

ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ГАЗОПОГЛОТИТЕЛЕЙ В КАЧЕСТВЕ СРЕДСТВ ОТКАЧКИ В ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ С ФОТОЭЛЕКТРОННЫМ УМНОЖИТЕЛЕМ НА ОСНОВЕ МИКРОКАНАЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ

А. М. Семенов^{а, б, 1}

^а Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск, 630090, Россия

^б Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, 630073, Россия

Одним из методов усиления сигнала в электронно-оптических преобразователях является применение фотоэлектронного умножителя на основе микроканальной пластины, обладающего рядом преимуществ по сравнению с фотоэлектронным умножителем на дискретных диодах. Поскольку электронно-оптический преобразователь является вакуумно-изолированным прибором, то его долговечность и работоспособность напрямую связаны с вакуумом. Рассмотрены различные комбинации газопоглощающих покрытий для применения в вакуумном блоке фотоэлектронного умножителя.

One of the signal amplification methods in electrical optical transducers is the use of a microchannel plate-based photomultiplier, which offers several advantages over a discrete dynodes-based photomultiplier. Since the electrical optical transducer is a vacuum-insulated device, its durability and performance are directly related to the vacuum. This paper examines various combinations of getter coatings for use in the vacuum unit of the electrical optical transducer.

PACS: 07.30.Bx; 07.30.Cy

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных чувств человека является зрение, которое позволяет получить наибольшую информацию о событиях, происходящих вокруг нас, поэтому затрачиваются большие усилия, чтобы расширить эти возможности.

Телескопы позволяют наблюдать объекты на далеких расстояниях, микроскопы — рассматривать чрезвычайно мелкие предметы. Однако необходимым условием работы всех этих приборов является видимый спектральный диапазон излучения наблюдаемых объектов и их высокая яркость. Поэтому вне сферы наблюдения лежат объекты в инфракрасной, рентгеновской или ультрафиолетовой спектральной области.

¹E-mail: A.M.Semenov@inp.nsk.su

Преобразование спектрального диапазона из рентгеновского, ультрафиолетового или инфракрасного в видимое, а также усиление яркости или обеспечение сверхбыстрой регистрации изображения осуществляются с помощью электронно-оптического преобразователя (ЭОП). В видимом диапазоне ЭОП позволяет увеличить яркость изображения в сотни тысяч раз, а временное разрешение лучше чем 1 нс.

Одним из методов усиления сигнала является применение фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) на основе микроканальной пластины (МКП), обладающего рядом преимуществ по сравнению с ФЭУ на дискретных диодах: меньшие массогабаритные размеры приборов; способность работать в магнитном поле; задержка сигналов, равная меньше 1 нс [1].

Поскольку ЭОП является вакуумно-изолированным прибором, то его долговечность и работоспособность напрямую связаны с вакуумом. Традиционно в таких приборах применяются распыляемые газопоглотители. Дополнительное использование нераспыляемых газопоглотителей не только обеспечивает скорость откачки, но и препятствует десорбции с поверхности, покрытой газопоглотителем, т.е. поверхность будет не источником газовой нагрузки, а средством откачки.

В данной работе рассмотрены различные комбинации газопоглощающих покрытий для применения в вакуумном блоке фотоэлектронного умножителя.

КОНСТРУКЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВАКУУМНОГО БЛОКА

С целью оценки эффективности различных газопоглотителей (ГП) в составе ФЭУ была разработана конструкция прибора, представленная на рис. 1.

Прибор для оценки эффективности ГП состоит из двух металлокерамических узлов, ФЭУ, коллектора, диафрагмы из нержавеющей стали с внутренним диаметром, равным 13 мм, и МКП. С обеих сторон диафрагмы наносится нераспыляемый газопоглотитель. Площадь активной поверхности пленки газопоглотителя при двухсто-

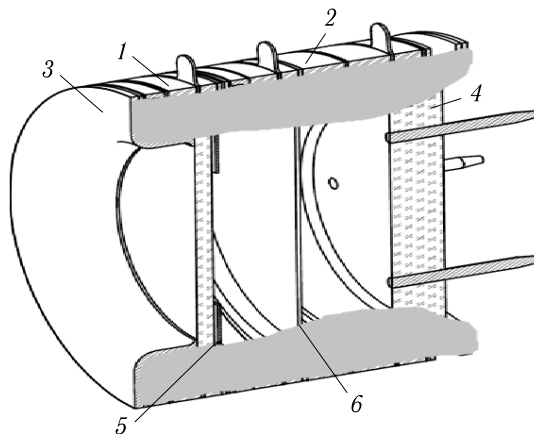


Рис. 1. Конструкция макетного ФЭУ для оценки эффективности газопоглотителя: 1, 2 — металлокерамические втулки; 3 — ФЭУ; 4 — коллектор; 5 — диафрагма; 6 — МКП

роннем напылении на диафрагму составляет примерно $7,08 \text{ см}^2$. Основным источником газовой нагрузки в ЭОП является МКП за счет электронно-стимулированной десорбции (ЭСД). Прогрев и тренировка электронами уменьшает ЭСД, но тем не менее ЭСД из МКП остается доминирующим фактором по сравнению с десорбцией остальной части ЭОП. Коллектор полностью покрывается металлизированной пленкой и служит для сбора электронов. Распыляемый газопоглотитель на основе титана в такой конструкции отсутствует, однако штатное место его установки есть в наличии. Такая конструкция прибора позволяет сравнивать эффективность отдельного применения нераспыляемых и распыляемых газопоглотителей либо их совместного использования.

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ ГАЗОПОГЛОТИТЕЛЕЙ

Оценка эффективности работы газопоглотителей в составе ФЭУ проводится путем оценки изменения параметров ФЭУ при проведении ускоренных испытаний на долговечность (эквивалент наработки 10 тыс. ч при освещенности 10^{-4} лк). В качестве ускоряющего фактора была выбрана освещенность, превышающая в сотню раз естественную освещенность ночью.

Критериями оценки эффективности характеристик газопоглотителей являются изменения световой чувствительности фотокатода и выходного тока ФЭУ за счет усиления в МКП [2].

Для измерения световой чувствительности фотокатода применяются специальные светоизмерительные лампы накаливания с вольфрамовой нитью, работающие в режиме источника света А (цветовая температура 2854 К, ГОСТ 7721-89). Световая чувствительность фотокатода определяется как

$$S_K = \frac{I_k - I_{kT}}{\Phi},$$

где S_K — световая чувствительность фотокатода, А/лм; Φ — световой поток, лм; I_k — фототок в цепи катода при включенной засветке, А; I_{kT} — темновой ток при выключенном световом потоке, А.

Выходной ток ФЭУ контролируется путем подключения нагрузки к аноду ФЭУ. Измеряется либо падение напряжения на этой нагрузке с помощью вольтметра, либо ток с помощью токовых усилителей или амперметров. Однако из-за малых значений выходного тока обычно требуется использование гальванометра.

Точность погрешности измерения световой чувствительности фотокатода и выходного тока ФЭУ лучше 1 %.

ПОДГОТОВКА ДИАФРАГМ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОКРЫТИЙ

Для улучшения адгезии покрытия и увеличения скорости откачки и сорбционной емкости обе поверхности диафрагмы подвергались механической обработке для обеспечения шероховатости до 5–6-го класса по ГОСТ 9378-93. После этого все образцы перед напылением проходили одинаковую предварительную процедуру очистки:

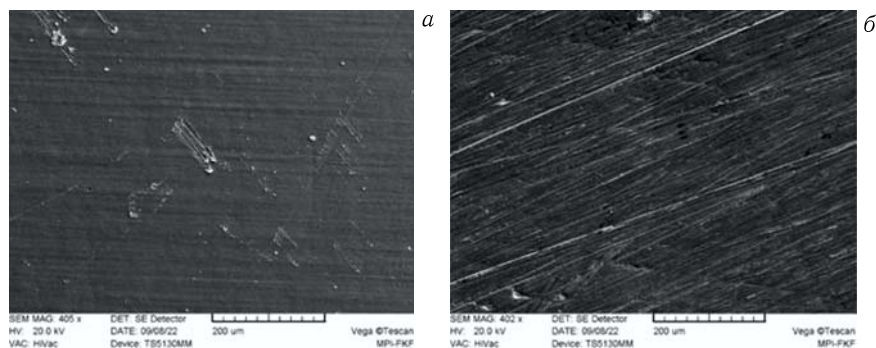


Рис. 2. Поверхности пленок газопоглотителей: а) Ti-Zr-V; б) Ti-Zr

- 1) обезжиривание растворителями (очищенным бензином и этиловым спиртом);
- 2) промывание в ультразвуковой ванне с горячим щелочным обезжиривателем ($\sim 60^{\circ}\text{C}$) в течение 10–15 мин;
- 3) незамедлительное промывание струей горячей воды под высоким давлением ($\sim 80^{\circ}\text{C}$) с использованием чистой деминерализованной воды (сопротивление не более 1 МОм/см);
- 4) сушка в сушильном вакуумном шкафу при температуре 150°C в течение 3 ч;
- 5) термическое рихтование при температуре 900°C в течение 20 мин.

На предприятии АО «Катод» на установке электронно-лучевого напыления «Е. В. GUN SYSTEM SELEN» было выполнено напыление на две нержавеющей диафрагмы газопоглотителей химического состава Ti(30%)–Zr(20%)–V(50%) с температурой активации, равной 180°C . Толщина покрытия — 1,5 мкм с каждой стороны.

Сотрудники ИЯФ СО РАН напылили на установке магнетронного напыления четыре диафрагмы с химическим составом Ti(39,4%)–Zr(60,6%). Более подробно об установке и методике напыления можно найти в работе [3].

Атомарный состав покрытия определялся с помощью сканирующего электронного микроскопа Jeol JCM 5700, оснащенного энергодисперсионным рентгеновским спектрометром Inca Energy 150. Этот метод позволяет определить поверхностный состав образцов, за исключением самых легких элементов, таких как водород и литий.

На рис. 2 представлены поверхности газопоглощающих пленок Ti-Zr-V и Ti-Zr, полученных на сканирующем электронном микроскопе. Видно, что диафрагма с покрытием Ti-Zr имеет более шероховатую поверхность, а значит, и большую площадь для поглощения газа.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ВАКУУМНЫХ ФЭУ

На установке «переноса» [4] были собраны 9 экспериментальных ФЭУ. Корпуса проходили по две стадии термической обработки по 12 ч каждая с максимальной температурой 380°C .

Средства откачки собранных экспериментальных ФЭУ (номер соответствует типу поглотителя):

- 1) нет никаких газопоглотителей;
- 2) распыляемый газопоглотитель + диафрагма, покрытая Ti-Zr;

- 3) распыляемый газопоглотитель + диафрагма, покрытая Ti-Zr;
- 4) распыляемый газопоглотитель + диафрагма без покрытия;
- 5) распыляемый газопоглотитель + диафрагма без покрытия;
- 6) только диафрагма, покрытая Ti-Zr-V;
- 7) только диафрагма, покрытая Ti-Zr-V;
- 8) только диафрагма, покрытая Ti-Zr;
- 9) только диафрагма, покрытая Ti-Zr.

ФЭУ № 1 является контрольным и позволит сравнить эффективность работы различных типов газопоглотителей относительно ФЭУ без какого-либо средства откачки.

В таблице приведены результаты изменения параметров экспериментальных ФЭУ при проведении испытаний на долговечность. Значения изменений выходного тока и световой чувствительности фотокатода означают ухудшения данных параметров в процессе испытаний, т. е. чем больше изменение, тем хуже газопоглощающие характеристики покрытия.

Результаты изменения параметров ФЭУ при проведении испытаний на долговечность

Номер ФЭУ	Тип газопоглотителя	ΔI , %	ΔS , %
1	Нет никаких газопоглотителей	39,6	44,1
2	Распыляемый газопоглотитель + диафрагма, покрытая Ti-Zr	24,1	21,9
3	Распыляемый газопоглотитель + диафрагма, покрытая Ti-Zr	23,4	22,7
4	Распыляемый газопоглотитель + диафрагма без покрытия	39,3	45,7
5	Распыляемый газопоглотитель + диафрагма без покрытия	23,8	27,0
6	Только диафрагма, покрытая Ti-Zr-V	40,1	30,0
7	Только диафрагма, покрытая Ti-Zr-V	26,6	25,0
8	Только диафрагма, покрытая Ti-Zr	27,1	25,9
9	Только диафрагма, покрытая Ti-Zr	20,7	18,3

Газовыделение в приборе имеет прямое влияние на деградацию фотокатода и, соответственно, на световую чувствительность. На изменение выходного тока помимо изменения световой чувствительности в результате деградации фотокатода также будет оказывать влияние изменение коэффициента усиления МКП.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

В качестве контрольного образца взят ФЭУ № 1, не имеющий в своем составе никаких средств откачки. Падение чувствительности фотокатода в таком приборе составило 44,1 %, изменение выходного тока — почти на 40 % за время проведения испытаний на долговечность.

Как видно из таблицы, наименьшими ухудшениями параметров обладают ФЭУ, в которых диафрагмы напылены Ti-Zr, причем использование дополнительно штатных распыляемых газопоглотителей не приводит к существенному улучшению по сравнению с их отсутствием. Применение же одних только штатных распыляемых газопоглотителей не приводит к значительному уменьшению деградации фотокатода,

что может быть объяснено проблемами распыления данных газопоглотителей. Напыляемый газопоглотитель Ti–Zr–V производства ООО «Катод» имеет наименьшую эффективность по сравнению с другими газопоглотителями, что может быть связано с неидеальными вакуумными условиями перед напылением или во время него, либо из-за технологии изготовления ЭОП (предварительного прогрева до 400 °С) геттер успевает частично пассивироваться, т. е. ухудшить свои характеристики откачки.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных экспериментов протестированы различные сочетания газопоглотителей в вакуумном блоке ФЭУ.

1) Нераспыляемый газопоглотитель Ti–Zr производства ИЯФ СО РАН показывает лучшую эффективность по сравнению с другими газопоглотителями.

Ввиду высокой эффективности нераспыляемый газопоглотитель Ti–Zr пригоден для использования в составе приборов с ограниченным внутренним пространством.

2) Применение комбинации двух газопоглотителей (серийный распыляемый и нераспыляемый газопоглотитель Ti–Zr) с текущим их расположением не приводит к улучшению эффективности газопоглощения в ФЭУ.

Планируется провести дополнительные испытания для отработки технологии создания ФЭУ с нераспыляемым газопоглотителем Ti–Zr и штатными распыляемыми газопоглотителями.

Финансирование. Данная работа финансировалась за счет средств бюджета ИЯФ СО РАН. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Конфликт интересов. Автор данной работы заявляет, что у него нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зайдель И. Н., Куренков Г. И. М.: Сов. радио, 1970. 56 с.
2. Берковский А. Г., Гаванин В. А., Зайдель И. Н. М.: Радио и связь, 1988. 272 с.
3. Анашин В. В., Жуков А. А., Краснов А. А., Семенов А. М. // ПТЭ. 2009. № 6. С. 127–130; <https://doi.org/10.1134/S0020441209060232>.
4. Бесчастнов П. М. Дис. ... канд. техн. наук. ИЯФ СО РАН. Новосибирск, 1991. 109 с.

Получено 23 января 2026 г.