

Формирование фотокатода на основе соединения $SbCs_3$ методом послойного нанесения

А. В. Демиденко, Н. А. Пхайко, А.И. Арефьев, А.Г. Казаков, Ю.Л. Лыжина
Снежинск, ФГУП РФЯЦ-ВНИИТФ, Челябинская обл., г. Снежинск, ул. Васильева 13,
alexfoxref_2@mail.ru

В докладе представлена работа по формированию сурьмяно-цезиевого фотокатода методом послойного нанесения. Определена временная зависимость фототока $SbCs_3$ фотокатода в процессе его изготовления. Измерена чувствительность фотослоя при облучении его сфокусированным излучением светодиода BL-L522VC с длиной волны $\lambda = 405$ нм. Квантовая эффективность изготовленного фотоэлемента составила $Y = (11 \pm 1) \cdot 10^{-2}$ электрон/квант. Определена толщина напыленной сурьмы, соответствующая максимальной квантовой эффективности: $h_{\Sigma} = 75$ нм.

Formation antimony-cesium photocathode by layering deposition method, A.V. Demidenko, N.A. Pkhayko, A.I. Arefyev, A.G. Kazakov, Y.L. Lyzhina. The report presents the work of formation antimony-cesium photocathode by layering deposition method. The time dependence of the photocurrent had been determined in the manufacturing process. The sensitivity of the photolayer irradiated by LED BL-L522VC focused radiation with a wavelength $\lambda = 405$ nm had been measured. The quantum efficiency of manufactured photoelement was $Y = (11 \pm 1) \cdot 10^{-2}$ electron/quantum. The thickness of the deposited antimony, corresponding to the maximum quantum efficiency, had been determined as $h_{\Sigma} = 75$ nm.

Введение

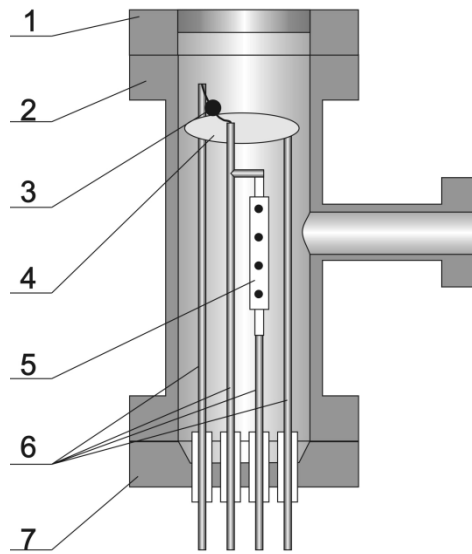
В настоящее время в РФЯЦ-ВНИИТФ проводятся работы по созданию высоковольтных вакуумных фотоэлементов, инициируемых ультракоротким лазерным импульсом. Фотокатоды для таких фотоэлементов должны, прежде всего, обладать высокой квантовой эффективностью (~10%) в видимом диапазоне. Поэтому одним из наиболее перспективных материалов для фотокатодов является соединение $SbCs_3$.

Квантовая эффективность сурьмяно-цезиевого фотокатода в значительной степени зависит от толщины первоначального слоя сурьмы. В связи с этим целью данной работы является определение толщины, соответствующей максимальной фоточувствительности катода.

В данной работе приводится описание и результаты эксперимента по формированию фотокатода на основе соединения $SbCs_3$ методом послойного нанесения.

Устройство фотоэлемента

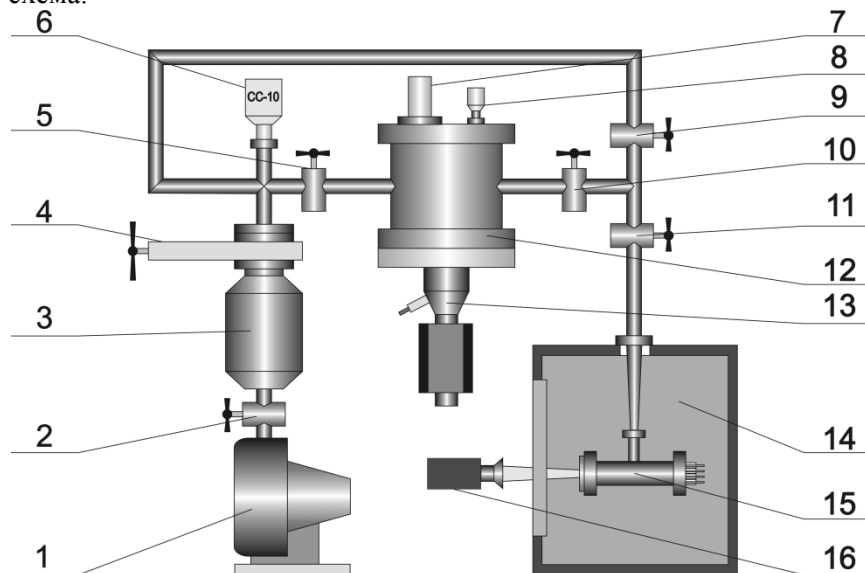
Для проведения послойного формирования сурьмяно-цезиевого фотокатода и исследования его свойств был изготовлен фотоэлемент, представленный на рис. 1. Он состоит из цилиндрического корпуса (2) длиной 150 мм и внутренним диаметром 35 мм. На обоих торцах корпуса изготовлены присоединительные фланцы типа CF40. Для откачки фотоэлемента использовался штуцер с присоединительным фланцем CF16 расположенным на боковой поверхности корпуса. Монтаж внутренней арматуры (6) фотоэлемента производился на вакуумном электрическом разъеме (7) компании MDC IFA20-C40. На внутренней арматуре закреплялся источник сурьмы ИС-1 (3). На расстоянии 30 мм от испарителя сурьмы на арматуре устанавливалась подложка фотокатода (4) диаметром 20 мм, изготовленная из нержавеющей стали. Также на арматуре закреплялись два источника цезия (5) ИЦО-34 (производство МЭЛЗ). Для защиты входного окна (1) от запыления сурьмой, испаритель закрывался экраном (на рисунке не показан). Для индикации распыления сурьмы в экране имелось стеклянное окно диаметром 5 мм.



*Рис. 1. Конструкция фотоэлемента:
1 – Входное окно; 2 – Корпус фотоэлемента; 3 – Испаритель Sb;
4 – Подложка фотокатода; 5 – Диспенсер Cs ИЦО-34; 6 – Внутренняя арматура фотоэлемента; 7 – Высоковакуумный электрический разъем.*

Вакуумный пост

Для создания внутри фотоэлемента сверхвысокого вакуума и проведения технологических операций по формированию фоточувствительного слоя, а также для обеспечения высокого ресурса работы сурьмяно-цезиевого фотокатода, чувствительного к составу и давлению остаточных газов, был создан пост активации фотокатода. На рис. 2 представлена его схема.



*Рис. 2 Схема поста активации фотокатода:
1 – Форвакуумный насос; 2, 5, 9, 10, 11 – Вакуумный кран; 3 – Турбомолекулярный насос;
4 – Шиббер; 6 – Вакуумметр СС-10; 7 – Ионизационный датчик измерения давления 7FCS;
8 – Термопарный датчик измерения давления 4А; 12 – Технологическая камера;
13 – Магнеторазрядный насос НМД-0,25; 14 – Печь фотоэлемента; 15 – Фотоэлемент;
16 – Прибор для освещения фотокатода.*

Предварительная откачка производится форвакуумным насосом Adixen ACP15. Измерение остаточного давления при этом осуществляется с помощью вакуумметра СС-10. После создания необходимой степени разряжения внутри поста, с помощью турбомолекулярного насоса Varian 301 Navigator производительностью 300 л/с, дальнейшая откачка до сверхвысокого вакуума производится магниторазрядным насосом НМД-0,25 производительностью 25 л/с. Для измерения давления используются термпарный датчик 4А и ионизационный датчик 7FCS в паре с управляющим блоком Televac MM200. Минимальное остаточное давление, создаваемое внутри вакуумной системы, составляет $2 \cdot 10^{-9}$ торр.

Формирование фоточувствительного слоя

Перед сборкой фотоэлемента проводилась предварительная очистка всех его составных частей. Эта очистка включала в себя несколько этапов:

- 1) Обработка в ультразвуковой ванне в течение 40 мин в 10 % растворе поверхностно-активного вещества (Zoom компании Amway);
- 2) Обработка в ультразвуковой ванне в течение 40 мин в 10 % растворе лимонной кислоты;
- 3) Обработка в ультразвуковой ванне в течение 40 мин в дистиллированной воде. Процедура повторялась дважды, вода каждый раз менялась на новую;
- 4) Обработка в камере плазмохимической очистки установки Nano (производитель Diener) в течение 60 мин в кислородной атмосфере при мощности разряда 300 Вт.

После монтажа на пост активации при постоянной откачке магниторазрядным насосом проводился обезгаживающий отжиг фотоэлемента. Для этого была изготовлена печь, с максимальной рабочей температурой ~ 300 °С. Прогрев проводился при температуре 200 °С в течение 5-6 часов. Это позволило получить в фотоэлементе остаточное давление $4 \cdot 10^{-9}$ торр.

После этого проводился процесс формирования фоточувствительного слоя. Он включал в себя несколько этапов, каждый из которых заключался в следующем.

Изначально на поверхность подложки фотокатода методом резистивного распыления наносился слой сурьмы. Контроль распыления осуществлялся по росту давления до $\sim 3 \cdot 10^{-8}$ торр и запыленности стеклянного окна в экране испарителя. Распыление сурьмы проводилось в течение 1 мин при токе через испаритель 2 А. Скорость распыления составляла ~ 4 Å/с, а слой наносимой сурьмы составлял $h = 25$ нм. Параметры напыления определялись с помощью сенсора Inficon SL-A1E48 при распылении Sb в аналогичных условиях в камере установки УВН-2М-2, оснащенной безмасляной системой откачки.

Далее проводилась активация слоя сурьмы в парах цезия. В связи с гигроскопичностью веществ входящих в состав цезиевых диспенсеров на первом этапе необходимо проводить их обезгаживание. Для этого через диспенсеры пропускался ток, который постепенно повышался до 2 А, в течение 2 часов. При значении тока 2 А, диспенсеры «раскрывались», и начиналось выделение цезия из них, об этом можно было судить по резкому росту давления до $\sim 2 \cdot 10^{-7}$ торр. По мере поступления цезия в фотоэлемент происходила активация слоя сурьмы. Этот процесс наблюдался по изменению фототока при освещении катода. После прекращения роста фоточувствительности, ток через цезиевые диспенсеры выключался. На этом этап завершался.

Для освещения фотокатода использовался светодиод BL-L522VC с длиной волны 405 нм, изображение которого проецировалось на поверхность фотокатода при помощи линзы. Фототок регистрировался с помощью пикоамперметра компании Keithley модель 6485 (погрешность измерений менее 0,1 %). На катод-анодный зазор подавалось напряжение $U_{\text{пит}} = 0..100$ В.

На рис. 3 представлен график зависимости фототока от времени в процессе формирования фотокатода. Эксперимент проводился в 4 этапа. Их количество определялось тем, что после IV этапа значение фототока снизилось по сравнению со значением, полученным после III этапа. Максимальное значение фототока соответствует концу III этапа и было достигнуто при суммарной толщине слоя сурьмы $h_{\Sigma} \sim 75$ нм.

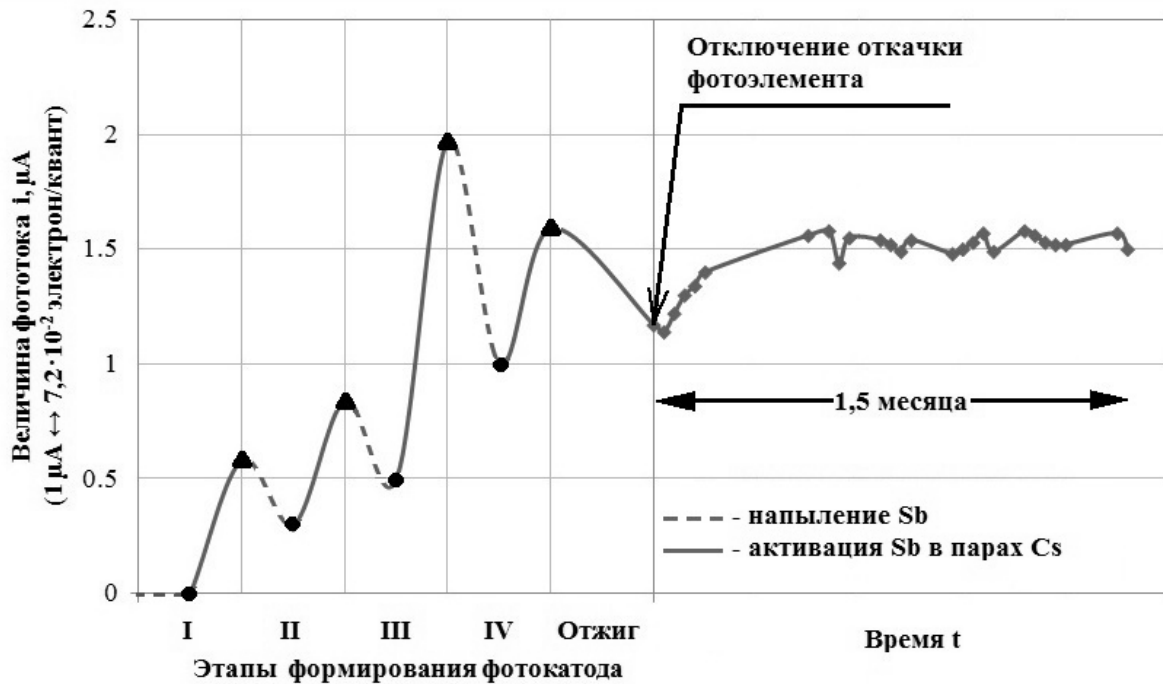


Рис. 3. Изменение фототока во времени в зависимости от этапа формирования фотокатода.

В конце работы проводился отжиг остатков цезия из фотоэлемента при температуре 80 °С в течение 3 ч. После этого откачка фотоэлемента была перекрыта и никаких операций с ним не совершалось.

Из рис. 3 видно, что величина фототока в течение нескольких дней после отключения откачки выросла на 20% и стабилизировалась. Значение квантовой эффективности определялось по формуле:

$$Y = I / (0.806 \cdot P_{сд} \cdot \lambda \cdot \xi), \quad (1)$$

где I – фототок электронов, выбитых с фотокатода [А], $P_{сд}$ – мощность излучения светодиода в фокусном пятне [Вт], λ – длина волны излучения светодиода [мкм], ξ – коэффициент прозрачности стекла входного окна фотоэлемента.

Измерение мощности излучения в фокусном пятне проводилось с помощью калориметра Coherent Ultima LabMaster (погрешность измерений менее 7%), которая составила 47 мкВт. Фототок изготовленного фотоэлемента равен $(15 \pm 1) \cdot 10^{-7}$ А, что соответствует квантовой эффективности $Y = (11 \pm 1) \cdot 10^{-2}$ электрон/квант.

Выводы по работе

Разработан и изготовлен высоковакуумный пост активации фотокатода, позволяющий получать остаточное давление внутри фотоэлемента $4 \cdot 10^{-9}$ Торр.

Проведена работа по формированию фотокатода на основе соединения $SbCs_3$ методом послойного нанесения. Проведены исследования фоточувствительности такого катода в процессе его изготовления. Для длины волны $\lambda = 405$ нм значение квантовой эффективности изготовленного фотоэлемента составило $Y = (11 \pm 1) \cdot 10^{-2}$ электрон/квант. Максимальная квантовая эффективность наблюдалась при суммарной толщине напыленной сурьмы $h_{\Sigma} = 7$ нм.