

# **ЭМИССИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ МЕТАЛЛОПОРИСТЫХ ВОЛЬФРАМ-БАРИЕВЫХ КАТОДОВ С РАЗЛИЧНЫМИ СОСТАВАМИ ЭМИССИОННО-АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА**

Д.В. Бычков, И.В. Фомин, Н.Е. Леденцова, А.В. Шуманов, Л.М. Борисова, И.П. Ли, В.И. Капустин

## **АННОТАЦИЯ**

Эмиссионные свойства металлопористых вольфрам-алюминатных катодов (МПК), используемых в различных типах электровакуумных приборов СВЧ техники, зависят как от параметров вольфрамового губчатого тела (пористости, размеров и равномерности распределения пор, избыточного давления газопроницаемости и др.), так и от свойств эмиссионно-активного вещества (АВ): алюмината бария-кальция (состава и структуры, температуры плавления, скорости испарения компонентов и др.). В настоящей работе были проведены исследования эмиссионных свойств катодов с различными фазовыми составами АВ, синтезированными методом совместного осаждения.

## **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**

ТЕРМОЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ, МЕТАЛЛОПОРИСТЫЙ КАТОД, АЛЮМИНАТ БАРИЯ-КАЛЬЦИЯ, РАБОТА ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНОВ

## **EMSSION PROPERTIES OF DISPENSER TUNGSTEN-BARIUM CATHODES WITH DIFFERENT COMPOSITIONS OF THE EMISSION ACTIVE SUBSTANCE**

D.V. Bychkov, I.V. Fomin, N.E. Ledentsova, A.V. Shumanov, L.M. Borisova, I.P. Li, V.I. Kapustin

## **ABSTRACT**

Emission properties of dispenser tungsten-aluminate cathodes, used in various types of microwave vacuum devices, depend both on parameters of the tungsten body (porosity, size and uniformity of pore distribution, overpressure of gas permeability, etc.) and on properties of the emission-active substance (AS) of barium-calcium aluminate (composition and structure, melting temperature, evaporation rate components, etc.). In this research, studies of the emission properties of cathodes with different phase compositions of AS, synthesized by co-deposition methods, were carried out.

## **KEYWORDS**

THERMIONIC EMISSION, DISPENSER CATHODE, BARIUM-CALCIUM ALUMINATE, ELECTRONIC WORK FUNCTION

## **ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА РАБОТЫ**

Важнейшими параметрами МПК, обеспечивающими стабильность эксплуатационных параметров электровакуумных приборов (ЭВП) являются: плотность тока эмиссии, рабочая температура и долговечность, которые, в первую очередь, обеспечиваются, помимо параметров вольфрамового пористого тела, - составом эмиссионно-активного вещества (АВ) и технологией его синтеза [1].

В данной работе был проведен сравнительный анализ эмиссионных параметров (не осмированных) катодов торцевого типа, пропитанных АВ со следующими составами:

- 1)  $3\text{BaO} \cdot 0,5\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
- 2)  $2,5\text{BaO} \cdot 0,4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
- 3)  $3\text{BaO} \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
- 4)  $4\text{BaO} \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$

При изготовлении катодов использовались заготовки, выполненные из пористого вольфрама со средним сечением пор порядка нескольких мкм. Пропитка катодов выполнялась в среде осушенного водорода с точкой росы  $-60 \dots -65^\circ\text{C}$  при температуре, в зависимости от состава АВ в течение нескольких минут. При этом привес АВ составлял  $\sim 9,0-9,5\%$ .

## МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Теплофизические и эмиссионные параметры катодов исследовались в составе типового катодно-подогревательного узла в макете диода (рис. 1) в разборной высоковакуумной рабочей камере при давлении остаточных газов не выше  $5 \cdot 10^{-6}$  Па.

После установки узла в камеру и её откачки до давления остаточных газов  $P \leq 5 \cdot 10^{-6}$  Па, производилось обезгаживание и активирование катодов. Активирование каждого из катодов проводилось при температуре  $T_{\text{ярк}} \sim 1100^\circ\text{C}$ , анодном напряжении 100В в течение 7 часов.

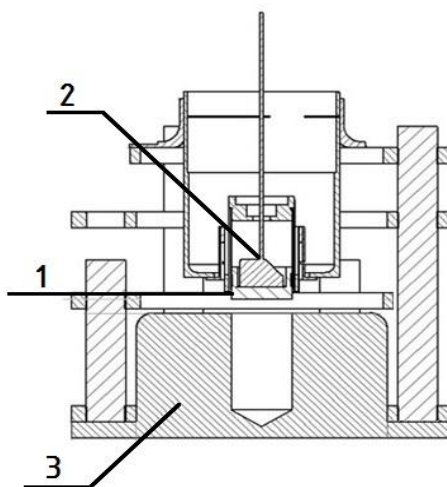


Рис. 1. Конструкция макета диода.

1 - катод; 2 – подогреватель; 3 – молибденовый анод

Измерение температуры катодов выполнялось через прозрачное окно с использованием оптического пирометра с исчезающей нитью марки PYRO-WERK G.m.b.H, обеспечивающим погрешность измерения яркостной температуры не более 0,2% в диапазоне  $800-1200^\circ\text{C}$ .

Расчёт яркостной температуры в истинную выполнялся по формуле [2]:

$$\frac{1}{T_{\text{ярк}}} = \frac{1}{T_{\text{и}}} - \frac{\lambda}{C_2} \ln \xi_{\lambda, T},$$

где  $C_2 = 1,438 \text{ см} \cdot \text{град}$  – постоянная,  $\xi_{\lambda, T} = 0,66$  (при  $\lambda = 0,65 \text{ мкм}$ ) – коэффициент излучения яркостной температуры тела [3].

Эмиссионные свойства катодов оценивались по работе выхода, путем экстраполяции ВАХ в координатах Шоттки. Откуда были рассчитаны значения эффективной работы выхода методом полного тока для каждого из образцов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Типичные вольтамперные характеристики катодов, пропитанных разными составами АВ, приведены на рис. 2 (при минимальной температуре  $T_{\text{ист.}} = 915^\circ\text{C}$ ) и на рис. 3 (при максимальной температуре  $T_{\text{ист.}} = 1120^\circ\text{C}$ ).

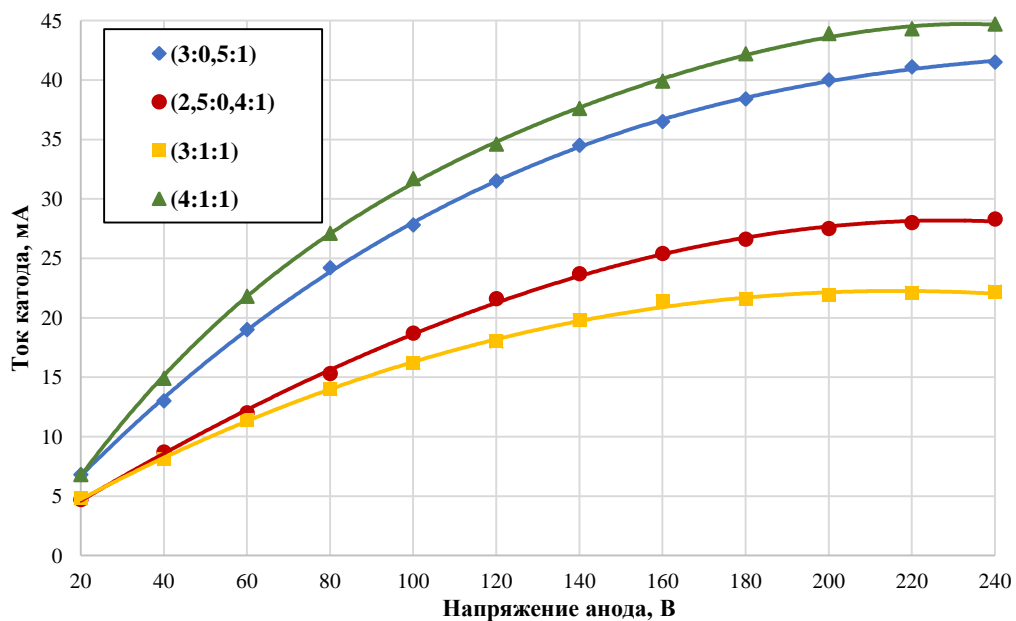


Рис. 2. Семейство ВАХ при температуре  $T_{\text{ист.}} = 915^\circ\text{C}$

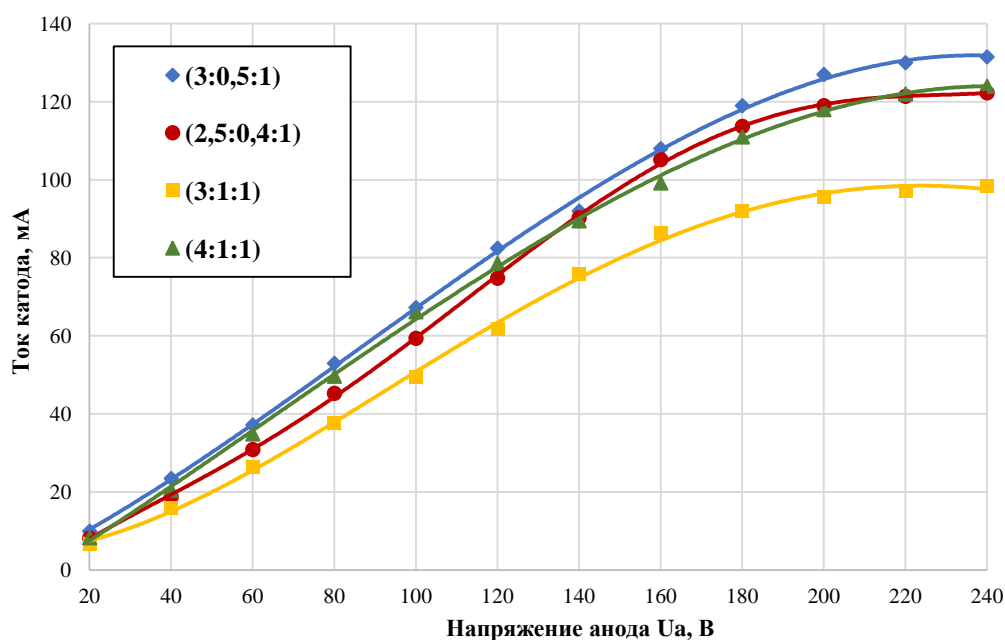


Рис. 3. Семейство ВАХ при температуре  $T_{ист.} = 1120^{\circ}\text{C}$

Работа выхода каждого катода рассчитывалась при помощи классической формулы Ричардсона – Дешмана [4] путём построения кривых Шоттки и нахождения плотности тока насыщения  $j_s$  при нулевом поле.

$$j_s = A_0 T^2 \exp(-e\varphi/kT),$$

где  $j_s$  - плотность тока насыщения;  $A_0 = 120,4 \text{ A}/\text{см}^2\text{K}^2$  - постоянная Ричардсона,  $T=T_{ист}$  – температура катода,  $e$  - заряд электрона,  $\varphi$  - работа выхода,  $k$  - постоянная Больцмана. Полученные значения работы выхода при разных температурах катодов приведены в таблице 1 и на графике рис. 4.

Таблица 1.

Зависимость работы выхода от температуры катодов

Сравнение зависимостей работы выхода от температуры				
Тист, °С	φ, эВ			
	(3:0,5:1)	(2,5:0,4:1)	(3:1:1)	(4:1:1)
1120	2,30	2,31	2,34	2,33
1040	2,21	2,21	2,25	2,19
1000	2,18	2,19	2,21	2,13
915	2,06	2,09	2,10	2,03

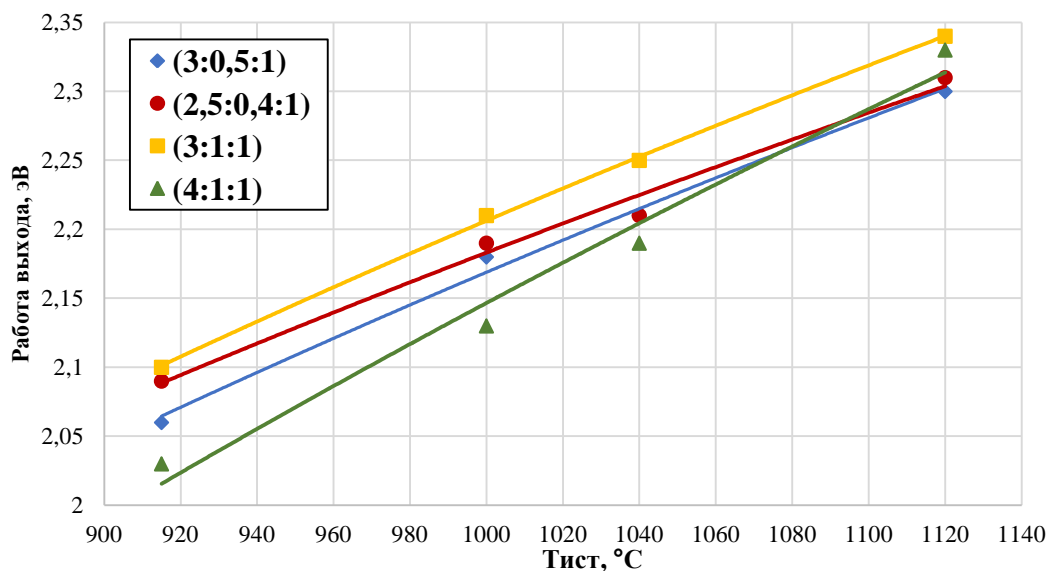


Рис. 4. Зависимость работы выхода катодов от температуры

Установлено, что катоды с пропиткой 4:1:1 активируются значительно быстрее (примерно в 1,5 раза), чем катоды, пропитанные другими составами АВ. Помимо этого, они оказались более устойчивы к изменениям вакуумных условий. В частности, при ухудшении вакуума на два порядка (вплоть до  $P \sim 1 \cdot 10^{-4}$  Па) существенная деградация эмиссионных параметров не замечена.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведения работы были получены семейства вольтамперных характеристик, а также проведены расчёты работы выхода МПК, пропитанных различными составами алюмината бария-кальция. В результате исследований показано, что наилучшие результаты и, следовательно, наибольший интерес при выборе типа катодов для приборов СВЧ техники могут представлять МПК, пропитанные алюминатом бария-кальция состава 4:1:1.

## ЛИТЕРАТУРА

1. В.И. Капустин, И.П. Ли Теория, электронная структура и физикохимия материалов катодов СВЧ-приборов: монография / Москва: ИНФРА-М, 2020. – 370 с. - (Научная мысль).
2. С.П. Русин Определение истинной температуры непрозрачных материалов методами многоволновой термометрии. Москва, 2020. – 250 с.
3. Г.А. Кудинцева, А.И. Мельников, А.В. Морозов и др. Термоэлектронные катоды: Москва, Ленинград: “Энергия”, 1966.
4. А.В. Батраков Эмиссионная электроника учебное пособие /А.В. Батраков. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. - 143 с.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Бычков Даниил Владимирович**, ведущий инженер-технолог отделения катодно-вакуумных систем. АО «Плутон», г. Москва. Аспирант РТУ МИРЭА кафедры наноэлектроники. E-mail: d.bychkov@pluton.msk.ru (ORCID ID: 0009-0008-4792-0417)

**Фомин Илья Владимирович**, инженер-технолог III кат. отделения катодно-вакуумных систем. АО «Плутон», г. Москва. Студент РТУ МИРЭА кафедры наноэлектроники.

**Леденцова Наталья Евгеньевна**, начальник лаборатории отделения катодно-вакуумных систем, кандидат технических наук. АО «Плутон», г. Москва.

E-mail: n.ledencova @pluton.msk.ru (ORCID ID: 0000-0002-7859-2048)

**Шуманов Алексей Владимирович**, директор отделения катодно-вакуумных систем. АО «Плутон», г. Москва. (ORCID ID: 0000-0002-6284-2700)

**Борисова Людмила Михайловна**, начальник лаборатории отделения катодно-вакуумных систем. АО «Плутон», г. Москва.

**Ли Илларион Павлович**, заместитель генерального директора по научно-технологическому развитию, доктор технических наук. АО «Плутон», г. Москва.

E-mail: i.li@pluton.msk.ru (ORCID ID: 0009-0007-7731-2327)

**Капустин Владимир Иванович**, главный специалист отделения катодно-вакуумных систем, доктор физико-математических наук, профессор. АО «Плутон», г. Москва.

(ORCID ID: 0009-0002-5807-1429)