

- [7] Kunhardt E. E., Byszewski W. W. // Phys. Rev. 1980. Vol. 21. A. N 6. P. 2069—2077.  
[8] Бабич Л. П. // ДАН СССР. 1982. Т. 263. № 1. С. 76—79.  
[9] Бабич Л. П., Лойко Т. В. // ЖТФ. 1985. Т. 55. Вып. 5. С. 956—958.  
[10] Бабич Л. П., Иванов Н. В., Лойко Т. В. // Тез. докл. III Всесоюз. конф. по физике газового разряда. Киев, 1986. С. 9—11.

Поступило в Редакцию  
2 ноября 1990 г.

04

© 1991 г.

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

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЭП С ИСТОЧНИКОМ ПАРОВ РАБОЧЕГО ТЕЛА НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ОКСИД ВАНАДИЯ—ЦЕЗИЙ

*А. Г. Каландаришвили, В. Г. Кашия*

Основными электродными материалами в термоэмиссионных преобразователях энергии (ТЭП) являются тугоплавкие металлы (вольфрам, молибден, ниобий, рений и т. д.). Для улучшения отдельных механических и физических свойств этих металлов (жаропрочность, коррозионная стойкость и т. д.) в качестве легирующих добавок к ним часто применяются рутений, ванадий и цирконий [1, 2].

Исследования, проведенные в работах [1, 3], показали, что в определенных условиях эффективным коллекторным материалом может служить ванадий либо ванадийсодержащие сплавы. Наличие кислорода в остаточной атмосфере рабочего объема прибора приводит к тому, что реально, несмотря на разные методы обработки, на поверхности эмиттера и коллектора всегда присутствуют оксиды материалов, входящих в состав электродов [3]. Эти оксиды могут вступать в реакцию с цезиевым паром и образовывать различные соединения, существенным образом влияющие на выходные параметры преобразователя. Например, такие соединения на поверхности коллектора могут служить источниками паров цезия, нарушая прямую функциональную зависимость выходной мощности ТЭП от температуры резервуара с рабочим телом. Кроме того, источник паров рабочего тела на основе соединения цезия с оксидом материала электрода может привести к улучшению выходных параметров ТЭП за счет оптимизации кислородом эмиссионно-адсорбционных свойств электродов.

В данной работе приводятся результаты экспериментального исследования вольт-амперных характеристик (ВАХ) ТЭП с источником рабочего тела на основе системы оксид ванадия ( $V_2O_5$ )—цезий.

Экспериментальная установка и методика исследования ВАХ ТЭП были аналогичны описанным в работах [4, 5]. Эмиттером цилиндрического ТЭП служил W (110), в качестве коллектора применялся сплав ниобия с цирконием, а межэлектродный зазор в холодном состоянии электродов составлял 0.25 мм. Цезий перед контактом с  $V_2O_5$  дополнительно очищался методом вакуумной дистилляции. Исходные образцы оксида ванадия марки ОЧ в виде таблеток весом 0.5—1.0·10<sup>-3</sup> г изготовлялись из мелкодисперсного порошка методом холодного прессования.

Обжигающие ВАХ ТЭП снимались для температур эмиттера  $T_e=1900$ —2100 К и коллектора  $T_k=900$ —1300 К через 100 К. Обработка экспериментальных результатов проводилась методом наименьших квадратов на ЭВМ ЕС 1050 со среднеквадратичной ошибкой, не превышающей 2 % [5].

Синтез источника паров рабочего тела на основе системы оксид ванадия—цезий осуществлялся непосредственно в рабочем объеме ТЭП. Температурный режим и продолжительность синтеза были определены предварительно гравиметрическим методом [6]. Исследования показали, что при температуре оксида

ванадия 600 К и равновесном давлении цезия в течение  $\sim 100$  мин образуется конечный продукт черного цвета с приблизительным значением отношения  $m_{\text{Cs}}/m_{\text{V}_2\text{O}_5} = 2.34$ , которому соответствует состав  $\text{Cs}_3\text{V}_2\text{O}_5$ . В отличие от кислородных ванадиевых бронз цезия  $\text{Cs}_x\text{V}_2\text{O}_5$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) [7] полученный продукт аналогично с [8] можно представить как  $\text{Cs}_{2+x}\text{V}_2\text{O}_5$  твердый раствор внедрения понов' цезия в структуру гипотетического  $\text{Cs}_2\text{V}_2\text{O}_5$ . Электроразрядным датчиком [9] в интервале температур 800—1000 К было измерено давление насыщенного пара цезия над  $\text{Cs}_3\text{V}_2\text{O}_5$ . Оно подчиняется уравнению

$$\lg P = (9.1 \pm 0.2) - \frac{6165 \pm 120}{T},$$

где  $P$  — давление насыщенного пара цезия в Па;  $T$  — температура резервуара с  $\text{Cs}_3\text{V}_2\text{O}_5$  в К.

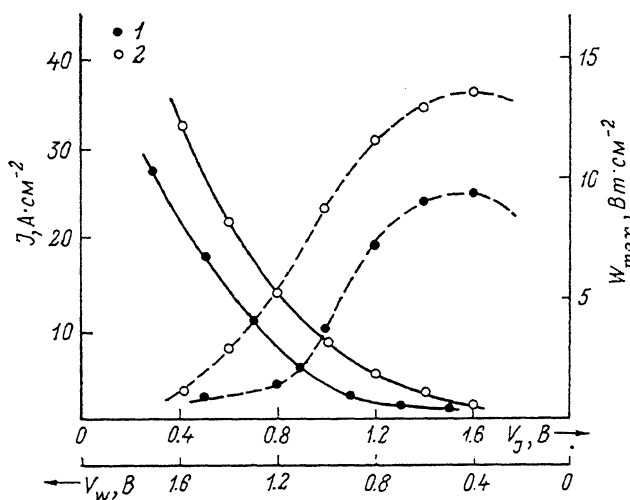


Рис. 1. Огибающие ВАХ ТЭП (сплошные кривые) и соответствующие зависимости  $W_{\text{max}} = f(V)$  при  $T_s = 2100$  К и  $T_k = 1000$  К для различных источников.

Отклонение экспериментальных точек от аппроксимирующего уравнения не превышает 2 %, но при изменении концентрации цезия, внедренного в гипотетическом  $\text{Cs}_2\text{V}_2\text{O}_5$ , возможно существенное отклонение от аппроксимирующего уравнения.

Экспериментально полученные огибающие ВАХ ТЭП при  $T_s = 2100$  К и  $T_k = 1000$  К представлены на рис. 1 в виде сплошных кривых. Здесь же в виде штриховых кривых приведены соответствующие зависимости максимальной удельной выходной мощности  $W_{\text{max}}$  преобразователя от выходного напряжения на электродах. Кривая 1 получена для чисто цезиевого наполнения, а кривая 2 соответствует  $\text{Cs}_3\text{V}_2\text{O}_5$ . Как видно, использование  $\text{Cs}_3\text{V}_2\text{O}_5$  в качестве источника рабочего тела приводит к относительному росту выходной мощности цезиевого ТЭП на 43 %. Рост мощности, очевидно, происходит за счет кислорода, источником которого служит  $\text{Cs}_3\text{V}_2\text{O}_5$ . Согласно [10], оксид ванадия при температурах 500—600 К, что значительно меньше температуры плавления  $\text{V}_2\text{O}_5$  (950 К), диссоциирует с выделением кислорода. Аналогичное явление должно происходить с  $\text{Cs}_3\text{V}_2\text{O}_5$ , который представляет собой смесь цезийсодержащих оксидов.

Построенные на основе огибающих ВАХ кривые зависимости удельной выходной электрической мощности преобразователя от температуры резервуара с источником для различных температур эмиттера при  $T_k = 1000$  К = const представлены на рис. 2. Серия кривых а построена для жидкого цезия, кривых б — для  $\text{Cs}_3\text{V}_2\text{O}_5$ .

Из рис. 2 видно, что оптимальная рабочая температура резервуара с источником  $\text{Cs}_3\text{V}_2\text{O}_5$  смещена по сравнению с оптимальной рабочей температурой резервуара с жидким цезием в сторону более высоких температур на  $\sim 200$  К.

При высоких температурах эмиттера наблюдается пологая зависимость выходной мощности ТЭП от температуры резервуара с  $\text{Cs}_3\text{V}_2\text{O}_5$ . Относительный рост мощности ТЭП для  $\text{Cs}_3\text{V}_2\text{O}_5$  при  $T_{\text{к}}=1000$  К и  $T_{\text{э}}=1900, 2000, 2100$  К составляет 18, 30, 43 % соответственно.

Зависимость максимальной удельной выходной электрической мощности ТЭП от температуры коллектора при постоянной температуре эмиттера для раз-

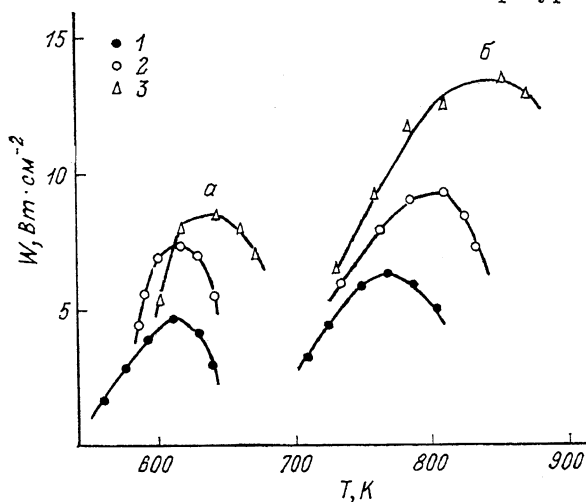


Рис. 2. Зависимость удельной выходной электрической мощности ТЭП от температуры резервуара с источником при  $T_{\text{к}}=1000$  К = const.

$T_{\text{э}}=1900$  (1), 2000 (2), 2100 К (3).

личных источников паров рабочего тела представлена на рис. 3. Сплошные кривые соответствуют источнику  $\text{Cs}_3\text{V}_2\text{O}_5$ , а штриховые — чисто цезиевому наполнению.

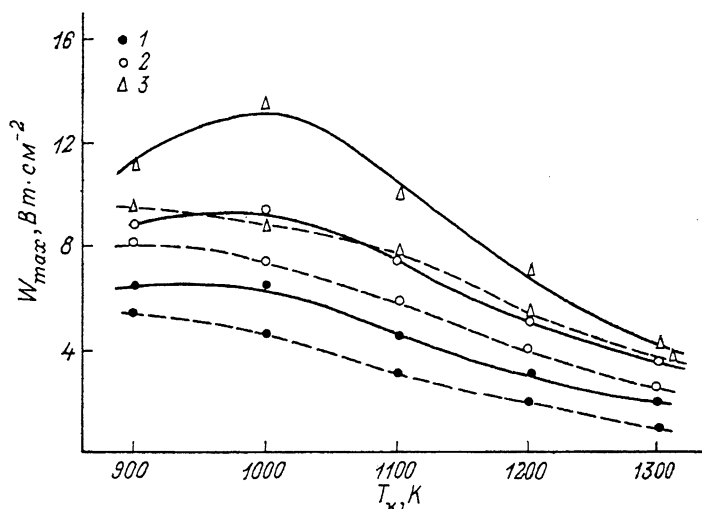


Рис. 3. Зависимость  $W_{\text{max}}=f(T_{\text{к}})$  для  $T_{\text{э}}=1900$  (1), 2000 (2), 2100 К (3) и различных источников.

Из рис. 3 видно, что в случае чисто цезиевого наполнения оптимальная рабочая температура коллектора из ниобиевого сплава с цирконием в зависимости от температуры эмиттера составляет  $\sim 900$  К, т. е. находится на уровне оптимальной рабочей температуры коллектора из поликристаллического ниобия [4]. Использование в качестве источника паров рабочего тела  $\text{Cs}_3\text{V}_2\text{O}_5$  приводит к тому, что оптимальная рабочая температура коллектора из сплава ниобия с цирконием возрастает до 1000 К. При этой температуре коллектора наблюда-

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. Начкебиц 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.