

ется максимальное значение относительного роста мощности. При дальнейшем повышении температуры коллектора до 1300 К величина относительного роста мощности ТЭП значительно уменьшается.

Таким образом, использование $Cs_3V_2O_5$ в качестве источника паров рабочего тела ТЭП приводит к повышению выходной мощности цезиевого преобразователя с коллектором из сплава ниобия с цирконием в среднем на 20—40 % в зависимости от температуры эмиттера. Особенно перспективным представляется использование $Cs_3V_2O_5$ в термоэмиссионных преобразователях с коллекторами из ванадия или ванадийсодержащих сплавов.

Авторы выражают благодарность Н. Г. Начкебин и Б. И. Ермилову за помощь при проведении экспериментов.

Список литературы

- [1] *Елисеев В. Б., Пятницкий А. П., Сергеев Д. И.* Термоэмиссионные преобразователи энергии. М.: Атомиздат, 1970. 136 с.
- [2] *Ушаков Б. А., Никитин В. Д., Емельянов И. Я.* Основы термоэмиссионного преобразования энергии. М.: Атомиздат, 1974. 288 с.
- [3] *Сергеев Д. И., Титков А. С.* Адсорбирующие электроды. М.: Энергоиздат, 1982. 128 с.
- [4] *Гвердцители И. Г., Каландаршвили А. Г., Кашия В. Г.* // ЖТФ. 1985. Т. 55. Вып. 2. С. 283—286.
- [5] *Каландаршвили А. Г.* Источники рабочего тела для термоэмиссионных преобразователей энергии. М.: Энергоатомиздат, 1986. 184 с.
- [6] *Каландаршвили А. Г., Кашия В. Г., Мургулия Г. Е.* Тр. Абхазского гос. университета им. А. М. Горького. Т. 5. Сухуми: Алашара, 1987. С. 148—150.
- [7] *Волков В. Л., Сулят Л. Л., Фотиев А. А.* // Изв. АН СССР. Неорган. материалы. 1974. Т. 10. № 1. С. 181.
- [8] *Фотиев А. А., Ходос М. Я., Плетнева Е. Д.* // Оксидные бронзы / Под ред. В. И. Спицына. М.: Наука, 1982. С. 17—40.
- [9] *Субботин В. А., Брюзгин А. М., Чередниченко Ю. Г. и др.* // ПТЭ. 1978. № 1. С. 152—154.
- [10] *Спицын Б. В., Майдановская Л. Г.* // ХФХ. 1959. Т. 33. № 1. С. 180—182.

Сухумский
физико-технический институт
им. И. Н. Векуа

Поступило в Редакцию
11 ноября 1990 г.
В окончательной редакции
15 апреля 1991 г.

04

© 1991 г.

Журнал технической физики, т. 61, в. 9, 1991

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЭП С ЦЕЗИЙ-ВИСМУТ-КИСЛОРОДНЫМ НАПОЛНЕНИЕМ

А. Г. Каландаршвили, В. Г. Кашия

В настоящее время среди электроотрицательных добавок, улучшающих выходные электрические параметры цезиевого термоэмиссионного преобразователя энергии (ТЭП), перспективным наравне с кислородом считается и висмут [1, 2]. На основе химических соединений висмута с цезием созданы эффективные источники паров рабочего тела типа Cs_xBi ($0 < x \leq 3$) [2], которые позволяют за счет оптимизации эмиссионно-адсорбционных свойств преобразователя существенно повысить выходную электрическую мощность преобразователя. При сравнительно низких температурах эмиттера ($T_e < 1800$ К) улучшение выходных параметров ТЭП происходит за счет одновременного увеличения тока эмиссии эмиттера и снижения эффективной работы выхода коллектора [3]. При высоких температурах эмиттера ($T_e > 1990$ К) висмут практически не влияет на работу выхода вольфрамовой поверхности [4] и основной вклад в повышение выходной мощности преобразователя вносит коллектор.

Наличие кислорода в рабочем объеме цезий-висмутового ТЭП при высоких температурах эмиттера может привести к дополнительному росту выходной мощности преобразователя за счет увеличения вакуумной работы выхода эмиттера кислородом. При этом не исключена возможность существенного снижения эффективной работы выхода коллектора путем образования на его поверхности сложной пленки $Cs_3Bi(O)$ [5]. Поэтому практический интерес представляют проблемы исследования выходных параметров ТЭП с цезий-висмут-кислородным наполнением и создания ресурсоспособного источника рабочего тела со стабильной подачей паров цезия, висмута и кислорода в межэлектродный зазор преобразователя. В этом отношении несомненный интерес представляет гетерогенная система оксид висмута (Bi_2O_3)—цезий.

В настоящей работе приводятся результаты экспериментального исследования вольт-амперных характеристик (ВАХ) ТЭП с цезий-висмут-кислородным наполнением.

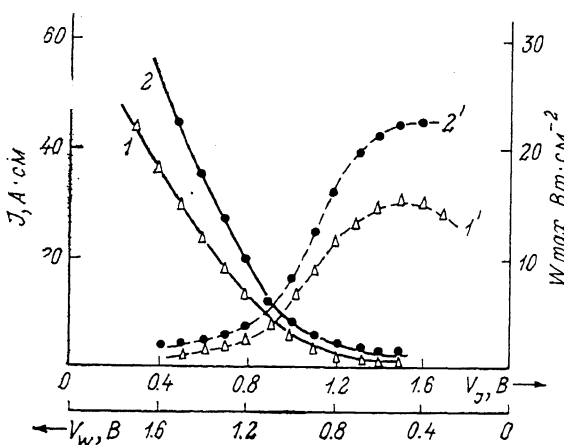


Рис. 1. Огибающие ВАХ ТЭП (сплошные кривые) и соответствующие зависимости $W_{max} = f(V)$ при $T_s=2000$ К и $T_s=1000$ К для различных источников.

Экспериментальная установка и методика исследования ВАХ ТЭП были аналогичны описанным в работах [1, 2]. Эмиттером цилиндрического ТЭП служил $W(110)$, в качестве коллектора применялся поликристаллический вольфрам [6], а межэлектродный зазор в холодном состоянии электродов составлял 0.25 мм. Вакуумно-цезиевая система позволяла автономно исследовать ВАХ преобразователя как с жидким цезием, так и с цезий-висмут-кислородным наполнением. Вакуумная система после термической обработки рабочего объема обеспечивала получение статического давления остаточных газов $1 \cdot 10^{-4}$ Па. Цезий перед контактом с Bi_2O_3 дополнительно очищался методом вакуумной дистилляции [2]. Исходные образцы оксида висмута в виде таблеток весом $0.5-1.0 \cdot 10^{-3}$ г изготовлялись из мелкодисперсного порошка особой чистоты (ТУ 6-09-1853-77) методом холодного прессования и обезгаживались непосредственно в рабочем объеме при температуре 700 ± 10 К в течение 20—30 ч.

Методика исследования ВАХ ТЭП включала термическую обработку электродов преобразователя при $T_s=2150$ К и $T_k=1350$ К в течение 6—10 ч, снятие реперных ВАХ на жидком цезии, синтез источника паров рабочего тела на основе системы оксид висмута—цезий и снятие огибающих ВАХ ТЭП с цезий-висмут-кислородным наполнением.

Огибающие ВАХ ТЭП снимались для температур эмиттера $T_s=1800-2100$ К и коллектора $T_k=900-1300$ К через 100 К.

Синтез источника паров рабочего тела на основе системы оксид висмута—цезий осуществлялся непосредственно в рабочем объеме ТЭП. Температурный режим и продолжительность синтеза были определены предварительно гравиметрическим методом [7]. Исследования показали, что при температуре оксида висмута 680 К и равновесном давлении цезия в течение ~ 80 мин образуется

конечный продукт реакции с приближительным значением отношения $z = m_{Cs} / m_{V_2O_5} = 3.42$. На основе работы [5] можно предположить, что взаимодействие цезиевого пара с Bi_2O_3 приводит к образованию Cs_3Bi и оксидов цезия. Если цезий окисляется до оксида, то взаимодействие в гетерогенной системе Bi_2O_3 (твердый) + Cs (пар) происходит по реакции $Bi_2O_3 + 12Cs \rightarrow 2Cs_3Bi + 3Cs_2O$. Электроразрядным датчиком [8] в интервале температур 600—800 К было измерено давление насыщенного пара цезия над цезий-висмут-кислородным источником с $z = 3.42$. Оно подчиняется уравнению

$$\lg P = (9.0 \pm 0.2) - (4668 \pm 90) \cdot T^{-1},$$

где P — давление насыщенного пара цезия в Па, T — температура резервуара с источником в К.

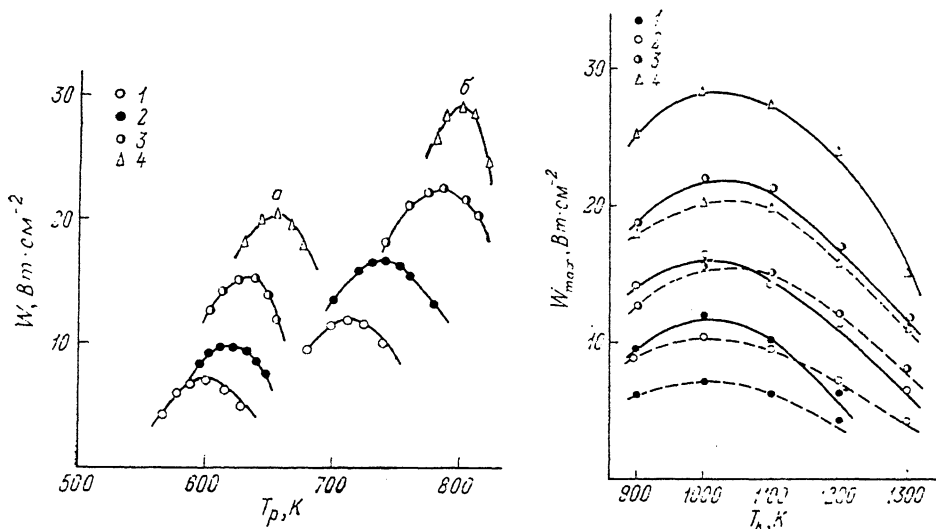
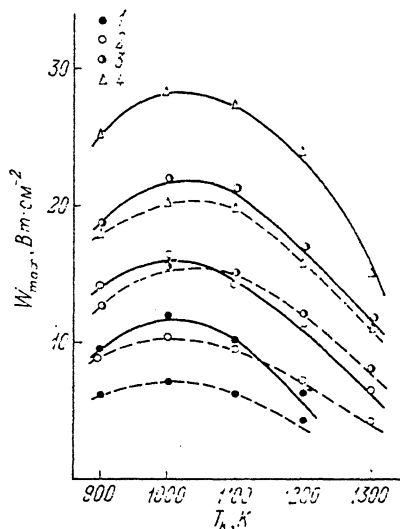


Рис. 2. Зависимость $W = f(T_p)$ при $T_k = 1000 \text{ K} = \text{const}$ для Cs (а) и цезий-висмут-кислорода (б).

$T_s = 1800$ (1), 1900 (2), 2000 (3), 2100 К (4).

Рис. 3. Зависимость $W_{\max} = f(T_k)$ для $T_s = 1800$ (1), 1900 (2), 2000 (3), 2100 К (4) и различных источников.



Отклонение экспериментальных точек от аппроксимирующего уравнения не превышает 2 %, но при наличии цезия, физически адсорбированного в источнике, возможно существенное отклонение.

Экспериментально полученные огибающие ВАХ ТЭП при $T_s = 2000 \text{ K}$ и $T_k = 1000 \text{ K}$ представлены на рис. 1 в виде сплошных кривых. Здесь же в виде штриховых кривых приведены соответствующие зависимости максимальной удельной выходной электрической мощности W_{\max} преобразователя от выходного напряжения на электродах. Кривые 1 и 1' получены для чисто цезиевого наполнения, а кривые 2 и 2' — для цезий-висмут-кислородного источника. Как видно, использование тернарного цезий-висмут-кислородного наполнения приводит к относительному росту выходной мощности цезиевого ТЭП на ~50 %. Рост мощности, очевидно, происходит как за счет висмута, источником которого является Cs_3Bi [2], так и за счет кислорода, источником которого служат цезийсодержащие оксиды. Характерное изменение наклона огибающей ВАХ ТЭП с цезий-висмут-кислородным наполнением указывает на изменение эмиссионно-адсорбционных свойств материала эмиттера под воздействием кислорода.

Построенные на основе огибающих ВАХ кривые зависимости удельной выходной электрической мощности W преобразователя от температуры резервуара с источником для различных температур эмиттера при температуре коллектора $T_k = 100 \text{ K} = \text{const}$ представлены на рис. 2. Серия кривых а построена для жидкого цезия, кривых б — для источника с $z = 3.42$.

Из рис. 2 видно, что оптимальная рабочая температура резервуара с источником цезий—висмут—кислород смещена по сравнению с оптимальной рабочей температурой резервуара с жидким цезием в сторону высоких температур на $\sim 110\text{--}150\text{ K}$ в зависимости от температуры эмиттера. При $T_s=1800, 1900, 2000, 2100\text{ K}$ относительный рост мощности ТЭП для источника с $z=3.42$ составляет 66, 64, 48, 43 % соответственно. Причем для $T_s=1900, 2000\text{ K}$ наблюдается относительно слабая зависимость выходной мощности ТЭП от температуры резервуара с $z=3.42$, а для $T_s=2100\text{ K}$ функция $W=f(T_p)$ становится более крутой, чем для чистого цезия. Такая резкая, почти резонансная зависимость выходной мощности ТЭП от резервуара с источником характерна для оксидов цезия [2].

Зависимость W_{\max} от температуры коллектора при постоянной температуре эмиттера для различных источников паров рабочего тела представлена на рис. 3. Сплошные кривые соответствуют цезий-висмут-кислородному наполнению, а штриховые — чисто цезиевому наполнению.

Из рис. 3 видно, что в случае чисто цезиевого наполнения оптимальная рабочая температура коллектора из поликристаллического вольфрама составляет $\sim 1050\text{ K}$ и практически не зависит от рабочей температуры эмиттера. Для цезий-висмут-кислородного наполнения зависимость $W_{\max}=f(T_k)$ становится более крутой, а максимальное значение относительного роста мощности наблюдается при $T_k \approx 1000\text{ K}$. Кроме того, из рис. 3 видно, что использование в ТЭП цезий-висмут-кислородного наполнения равнозначно снижению рабочей температуры эмиттера примерно на 100 K с сохранением выходной мощности цезиевого преобразователя на заданном уровне.

На основе анализа полученных экспериментальных результатов можно сделать заключение, что использование системы цезий—висмут—кислород в качестве источника рабочего тела в дуговом режиме ТЭП приводит к существенному (40—60 %) росту выходной электрической мощности преобразователя по сравнению с чисто цезиевым наполнением. При этом оптимальная рабочая температура источника с $z=3.42$ смещается в область более высоких температур примерно на 150 K и одновременно наблюдается незначительное (на $\sim 100\text{ K}$) уменьшение оптимальной рабочей температуры коллектора. Можно предположить, что источник цезий—висмут—кислород с $z=3.42$, представляющий собой сложную смесь Cs_3Vi и цезийсодержащих оксидов, может обеспечить проточный режим работы ТЭП за счет двухфазной равновесной реакции $2\text{Cs}_3\text{Vi} \rightleftharpoons \text{Cs}_3\text{Vi}_2 + 3\text{Cs}$ [9]. Поэтому исследование ТЭП с цезий-висмут-кислородным наполнением в режиме отбора рабочего тела представляется актуальным.

Авторы выражают благодарность С. А. Аведяну за помощь при проведении экспериментов.

Список литературы

- [1] Гердцители И. Г., Каландаришвили А. Г., Кашия В. Г. // Письма в ЖТФ. 1977. Т. 3. Вып. 22. С. 1199—1202.
- [2] Каландаришвили А. Г. Источники рабочего тела для термоэмиссионных преобразователей энергии. М.: Энергоатомиздат, 1986. 184 с.
- [3] Гердцители И. Г., Каландаришвили А. Г., Кашия В. Г., Чжаду С. С. // Конференция по термоэмиссионному методу преобразования тепловой энергии в электрическую. Обнинск, 1979. С. 118.
- [4] Бальковский Н. Г., Коротков К. Г. Физическая электроника. Тр. ЛПИ. № 356. Л., 1977. С. 31—34.
- [5] Somner A. H., Spicer W. E. // J. Appl. Phys. 1961. Vol. 32. N 6. P. 1036—1042.
- [6] Сергеев Д. И., Титков А. С. Адсорбирующие электроды. М.: Энергоиздат, 1982. 128 с.
- [7] Каландаришвили А. Г., Кашия В. Г., Мургулия Г. Е. // Тр. Абхазского государственного университета им. А. М. Горького. Т. 5. Сухуми: Алашара, 1987. С. 148—149.
- [8] Субботин В. А., Брюзгин А. М., Чередниченко Ю. Г. и др. // ПТЭ. 1978. № 1. С. 152—154.
- [9] Гердцители И. Г., Каландаришвили А. Г., Кашия В. Г. // ЖФХ. 1984. Т. 58. № 8. С. 1955—1957.

Сухумский физико-технический институт им. И. Н. Веква

Поступило в Редакцию
11 ноября 1990 г.