

УДК 621.3.032.213

А. А. ТАРАН, А. П. КИСЛИЦЫН, О. В. ПОДШИВАЛОВА

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ОТРАВЛЯЕМОСТЬ КАТОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СИСТЕМЕ ВаHfO₃–W ПРИ НАПУСКЕ ВОЗДУХА

Представлены результаты экспериментальных исследований отравляемости термоэмиссионных катодных материалов на основе системы гафнат бария – вольфрам с различным процентным содержанием компонентов в температурном диапазоне от 1320 до 1810 К и при давлениях от $1,3 \cdot 10^{-2}$ до 10^{-5} Па при напуске воздуха. Показано, что катоды с меньшим содержанием вольфрама (20, 29, 37 мас. %) отравляются во всех диапазонах температур и давлений. Для катодов с большим содержанием вольфрама (44, 70, 87 мас. %), наряду с отравлением, имеет место возрастание термоэмиссионного тока в некоторых диапазонах температур и давлений. Последнее обусловлено адсорбцией кислорода на поверхности вольфрама, покрытого барием.

Ключевые слова: катод, термоэмиссионный ток, гафнат бария, вольфрам, отравляемость.

1. Общая постановка проблемы, связь с научно-практическими задачами, обзор публикаций и анализ нерешенных проблем

К требованиям, предъявляемым к термоэмиссионным катодным материалам [1], которые используются в электрореактивных двигателях (ЭРД), относятся:

- легкость обезгаживания, малое время активирования (выхода катода на рабочий режим);
- возможность быстрого во времени реактивирования катодов после их пребывания в атмосфере (низком вакууме в выключенном приборе), т.е. стойкость к развакуумированию. Последнее позволяет проводить термическую обработку катода вне электронного прибора, что приводит к сокращению времени откачки и осуществлению повторного активирования в течение нескольких минут без потери эмиссионных свойств катода;
- высокая стойкость к отравлению остаточными газами или газами при натекании (воздухом, кислородом, кислородосодержащими газами и др.), что позволяет использовать эмиттер при не очень высоком вакууме.

Как было показано в работах [2–4], среди композиционных оксидных катодов, перспективных для разработки и использования, находятся прессованные металлопористые катоды на основе системы гафнат бария–вольфрам. Это связано с тем, что введение мелкодисперсного порошка вольфрама в порошок гафната бария с последующим прессованием и спеканием смеси приводит к дополнительному восстановлению бария и увеличению эмиссионной активности такого композита по сравнению с инди-

видуальным ВаHfO₃.

До настоящего времени изучены термоэмиссионные свойства прессованных катодов на основе системы ВаHfO₃–W с различным процентным содержанием компонентов, а также индивидуального гафната бария; определены режимы активирования и реактивирования катодов (после их пребывания на атмосфере); определены спектральные ($\lambda = 0,65$ мкм) и интегральные излучательные способности катодов ВаHfO₃ – W и их температурные зависимости.

В результате проведенных ранее исследований [2–4] выбран наиболее приемлемый материал для использования в полых катодах ЭРД и при выводе плазмы полого катода в атмосферу. Таким катодным материалом является композит 63 мас. % ВаHfO₃–37 мас. % W, позволяющий получать плотность термоэмиссионного тока, равную 230 А/см² при $T = 2000$ К.

Однако до настоящего времени не приведены результаты исследований отравляемости таких катодных материалов при напуске воздуха. Данная работа ликвидирует этот пробел.

2. Цель исследований

Изучить отравляемость композиционных катодных материалов на основе ВаHfO₃–W при напуске воздуха при различных температурах катодов.

3. Результаты исследований

Исследования отравляемости катодов проводились в диапазонах температур от 1320 до 1810 К и давлений от 10^{-5} до $1,3 \cdot 10^{-2}$ Па (при напуске атмосферного воздуха). Мерой отравляемости была выбрана величина I/I_0 , где I – величина термоэмисси-

Таблица 1

Относительные изменения термоэмиссионного тока катодов
на основе BaHfO₃ – W при напуске воздуха

Материал катода	Температура T , К	Давление p , Па						
		10^{-5}	$6,7 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$6,7 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$6,7 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$
80 мас. % BaHfO ₃ - 20 мас. % W	1400	1	0,97	0,85	0,68	0,33	0,18	0,17
	1530	1	0,99	0,92	0,79	0,59	0,28	0,21
	1630	1	1	1	0,95	0,92	0,75	0,62
	1730	1	1	1	1	1	0,89	0,78
71 мас. % BaHfO ₃ - 29 мас. % W	1320	1	1	0,53	0,17	0,13	0,05	0,04
	1410	1	1	0,78	0,39	0,24	0,09	0,07
	1500	1	1	0,93	0,76	0,64	0,26	0,16
	1580	1	1	1	0,88	0,80	0,43	0,30
	1670	1	1	1	0,93	0,88	0,61	0,41
63 мас. % BaHfO ₃ - 37 мас. % W	1330	1	1	0,88	0,48	0,18	0,13	0,05
	1450	1	1	0,92	0,54	0,43	0,20	0,08
	1550	1	1	0,96	0,61	0,52	0,30	0,20
	1680	1	1	1	0,95	0,87	0,54	0,38
	1800	1	1	1	1	1	0,88	0,79
56 мас. % BaHfO ₃ - 44 мас. % W	1350	1	0,95	0,9→1,05	1,15→0,73	0,18	0,11	0,09
	1430	1	1	0,90	0,35	1,78	0,38	0,18
	1520	1	1	0,92	0,73	0,61	0,20	0,13
	1620	1	1	0,95	0,85	0,78	0,50	0,30
	1690	1	1	0,98	0,93	0,88	0,73	0,50
30 мас. % BaHfO ₃ - 70 мас. % W	1400	1	0,87	0,50	0,10	0,05	0,03	0,01
	1490	1	0,92	0,90	0,85→1,35	1,56→0,33	0,05	0,03
	1620	1	1	0,97	0,78	0,71	1,16	0,41
	1710	1	1	1	0,87	0,80	0,69→0,97	0,78
	1810	1	1	1	0,97	0,94	0,81	0,69
13 мас. % BaHfO ₃ - 87 мас. % W	1390	1	1	0,86	0,78	1,52→0,81	0,31	0,20
	1480	1	1	0,83	0,58	0,5→3,11	0,50	0,26
	1600	1	1	0,90	0,75	0,60	0,47→0,97	0,61
	1700	1	1	0,94	0,85	0,81	0,50	0,44
	1800	1	1	0,95	0,93	0,89	0,83	0,60

онного тока при напуске воздуха, а I_0 – при предельно достижимом уровне вакуума. Абсолютная погрешность в определении величины I/I_0 не превышала 0,02. Каждое экспериментальное значение термоэмиссионного тока при напуске воздуха фиксировалось после прекращения изменения тока и временной выдержки в течение 10–15 мин.

Относительные изменения термоэмиссионного тока исследованных катодов при напуске воздуха представлены в табл. 1.

Обратим внимание на следующие особенности отравления. Катоды с меньшим содержанием вольфрама (20, 29, 37 мас. %) отравляются во всех исследованных диапазонах температур и давлений. Максимальное отравление имеет место для катода с 29 мас. % W (уменьшение тока до 0,04 I_0 при $T = 1320$ К, что соответствует возрастанию работы выхода на 0,37 эВ). Наиболее стойким к отравлению

является катод с 37 мас. % W: $I/I_0 = 0,79$ при $T = 1800$ К.

Для катодов других составов (44, 70, 87 мас. % W) наряду с отравлением наблюдалось возрастание отбираемого термоэлектронного тока для некоторых интервалов температуры и давления воздуха. Например, для катода с 87 мас. % W при $p = 1,3 \cdot 10^{-3}$ Па и $T = 1480$ К эмиссионный ток возрастает в 3,11 раза (снижение работы выхода на 0,14 эВ).

Для наглядности на рис. 1 и 2 приведены зависимости степени отравления I/I_0 от давления при напуске воздуха при различных температурах катодов со спадом и ростом эмиссионного тока.

Рост термоэмиссионного тока и, следовательно, уменьшение работы выхода при напуске атмосферного воздуха, по-видимому, связаны с адсорбцией кислорода на поверхности вольфрама, покрытого барием, подобно тому, как это имело

место в [5]. При увеличении процентного содержания вольфрама в гафнате бария число эмиссионно-активных центров при адсорбции кислорода возрастает, способствуя увеличению стойкости к отравлению, что и наблюдалось в проведенных экспериментах.

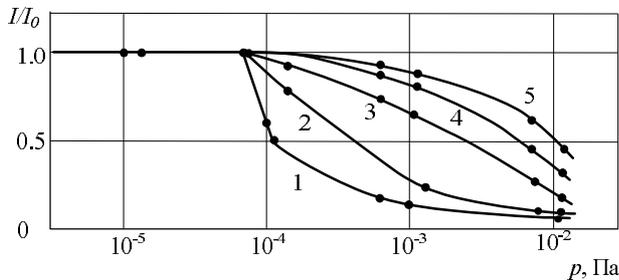


Рис. 1. Зависимости степени отравления катода 71 мас. % ВаНfO₃ – 29 мас. % W от давления при напуске воздуха для различных температур Т, К: 1 –1320, 2 –1410, 3 – 1500, 4 –1580, 5 –1670

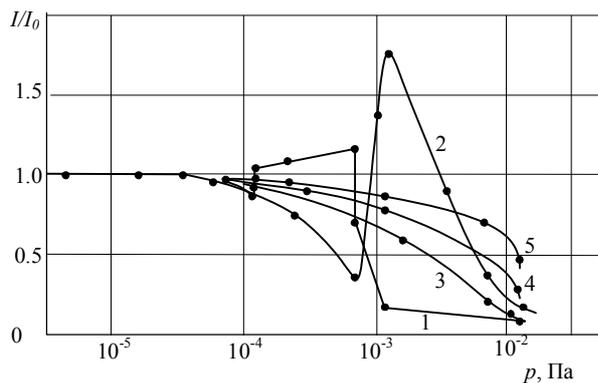


Рис. 2. Зависимости степени отравления катода 56 мас. % ВаНfO₃ –44 мас. % W от давления при напуске воздуха для различных температур Т, К: 1 –1350, 2 –1430, 3 –1520, 4 –1620, 5 –1690

Выводы

Изучена отравляемость эмиссионного материала ВаНfO₃ – W при напуске атмосферного воздуха. Эмиттеры, проявляющие максимальную эмиссионную способность (20, 29, 37 мас. % W), отравляются во всех исследованных диапазонах температур и давлений. При этом для эмиттеров с более высокой

работой выхода электрона (44, 70, 87 мас. % W) в определенных диапазонах температур и давлений имеет место увеличение эмиссионной активности, что связано с образованием адсорбционных систем W–Ba–O и Hf–Ba–O. Катоды на основе ВаНfO₃ – W легко реактивируются после отравления при напуске воздуха или пребывания на атмосфере.

Высокая термоэмиссионная способность, отсутствие необратимого отравления после пребывания на атмосфере позволяют рекомендовать прессованный эмиттер на основе системы гафнат бария – вольфрам для использования в полых катодах ЭРД и при выводе плазмы полого катода (например, плазмотрона) в атмосферу.

Литература

1. Оранский, А. И. Газоразрядные полые высокоэмиссионные катоды [Текст]: монография в 4 т.; под ред. А. И. Оранского / А. И. Оранский, А. С. Долгов, А. А. Таран. – X. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского “Харьк. авиац. ин-т”, 2011. – Т. 1: Основы проектирования. – 256 с.
2. Высокоэффективный горячепрессованный эмиттер на основе гафната бария с вольфрамом и перспективы его использования в полых катодах [Текст] / А. А. Таран, Е. К. Островский, Н. В. Белан, А. И. Оранский // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2004. – № 8 (16). – С. 202–206.
3. Получение, излучательные характеристики и особенности импульсной термоэмиссии катодов на основе гафната бария с вольфрамом [Текст] / А. А. Таран, Е. К. Островский, П. А. Комозынский и др. // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2004. – № 6/14. – С. 5–11.
4. Review of LaB₆, Re-W Dispenser, and BaHfO₃-W Cathode Development [Text] / A. Taran, D. Voronovich, S. Plankovskyy et al. // *IEEE Transactions on Electron Devices*. – 2009. – Vol. 56, no. 5. – P. 812–817.
5. Култашев, О. К. Влияние кислорода на работу выхода пленок электроположительных металлов, адсорбированных на 4d- и 5d-переходных металлах [Текст] / О. К. Култашев, А. П. Макаров, С. Е. Рожков // *Изв. АН СССР. Сер. физ.* – 1976. – Т. 40, № 12. – С. 2478 – 2483.

Поступила в редакцию 19.11.2013, рассмотрена на редколлегии 11.12.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф, зав. каф. авиационного материаловедения Я. С.Карпов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е.Жуковского «ХАИ», Харьков.

ОТРУЮВАНІСТЬ КАТОДНИХ МАТЕРІАЛІВ В СИСТЕМІ ВаНfO₃-W ПРИ НАПУСКУ ПОВІТРЯ*А. О. Таран, О. П. Кислицын, О. В. Подшивалова*

Наведено результати експериментальних досліджень отруюваності термоемісійних катодних матеріалів на основі системи гафнат барію – вольфрам з різним процентним вмістом компонентів в температурному діапазоні від 1320 до 1810 К і при тисках від $1,3 \cdot 10^{-2}$ до 10^{-5} Па при напуску повітря. Показано, що катоди з меншим вмістом вольфраму (20, 29, 37 мас. %) отруюються у всіх діапазонах температур і тисків. Для катодів з більшим вмістом вольфраму (44, 70, 87 мас. %), поряд з отруюванням, має місце зростання термоемісійного струму в деяких діапазонах температур і тисків. Останнє зумовлено адсорбцією кисню на поверхні вольфраму, вкритого барієм.

Ключові слова: катод, термоемісійний струм, гафнат барію, вольфрам, отруюваність.

POISONING OF THE CATHODE MATERIALS IN ВаНfO₃-W SYSTEM AT AIR LEAKING*A. O. Taran, O. P. Kyslytsyn, O. V. Podshyvalova*

The results of experimental investigations of poisoning for the thermionic cathode materials based on barium hafnate–tungsten system with different components percentage at temperature range from 1320 to 1810 K and at pressures from $1,3 \cdot 10^{-2}$ to 10^{-5} Pa under the air leaking are represented. It is shown that the cathodes with low contents of tungsten (20, 29, 37 mas. %) poison at all temperature and pressure ranges. For the cathodes with high contents of tungsten (44, 70, 87 mas. %) the increase of thermionic current takes place in some temperature and pressure ranges in addition to poisoning. The letter caused by the oxygen adsorption on tungsten surface covered by barium.

Key words: cathode, thermionic current, barium hafnate, tungsten, leaking.

Таран Анатолий Алексеевич – д-р техн. наук, проф., зав. каф. фізики, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: anatolytaran@rambler.ru.

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

Подшивалова Оксана Владимировна – канд. физ.-мат. наук, доц., Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: o.podshyvalova@gmail.com.