

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМИССИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ОКСИДНО-НИКЕЛЕВОГО КАТОДА С ДОБАВЛЕНИЕМ W-RE НАНОПОРОШКА

Н.П. Горбунова, И.П. Ли, Н.Е. Леденцова, Н.Е. Кожевникова, Д.В. Бычков

## АННОТАЦИЯ

Стабильность и эффективность работы катода имеет определяющее значение в работе СВЧ-приборов. Поэтому при получении новых материалов для катодов электровакуумных приборов важно проводить оценку эффективности катода и его эмиссионной характеристики. Одним из направлений для улучшения выходных параметров оксидных катодов является металлизация их эмиссионно-активного вещества.

В настоящей работе были исследованы эмиссионные свойства оксидно-никелевого катода, покрытого тройным карбонатом бария-стронция-кальция, металлизированным нанопорошком W-Re. Были получены следующие семейства кривых: некоальная характеристика, вольтамперные характеристики (ВАХ) и шоттковские кривые, по которым была рассчитана работа выхода для различных температур эмиттера.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ОКСИДНО-НИКЕЛЕВЫЙ КАТОД, НАНОПОРОШОК, ЭМИССИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ, РАБОТА ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНОВ, НЕДОКАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

## INVESTIGATION OF EMISSION PARAMETERS OF A NICKEL OXIDE CATHODE WITH THE ADDITION OF W-RE NANOPOWDER

N.P. Gorbunova, I.P. Li, N.E. Ledentsova, N.E. Kozhevnikova, D.V. Bychkov

## ABSTRACT

The stability and efficiency of the cathode is of crucial importance in the operation of microwave devices. Therefore, when obtaining new materials for the cathodes of electro-vacuum devices, it is important to evaluate the efficiency of the cathode and its emission characteristics. Metallization is one of the ways to improve the output parameters of oxide cathodes.

In this work, the emission properties of a nickel oxide cathode coated with triple barium-strontium-calcium carbonate with a W-Re thermal emission activator introduced into the composition were investigated. The following families of curves were obtained: non-local characteristic, current-voltage characteristics (CVC) and Schottky curves, according to which the output operation was calculated for different emitter temperatures.

## KEYWORDS

NICKEL OXIDE CATHODE, NANOPOWDER, EMISSION PARAMETERS, ELECTRONIC WORK FUNCTION, THE NON-LOCAL CHARACTERISTIC

## ВВЕДЕНИЕ

Основными характеристиками термоэлектронного катода являются величина плотности тока эмиссии и его долговечность. Одним из возможных способов повышения выходных параметров оксидных катодов является металлизация. Существует множество технологий создания металлооксидных катодов [3-7]. В данном исследовании была

разработана технология изготовления эмиссионно-активного вещества для катодов на основе тройного карбоната бария-стронция-кальция марки КТА-1-6, металлизированного нанопорошком W-Re. Для полученного катодно-подогревательного узла (КПУ) были проведены измерения и расчет эмиссионных параметров.

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для изготовления КПУ использовался новый композитный металлооксидный материал, состоящий из тройного карбоната бария-стронция-кальция, с 5 % (вес.) металлизацией нанопорошком W-Re.

Исследования эмиссионной способности проводились в высоковакуумной установке, обеспечивающей разрежение внутри рабочей камеры порядка  $5 \cdot 10^{-8}$  Торр. Все измерения проводились в составе вакуумного диода. Оценка тепловых параметров катода производилась с помощью оптического пирометра через стеклянное смотровое окно камеры.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

После размещения исследуемого образца в рабочей камере проводилось обезгаживание катода и анода с последующим активированием. Во время вакуумно-термической обработки температура увеличивалась постепенно во избежание перегрева и отравления катода.

После полного активирования катода регистрировалась его некокальная характеристика при постоянном напряжении на аноде (рис. 1). Яркостная температура фиксировалась оптическим пирометром и была пересчитана на истинную по формуле (1):

$$\frac{1}{T_{\text{ист}}} = \frac{1}{T_{\text{ярк}}} + \frac{\lambda}{c_2} \ln \varepsilon(\lambda, T), \quad (1)$$

где  $T_{\text{ист}}$  – истинная температура,  $T_{\text{ярк}}$  – яркостная температура,  $\lambda$  – длина волны, равная 0,65 мкм,  $c_2$  – вторая постоянная излучения в формуле Планка, равная 1,438 см·град,  $\varepsilon$  – коэффициент излучения, равный 0,4 для губчатого оксидного катода.

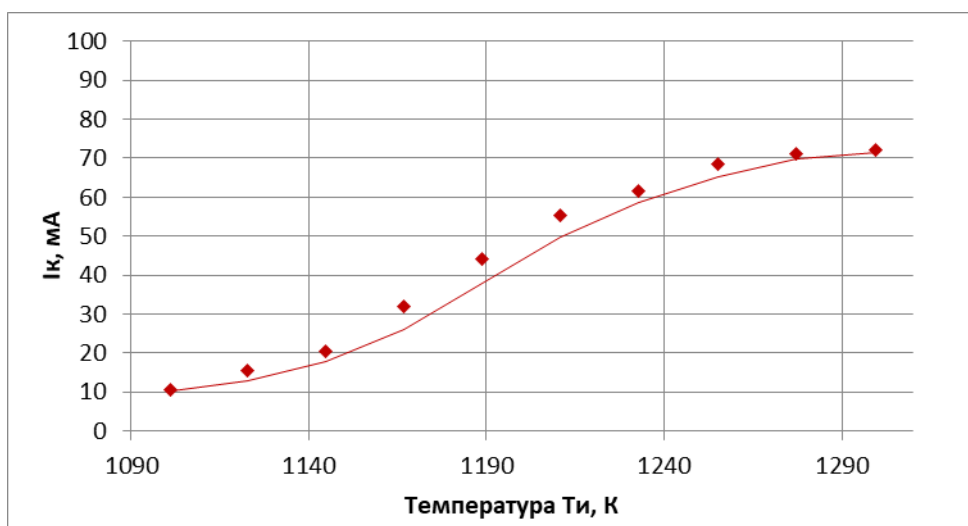


Рис. 1. Типичная некокальная характеристика катода, содержащего активатор термоэмиссии на основе сплава W-Re

Работа выхода была рассчитана методом полного тока по формуле Ричардсона - Дешмана (2):

$$i = SA_0T^2 \exp\left(-\frac{e\varphi}{kT}\right), \quad (2)$$

где  $i$  – полный ток эмиттера,  $S$  – площадь эмитирующей части катода,  $A_0 = 120,4 \text{ A/cm}^2\text{K}^2$  – постоянная Ричардсона,  $T$  – температура,  $k$  – постоянная Больцмана,  $e$  – заряд электрона,  $\varphi$  – работа выхода.

Для расчета работы выхода методом полного тока истинная температура была рассчитана теоретически по значениям яркостной температуры.

На рисунке 2 представлены полученные семейства ВАХ для катода, металлизированного W-Re нанопорошком, для различных температур.

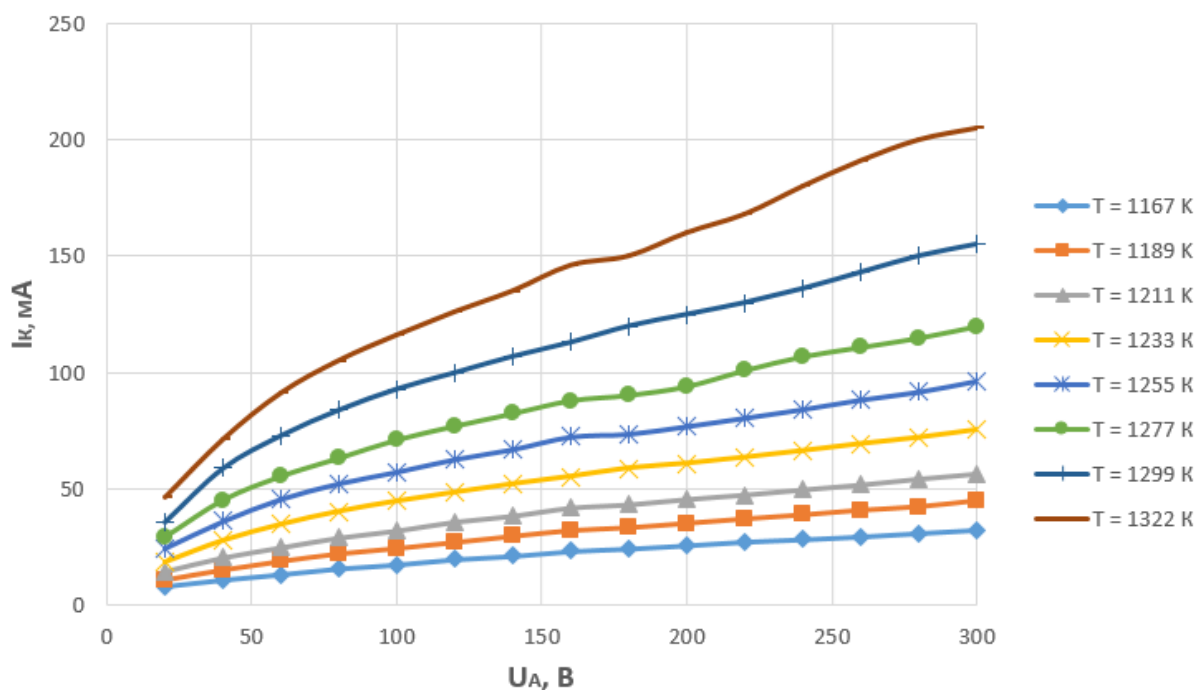


Рис. 2. Вольтамперные характеристики катода, содержащего активатор термоэмиссии на основе сплава W-Re

Так как у оксидных катодов нет характерной области насыщения, ток насыщения определяется по точке перегиба на графике. Для определения более точного значения тока насыщения использовались шоттковские зависимости термоэмиссионного тока (рис. 3).

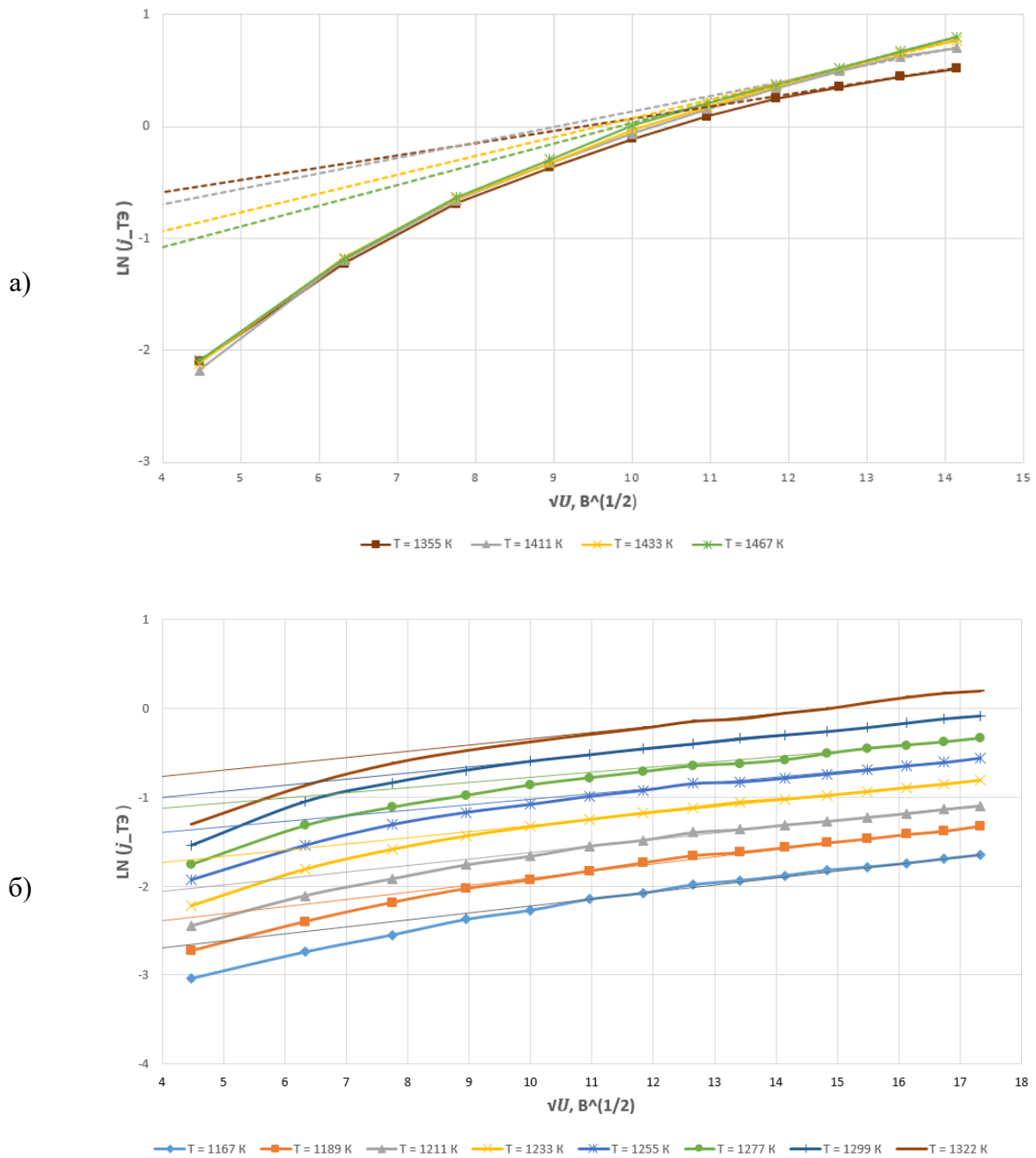


Рис. 3. Шоттковские зависимости термоэмиссионного тока для стандартного оксидного катода (а) и катода, содержащего активатор термоэмиссии на основе сплава W-Re (б)

Значения плотностей тока насыщения определяются по точке пересечения оси ординат с касательными к прямым Шоттки. Используем выражение для  $\phi$  в явном виде:

$$\phi = kT \ln \left( \frac{A_0 T^2 S}{I_s} \right). \quad (3)$$

На рисунке 4 приведены графики зависимости работы выхода от температуры для стандартного оксидного катода (а) и исследуемого катода с активатором термоэмиссии на основе сплава W-Re (б).

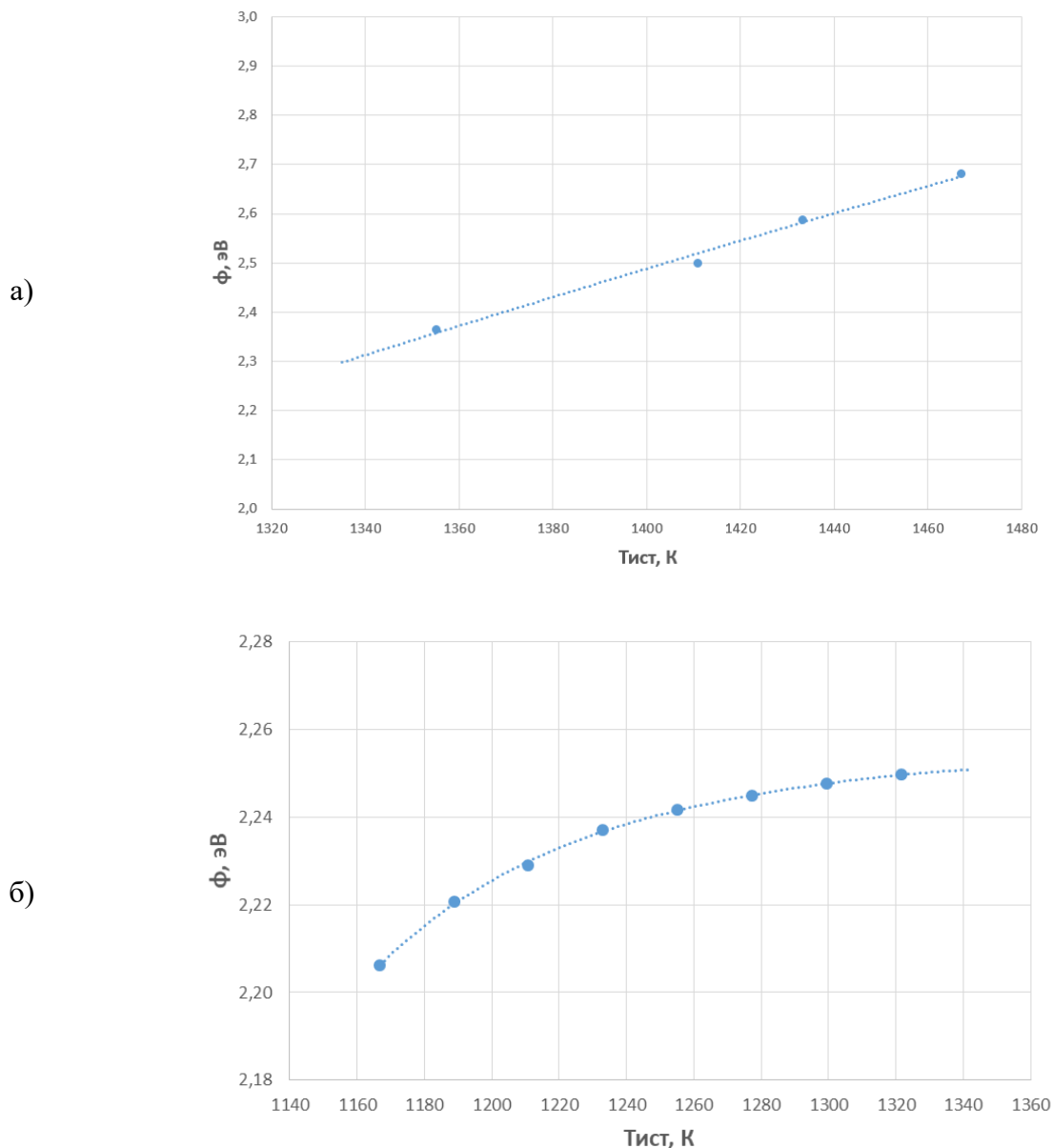


Рис. 4. Зависимость работы выхода от температуры для серийного катода (а) и катода, содержащего активатор термоэмиссии на основе сплава W-Re (б)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенной работы выявлено, что металлизация эмиссионно-активного вещества катода 5 % (вес.) нанопорошком W-Re повышает эмиссионную способность в сравнении со стандартным оксидным катодом за счёт того, что работа выхода изменяется со значений 2,37 эВ ÷ 2,68 эВ в диапазоне температур 1355-1467 К до значений 2,21 эВ ÷ 2,25 эВ в диапазоне температур 1167-1322 К. Это обусловлено снижением потенциального барьера, путем изгиба энергетических зон вниз, на поверхности кристаллитов оксида бария. По некоальной характеристике видно, что насыщение достигается при температуре порядка 1250 К (рис. 1).

В перспективе планируется проводить дальнейшее изучение оксидно-никелевых катодов с целью улучшения их эмиссионных параметров. Для дополнения полученных

результатов могут быть уточнены режимы активации катодов, изготовленных по данной технологии, а также проведены исследования с другими марками карбоната, с различными процентными соотношениями компонентов в смеси.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Киселев А.Б. Физические основы создания, конструирования и применения оксидных катодов с высокодисперсными металлическими включениями: автореферат дис. ... доктора технических наук / Моск. гос. техн. ун-т им. Н. Э. Баумана. – М., 2002. - 33 с.
2. Карсакова М.Б., Капустин В.И., Ли И.П., Кожевникова Н.Е. Синтез и размол игольчатого тройного карбоната бария-стронция-кальция для катодов СВЧ-приборов // Научно-техническая конференция с участием зарубежных специалистов «Вакуумная наука и техника» 16-21 сентября 2022 г. Крым, Судак, с. 315-319.
3. Капустин В.И., Ли И.П. [и др.] Технология синтеза и электронная структура тройных карбонатов бария-стронция-кальция для катодов СВЧ-приборов. Russ. Technol. J. – 2022. - 10(6). – с. 60–69.
4. Капустин В.И., Ли И.П. Теория, электронная структура и физикохимия материалов СВЧ-приборов: монография: Научная мысль – М.: ИНФРА-М, 2020. - 370 с. – с. 128-168.
5. Леденцова Н.Е. Электронная структура и технологии оксидно-никелевых катодных материалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: Рос. технолог. ун-т. – М., 2019. - 167 с.
6. Зноско К.Ф., Нуретдинов С.А. Наночастицы электровзрывного синтеза никеля и углерода для модификации термопластичных композиционных материалов // Вестник ГрГУ имени Янки Купалы. Сер. 6. Техника. – 2022. – Т. 12. – № 2. – С. 32-45.
7. Соколов А. М. Современные металлооксидные катоды для СВЧ-приборов / А.М. Соколов, А.Н. Каргин, О.А. Морозов // Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника. – 2011. – Вып. 1 (508). – С. 64 – 69.

#### **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

Горбунова Наталья Павловна – инженер – технолог лаборатории анализа эмиссионных свойств материалов АО «Плутон» (Россия, 105120, Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, 11). e-mail: n.gorbunova@pluton.msk.ru

Ли Илларион Павлович – д. т. н., заместитель генерального директора по научно-технологическому развитию АО «Плутон» (Россия, 105120, Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, 11). Идентификаторы автора: РИНЦ: 131649. e-mail: i.li@pluton.msk.ru.

Леденцова Наталья Евгеньевна – к. т. н., начальник образовательного центра инновационного научно-образовательного Центра АО «Плутон» (Россия, 105120, Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, 11). Идентификаторы автора: ORCID 0000-0002-7859-2048. e-mail: n.ledencova@pluton.msk.ru

Кожевникова Наталья Евгеньевна - начальник лаборатории синтеза эмиссионно-активных соединений АО «Плутон» (Россия, 105120, Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, 11). Идентификаторы автора: ORCID 0000-0002-8022-1238. e-mail: n.kozhevnikova@pluton.msk.ru

Бычков Даниил Владимирович – начальник лаборатории анализа эмиссионных свойств материалов АО «Плутон» (Россия, 105120, Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, 11). e-mail: d.bychkov@pluton.msk.ru