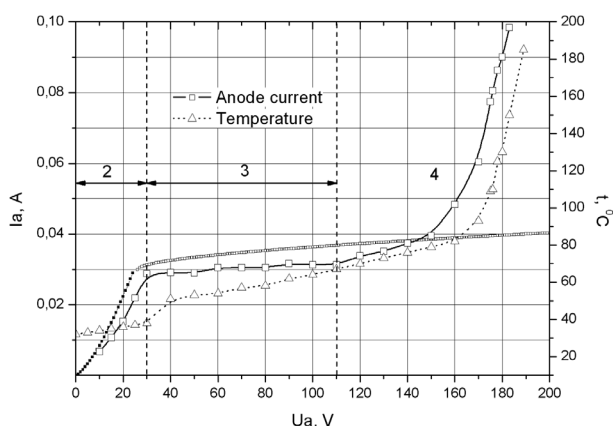


Рис. 1. ВАХ диода. 2 – область пространственного заряда, 3 – область насыщения, 4 – область аномального роста анодного тока.

Fig. 1 Volt-ampere characteristics of diode. 2 - region of space charge, 3 - saturation region, 4 – area of abnormal growth of anode current

Расчеты показали, что теоретически температура катода в режиме насыщения (область 3) выбиралась равной 1010 °С. Расходимость теоретической и экспериментальной ВАХ диода в областях 2 и 3 объясняется, по-видимому, отличием реальной средней температуры катода с учетом неоднородности ее изменения по всей поверхности катода от теоретически, выбранной для расчетов.

Как видно из хода экспериментальной ВАХ на рис. 1, в области 4 имеет место аномально высокий рост анодного тока (практически при незначительном изменении значения U_a) и поведение теоретической и экспериментальной ВАХ резко меняется.

При переходе из области 3 в область 4 электроны бомбардируют анод, обладая энергией порядка 100-120 eV, что соответствует коэффициенту вторичной эмиссии для меди $\sigma = 1.7-1.8$. Этого достаточно для инициирования процесса вторичноэмиссионного размножения электронов на поверхности анода, что и обуславливает аномальный рост анодного тока.

IV. Заключение

Таким образом, экспериментально обнаруженный эффект самопроизвольного аномального роста анодного тока, обусловленный процессом вторичноэмиссионного размножения электронов на аноде, может негативно сказываться на работе ЭВП СВЧ, ухудшая их энергетические и частотные параметры. Для уменьшения этого эффекта предлагается покрывать поверхность анода материалами с низким коэффициентом вторичной эмиссии.

V. Список литературы

- [1] Киселев А. Б. Металлооксидные катоды электронных приборов. – М.: МФТИ, 2002. – 240 с.
- [2] Царев Б. М. Расчет и конструирование электронных ламп. – М.: Энергия, 1967. – 670 с.

THE EFFECT OF ABNORMAL AUGMENTATION OF ANODE CURRENT IN DIODE STRUCTURES

Churyumov G. I., Ekezi A. I., Yavlyanskiy I. Yu.
 Kharkiv National University of Radio Electronics
 14 Lenin ave., Kharkiv, 61166, Ukraine
 Ph.: +38 057-702-13-31,
 e-mail: g.churyumov@ieee.org

Abstract — The theoretical and experimental voltage-ampere characteristics (VACH) for the cylindrical diodes are taken and analyzed. The effect of spontaneous growth of anode current when $U_a > U_a^{\max}$ has been observed.

I. Introduction

The understanding of regularity and physics of the electronic processes allows designing and developing of devices with predicted characteristics.

II, III. Main Part

Experimental (with symbols) and theoretical data are shown on fig. 1. Apparently, in the 4th region of the experimental VACH, the abnormal augmentation of anode current has occurred.

At transition from the area 3 to the area 4 the electrons has been possessing energy of an order 100-120 eV what corresponds to secondary-emission rate for copper $\sigma = 1.7-1.8$. It is enough for initiation of the process of secondary electron multiplication on the surface of anode and it is the cause of abnormal growth of anode current.

IV. Conclusion

Thus, experimentally detected effect of spontaneous abnormal augmentation of anode current caused by the process of secondary electron multiplication on the anode, might have negative influence on the work of microwave vacuum tube. In order to decrease this effect it is offered to cover a surface of the anode by materials with low secondary-emission rate.