

11; 12

© 1993

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ
ОКИСЛЕННОЙ ВОЛЬФРАМОВОЙ ГУБКИ
В ПОТОКЕ АТОМОВ ЦЕЗИЯ

К.А. Турсунметов, А.К. Сабиров

Долговечность и стабильность работы системы $Me-O-Cs$, используемой в термоэмиссионных преобразователях энергии (ТЭП), в основном зависит от термоустойчивости окислов металлов и от содержания кислорода в металле. Поэтому используемый металл должен иметь высокую растворимость кислорода, а его окислы – высокую термоустойчивость [1].

В последние годы большой интерес представляют эмиссионные свойства окисленного поли- и монокристаллического вольфрама в потоке атомов цезия.

Однако растворимость кислорода в вольфраме низка [2, 3]. Следовательно, срок службы окисленного вольфрама в парах цезия ограничен, так как долговечность и стабильность работы системы $W-O-Cs$ зависит от сохранения поверхностной концентрации не только цезия, но и, в основном, кислорода. Многие окислы вольфрама WO_2 , $W_{19}O_{49}$, $W_{20}O_{58}$, которые образуются при его окислении, устойчивы до 1000 К. Единственный окисел – WO_3 – устойчив до 1373 К [4]. Следовательно, не очень высокая термоустойчивость окислов приводит к истощению кислорода с поверхности системы $W-O-Cs$, обусловленное испарением самого кислорода и окислов вольфрама [2–4].

Было отмечено, что травление поверхности кислородом приводит к развитию поверхности [5, 6], следовательно, к увеличению эмиссионных свойств $W-O-Cs$. Поэтому в настоящей работе изучена термоэлектронная эмиссия вольфрамовой губки пористостью 30–40%, так как эффективная поверхность губки во много раз больше, чем поликристаллического вольфрама, а также пористость губки позволяет растворить большое количество кислорода при окислении, которое определяет долговечность и стабильность работы системы $W-O-Cs$.

Вольфрамовая губка изготовлена из мелкозернистого порошка вольфрама ($\phi = 1-2$ мкм) по стандартной технологии [7]. Поверхность сначала полирована до зеркального блеска, а затем ионным травлением снята поверхностная часть толщиной $\sim 4-5$ мкм для снятия деформированной части губки.

Экспериментальный прибор с плоскопараллельной геометрией аналогичен описанному в работе [8]. Источником кислорода служила тонкая никелевая трубочка, заполненная окисью меди, а источником цезия – ампула с жидким цезием, очищенным многократной перегонкой в вакууме $\sim 10^{-8}$ Тор.

Температура образца контролировалась термопарой ВР-5/20. Измерения эмиссионных параметров проводились в вакууме $\leq 2 \times 10^{-8}$ Тор. Измерения проводились при температурах цезия 100 и 120°C (поток цезия $\dot{V} = (1-6) \cdot 10^{14}$ ат/см².с). Окисление образца проводилось в атмосфере кислорода при его давлении $(1-2) \cdot 10^{-5}$ Тор при температурах образца 900-1300 К.

После длительного обезгаживания вольфрамовой губки при давлении остаточного газа $\leq 2 \cdot 10^{-8}$ Тор прогревом при 2000 К стабилизированное значение работы выхода ее составляло 3.952 ± 0.05 эВ в температурном интервале 1150-1850 К. Это значение значительно меньше, чем работа выхода поликристаллического вольфрама, составляющая 4.50 эВ [9, 10].

После стабилизации эмиссионных свойств вольфрамовой губки изучались эмиссионные свойства ее в потоке атомов цезия $(1-6) \cdot 10^{14}$ ат/см².с. Минимальное значение работы выхода системы *W* губка-*Cs* составляло 1.50 ± 0.03 эВ при $T = 550-570$ К. Это значение работы выхода меньше, чем работа выхода системы поликристаллический вольфрам-цезий на ~ 0.1 эВ. Если считать, что эта разница в работе выхода обусловлена значением эффективной эмиттирующей площади, то эффективная площадь вольфрамовой губки, покрытой цезием, на порядок больше, чем эмиттируемые площади системы поликристаллический *W-Cs*.

На рис. 1 приведена низкотемпературная часть S-образных кривых для неокисленного и окисленного при различных температурах образца. Как видно из этих данных, эмиссионные свойства системы очень сильно зависят от температуры окисления вольфрамовой губки. Самые минимальные значения работы выхода достигаются сразу же после окислений при $T = 1000$ и $T = 1300$ К. При этом можно получать минимум работы выхода на уровне 1.2 эВ при $T = 530-560$ К. Это значение меньше на ~ 0.1 эВ, чем для системы поликристаллический *W-O-Cs*. Однако температурные прогревы, т.е. термоотжиги, во многих случаях улучшают эмиссионные свойства систем *Me-O-Cs* [11, 12]. Термический отжиг окисленного вольфрама и других металлов приводит к испарению „излишков“ кислорода с поверхности и способствует упорядочению структуры и состава окислов металлов. Поэтому исследовались изменения эмиссионных свойств системы после различных термоотжигов окисленной вольфрамовой губки в различных режимах.

На рис. 2 приведены изменения температурной зависимости работы выхода в потоке атомов цезия в процессе прогрева при $T = 1000$ и 1100 К, окисленного при $T = 900$ К. Как видно из рисунка, после окисления вольфрамовой губки достигается минимум работы выхода на уровне 1.3 эВ. После прогрева при $T = 1000$ К в вакууме минимум работы выхода уменьшается до 1.04-1.06 эВ, а при прогреве $T = 1100$ К в течение 20 мин минимальное значение работы выхода увеличивается до 1.10 эВ.

На рис. 3 приведены изменения температурной зависимости работы выхода окисленной вольфрамовой губки при $T = 1000$ К в потоке атомов цезия в процессе термических прогревов. Как видно

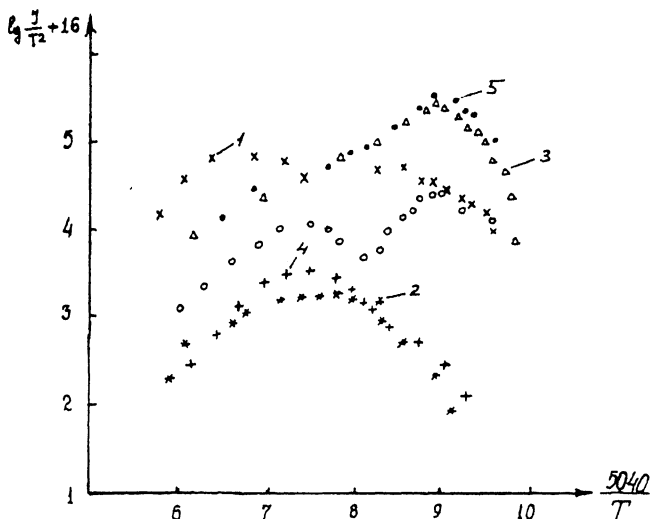


Рис. 1. Низкотемпературная часть S-образных кривых для неокисленной (1) и окисленной вольфрамовой губки при $T = 9000$ К (2), 1000 К (3), 1100 К (4), 1200 К (ooo) и 1300 К (5) в потоке атомов цезия.

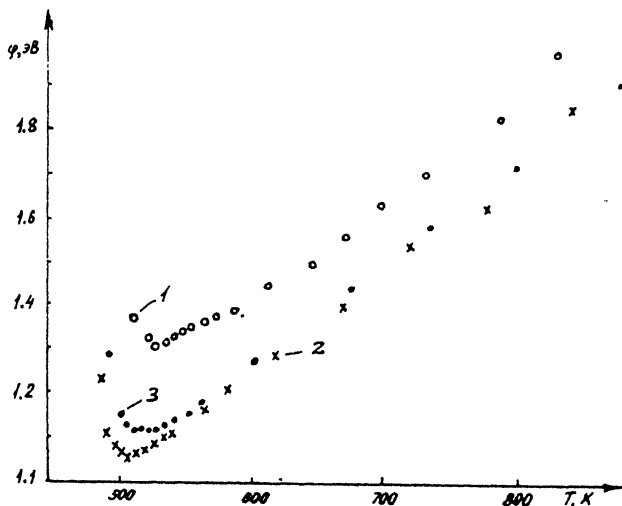


Рис. 2. Температурная зависимость работы выхода вольфрамовой губки, окисленной при $T = 900$ К (1), и после прогрева при $T = 1000$ К (2) и 1100 К (3) в потоке атомов цезия.

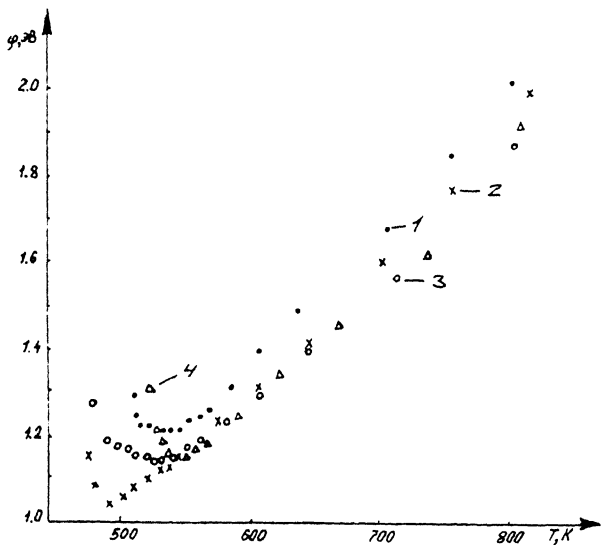


Рис. 3. Температурная зависимость работы выхода вольфрамовой губки, окисленной при $T = 1000$ К (1), и после прогрева $T = 1100$ К (2) и 1200 К (3), 1300 К (4) в потоке атомов цезия.

из этих данных, при окислении достигается минимум работы выхода системы на уровне 1.20 эВ. Прогрев-термоотжиг в вакууме при $T = 1100$ К в течение $20-30$ мин позволяет достичь работу выхода $1.03-1.05$ эВ при $T = 500 \pm 10$ К. Дальнейшие прогревы при 1200 и 1300 К увеличивают работу выхода системы $W_{\text{губка}}-O-Cs$ до $1.3-1.6$ эВ.

Таким образом, окисление вольфрамовой губки при $T = 1000$ К с последующим прогревом в вакууме при $T = 1100$ К позволяло получить в потоке атомов цезия минимальную стабильную и воспроизводимую работу выхода на уровне $1.03-1.05$ эВ. Этот режим окисления отличается от режимов окисления монокристаллического и поликристаллического вольфрама [5], где получено значение работы выхода на уровне 1.3 эВ, так как эмиссионные свойства системы сильно зависят от режима окисления и термоотжига. Если учесть результаты других работ [13-15], то в них достигнут минимум работы выхода $W-O-Cs$ на уровне $1.1-1.2$ эВ при $T = 550-650$ К. Следует отметить, что если считать истинную работу выхода системы $W-O-Cs$ одинаковой для окисленной губки и для поликристаллического окисленного вольфрама в потоке атомов цезия, то можно оценить эффективную площадь губки, эмиттирующую электроны. Оценки показывают, что эффективная эмиттирующая поверхность в $15-20$ раз больше, чем поверхность поликристалла.

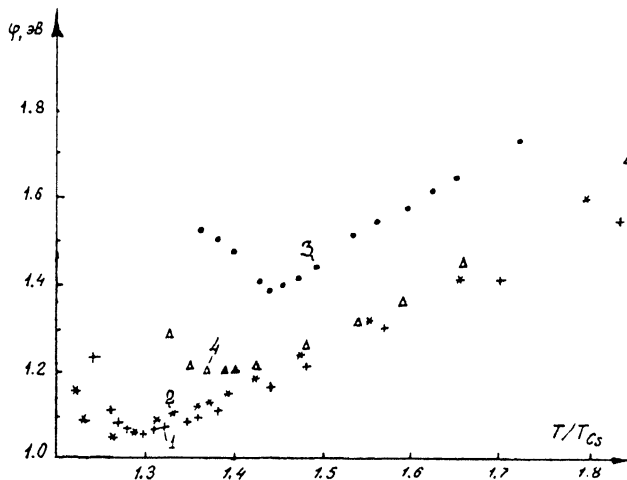


Рис. 4. Кривые Рейзора для вольфрамовой губки при различных температурах окисления и прогрева: 1 - $T_{\text{ок}} = 900 \text{ K}$, $T_{\text{прог}} = 1000 \text{ K}$; 2 - $T_{\text{ок}} = 1000 \text{ K}$, $T_{\text{прог}} = 1100 \text{ K}$; 3 - $T_{\text{ок}} = 1100 \text{ K}$, $T_{\text{прог}} = 1200 \text{ K}$; 4 - $T_{\text{ок}} = 1300 \text{ K}$, $T_{\text{прог}} = 1400 \text{ K}$.

Таким образом, в системе $W-O-Cs$ на основе вольфрамовой губки из-за развитой эмиссионной поверхности можно получить минимум работы выхода на уровне ~ 1.0 эВ.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] А з и з о в У.В., Т у р с у н м е т о в К.А., С а б и р о в А.К. // Тез. докл. конф. по термоэмиссионному методу преобразования тепловой энергии в электрическую. Обнинск: ФЭИ, 1984. С. 24.
- [2] Окисление металлов. / Под ред. Ж. Бенара. М.: Наука, 1966.
- [3] К о р н и л о в И.И., Г л а з о в а В.В. Взаимодействие тугоплавких металлов переходных групп с кислородом. М.: Наука, 1967.
- [4] К а з е н а с Е.К., Ч и ж и к о в Д.М. Давление и состав пара над окислами химических элементов. М.: Наука, 1975.
- [5] С а т т а р о в Х.М. и др. // Тез. докл. ХУП Всесоюз. конф. по эмиссионной электронике. Л., 1979.
- [6] П ш е н и ч к о в Ю.П. Выявление тонкой структуры кристаллов. М.: Металлургия, 1974.
- [7] К у д и н ц е в а Г.А. и др. Термоэлектронные катоды. М.: Энергия, 1966.
- [8] С а в и ц к и й Е.М. и др. Электрические и эмиссионные свойства сплавов. М.: Наука, 1978.

- [9] Ф о м е н к о В.С. Эмиссионные свойства материалов. Справочник. Киев: Наукова думка, 1981.
- [10] Т у р с у н м е т о в К.А. и др. // Изв. АН СССР. Сер. физическая. 1991. В. 12. С. 2349.
- [11] Т у р с у н м е т о в К.А., С а б и р о в А.К., А з и з о в У.В. // Тез. докл. XX Всесоюз. конф. по эмиссионной электронике. Киев, 1987. С. 36.
- [12] Т у р с у н м е т о в К.А., С а б и р о в А.К., Э р г а ш о в Ж.Н. // Изв. АН СССР Сер. физическая. 1991. В. 12. С. 2353.
- [13] D e s p l a t J. // Surface Sci. 1973. V. 34. N 3. P. 586;
D e s p l a t J. // Abstrs. 2nd Int. Conf. on Solid Surfaces. Kyoto (Jap.). 1974. P. 194.
- [14] К л и м е н к о Е.В., Н а у м о в е ц А.Г. // Тез. докл. по термоэмиссионному методу преобразования тепловой энергии в электрическую. Обнинск: ФЭИ, 1979.

Ташкентский государственный
технический университет
им. А.Р. Бируни

Поступило в Редакцию
30 ноября 1992 г.