

УДК 621.383

А. А. Понкратенко

Новосибирский государственный технический университет

## Проблемы производства мультищелочных фотокатодов контейнерным методом

*Рассмотрены технологические факторы, влияющие на получение мультищелочных фотокатодов контейнерным способом. Проанализированы морфология поверхности и состав получаемой пленки. Исследована спектральная зависимость коэффициента пропускания и связь параметров фотокатода с чувствительностью.*

### Мультищелочной фотокатод, контейнерная технология, повышение воспроизводимости

Мультищелочные фотокатоды (ФК) используются в электронно-оптических преобразователях поколения 2+, а также в различных детекторах [1]. Существует два основных метода производства данных ФК: контейнерный и бесконтейнерный. Фотокатоды, изготавливаемые бесконтейнерным способом, имеют интегральную чувствительность порядка  $S_A = 600 \dots 750$  мкА/лм и спектральную чувствительность  $S_\lambda = 50 \dots 60$  мА/Вт [2], а ФК, производимые в контейнере, –  $S_A = 450 \dots 550$  мкА/лм и  $S_\lambda = 25 \dots 35$  мА/Вт соответственно [3]. В настоящее время большое внимание уделяется совершенствованию контейнерной технологии с целью повышения воспроизводимости параметров фотокатодов и получения более высокой чувствительности.

Изготовление ФК при бесконтейнерной технологии ведется в больших объемах вакуумной системы. Для обеспечения состава и высокой воспроизводимости используется оптический кон-

троль [4]. При контейнерной технологии фотокатоды производятся в малых замкнутых объемах с высоким вакуумом, при этом контроль во время активировок ведется по изменению темнового и светового токов, но этот способ малоинформативен. На данный момент в литературе имеются сведения об использовании оптического контроля при изготовлении ФК в контейнере [3], однако возможность применения такого метода в промышленной технологии необходимо исследовать.

Для разработки методики оптического контроля важно знать особенности формирования пленочного фотокатода в условиях контейнера. Целью работы являлось определение взаимосвязи спектральной и интегральной чувствительностей мультищелочных ФК с их морфологией, составом, толщиной и спектрами пропускания.

**Использованные методы анализа.** Для анализа морфологии покрытий был использован растровый электронный микроскоп высокого раз-

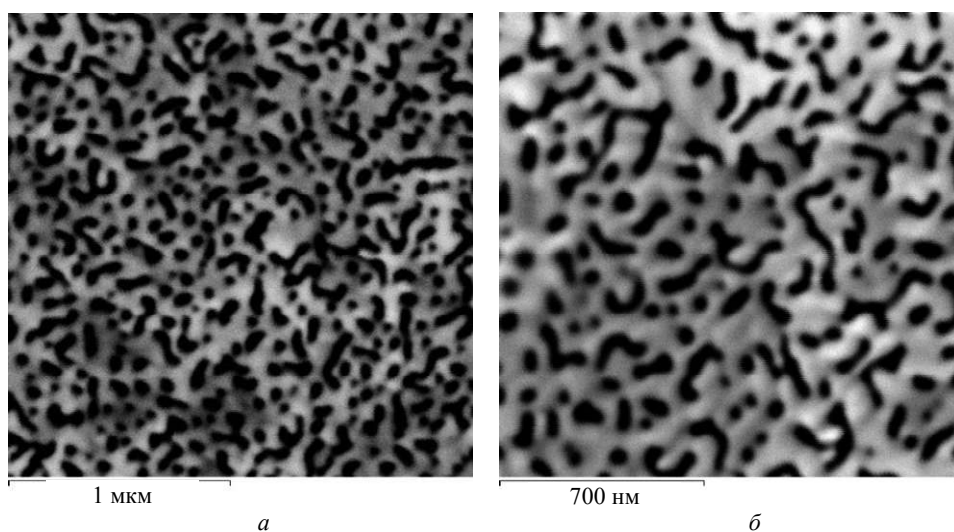


Рис. 1

решения Mira 3 (Tescan). Съемка производилась в режимах вторичных и упруго-отраженных электронов. Ускоряющее напряжение варьировалось от 5 до 10 кВ.

Химический состав покрытий определялся методом EDX-анализа, для которого использовались энергодисперсионные анализаторы INCA X-ACT и INCAx-Sight модель 7940 (Oxford Instruments). Толщина определялась с помощью микроинтерферометра МИИ-4, а для измерения коэффициента пропускания использовался спектрофотометр СФ-26.

**Результаты анализа.** Рассмотрим процесс образования фотокатода. Первым этапом формирования катода является напыление на стекло тонкого слоя сурьмы. Первый слой сурьмы толщиной порядка 300 Å ложится неоднородно, поверхность имеет островковый характер, что представлено на рис. 1, а. При напылении второго слоя сурьмы толщиной около 150 Å (рис. 1, б) наблюдается агломерация мелких островков с образованием более крупных, при этом общая неоднородность сохраняется. В процессе напыления сурьма кристаллизуется.

На рис. 2 представлен фотокатод, изготовленный по стандартному технологическому циклу. В процессе активировки формируется трехмерный рельеф, соответствующий начальной структуре сурьмы. Получившаяся поликристаллическая структура фотокатода состоит из зерен размером около 20 нм.

Состав фотокатода представлен в таблице. Содержание щелочных металлов по поверхности неравномерно, стехиометрия состава не соблюдается. Например, в точке 3 наблюдается пониженное содержание сурьмы.

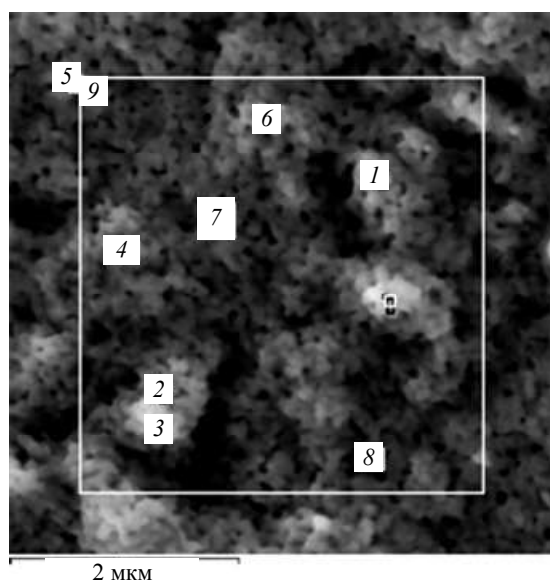


Рис. 2

Точка на рис. 2	Массовое содержание элемента, %		
	Na	K	Sb
1	14.98	7.48	9.43
2	18.71	8.88	7.26
3	18.55	8.81	3.33
4	18.43	9.89	9.30
5	20.64	9.30	8.79
6	20.28	9.08	6.80
7	20.52	9.73	9.24
8	19.02	10.62	9.54
9	20.93	9.71	7.27

Для определения корреляции чувствительности с толщиной фотокатода были получены зависимости спектральной и интегральной чувствительностей от толщины  $h$ :  $S_A = f(h)$  и  $S_\lambda = f(h)$ , которые представлены на рис. 3 и 4, где приняты следующие обозначения:  $\blacklozenge$  –  $S_A = f(h)$ ,  $\blacksquare$  –  $S_A > 700 = f(h)$ ,  $\bullet$  –  $S_\lambda = f(h)$ .

Зависимость интегральной чувствительности от толщины должна иметь максимум, обусловленный интерференцией в тонкой пленке [5]–[7], однако на полученной зависимости его не наблюдается. Кроме того, фотокатоды с одинаковой толщиной имеют чувствительность, отличающуюся в 1.5 раза, а фотокатоды с одинаковым значением чувствительности имеют значительно отличающуюся толщину. С ростом толщины спектральная чувствительность уменьшается. Наблюдаемый характер зависимостей можно объяснить несоблюдением стехиометрии фотокатода.

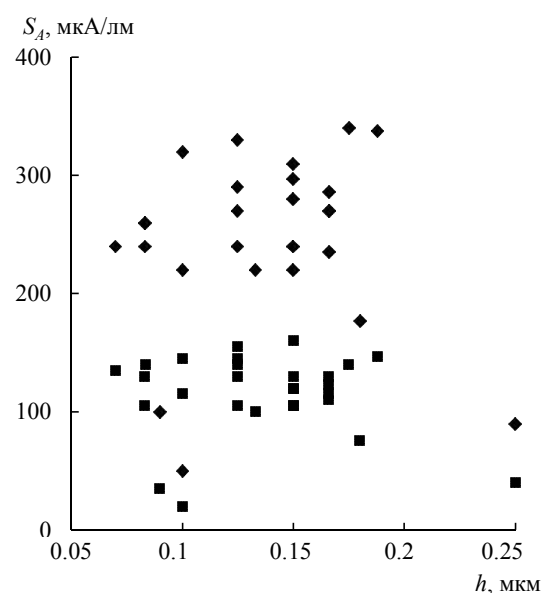
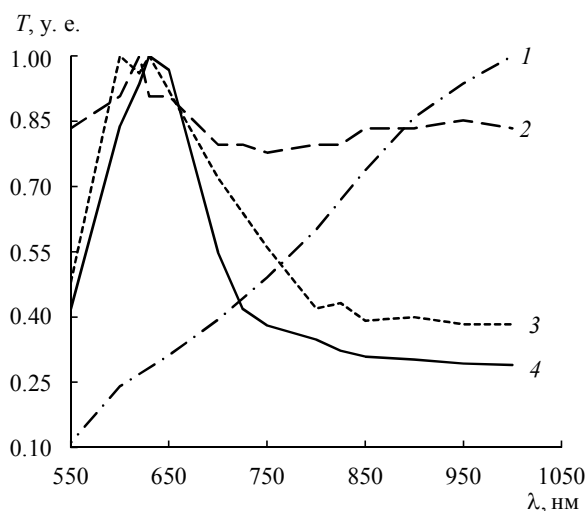
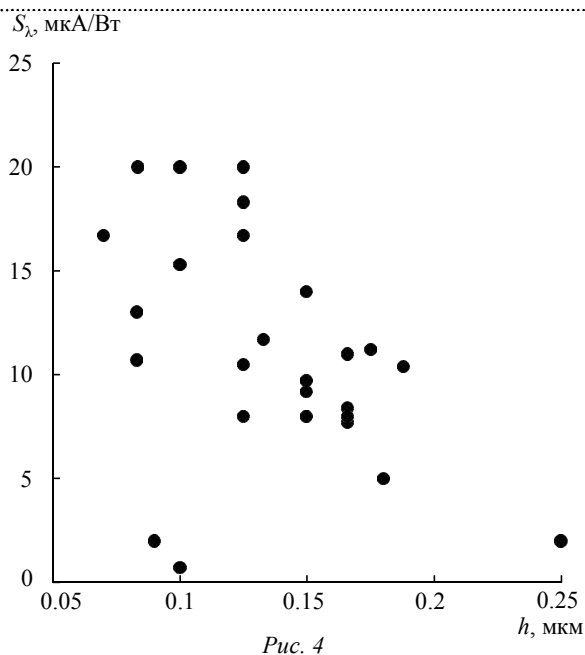


Рис. 3

Также были получены графики спектральной зависимости коэффициентов пропускания  $T$  фотокатодов толщиной 0.166 мкм. Зависимости представ-



лены на рис. 5, где 1 – расчетная зависимость [5]; 2 –  $S_A = 270$  мкА/лм,  $S_\lambda = 8,4$  мА/Вт; 3 –  $S_A = 235$  мкА/лм,  $S_\lambda = 8$  мА/Вт; 4 –  $S_A = 270$  мкА/лм,  $S_\lambda = 11$  мА/Вт. Экспериментальные зависимости были сравнены с расчетными графиками. Кривые пропускания полученных фотокатодов не соответствуют расчетным. Изготовленные фотокатоды имеют пик на длинах волн 600...630 нм, в ближней инфракрасной области наблюдается разброс коэффициентов пропускания, в том числе и у образцов, имеющих одинаковую интегральную чувствительность. Моделирование показывает, что форма зависимости для полученных ФК соответствует форме зависимости коэффициентов пропускания фотокатодов с меньшими коэффициентами преломления, по сравнению с расчетными.

Поскольку в пленках наблюдается несоответствие стехиометрии и разброс состава по поверхно-

сти, то для повышения воспроизводимости стехиометрии необходимо разработать средство для дополнительного контроля. Для этого можно использовать контроль по оптическим характеристикам. На данный момент разработан опытный макет устройства контроля по коэффициентам отражения, который был опробован в лабораторных условиях.

В ходе анализа были выявлены следующие проблемы: фотокатоды, полученные по контейнерной методике, имеют нарушение стехиометрии и неоднородный состав. Вследствие этого фотокатоды имеют низкую чувствительность. Для повышения контролируемости и воспроизводимости параметров фотокатодов предлагается использовать оптический метод контроля технологического процесса.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саликов В. Л. Приборы ночного видения: история поколений. URL: [http://www.ess.ru/sites/default/files/files/articles/2000/02/2000\\_02\\_06.pdf](http://www.ess.ru/sites/default/files/files/articles/2000/02/2000_02_06.pdf) (дата обращения: 11.02.2015).
2. Бегучев В. П., Чапкевич А. Л. Электронно-оптические преобразователи. Состояние и тенденции развития // Прикладная физика. 1999. № 2. URL: <http://applphys.orion-ir.ru/appl-99/99-2/99-2-23r.htm> (дата обращения: 11.02.2015).
3. Yusof Z., Attenkofer K., Demarteau M. Development of an alkali transfer photocathode for large area microchannel plate-based photodetectors // Physics procedia. 2012. Vol. 37. P. 733–739.
4. Dolizy P. Optical method for investigating alkali antimonide photocathodes // Vacuum. 1995. Vol. 30, № 11/12. P. 489–495.
5. Кондрашов В. Е. Оптика фотокатодов. М.: Наука, 1976. 207 с.
6. Кострин Д. К., Ухов А. А. Интерференция в поверхностном слое и метрологические параметры спектрометров с ПЗС-фотоприемниками // Датчики и системы. 2013. № 5. С. 13–15.
7. Повышение точности спектрального метода измерения параметров оптически прозрачных тонких пленок / В. А. Герасимов, Д. К. Кострин, Л. М. Селиванов, А. А. Ухов // Вакуумная техника и технология. 2014. Т. 24, № 1. С. 39–42.

A. A. Ponkratenko

*Novosibirsk state technical university*

## THE PROBLEMS OF MAKING A MULTIALKALI PHOTOCATHODE IN CONTAINER

*The technological factors affecting the preparation of multialkali photocathode in container are considered. The surface morphology and the composition of the resulting film were analyzed. The spectral dependence of transmittance and the correlation between parameters of the photocathode and sensitivity were studied.*

**Multialkali photocathode, container technology, improvement of sensitivity**

---