

Development of GaAs photocathode for image intensifiers tube with spectral response extended to $\lambda = 0,36 \mu\text{m}$

V. I. Sakhno, A. V. Dolgikh
Joint Stock Company "Katod", Novosibirsk, Russia

E. V. Gratca, A. D. Dub
Manufacturing association "Sever", Novosibirsk, Russia

Peculiarities of photocathode heterostructures design which allowed to shift "blue" boundary of photocathode spectral response to short-wave region of spectra are determined. The structures, been grown with "buffer" layer with thickness $\sim 100 \text{ \AA}$ allow to shift spectral response to $0.36 \mu\text{m}$ at integral sensitivity value on level 1600—1800 $\mu\text{A/lm}$.

УДК 621.382.002

Разработка научно-технических основ и создание технологии получения многощелочных фотокатодов в сверхвысоковакуумных камерах индивидуально-групповым способом

В. И. Локтионов, И. А. Нестеров
ОАО "Катод", г. Новосибирск, Россия

Разработана научно-обоснованная концепция изготовления многощелочных фотокатодов в сверхвысоковакуумных (СВВ) камерах, на базе которой из стандартного промышленного оборудования для сборки ЭОП 2⁺-го поколения, используемого в ОАО "Катод", была создана перспективная установка "переноса" для сборки ЭОП 2⁺-го поколения с использованием многощелочных фотокатодов, сформированных в СВВ-камерах.

Изготовление многощелочных фотокатодов типа S25 для ЭОП 2⁺-го поколения осуществляется в России на откачных постах в специальных баллонах — контейнерах при вакууме $P = 10^{-6} - 10^{-7}$ Торр.

Такая технология несет в себе много проблем, связанных, помимо изготовления самого фотокатода, с изготовлением специального баллона, т. е. контейнера. Так как последний изготавливается из стекла, то это влечет за собой все проблемы стекольного производства: высокое энергопотребление, большая доля ручного труда, нестабильность технологического процесса. Сам процесс получения многощелочного фотокатода в контейнере достаточно сложен, мало управляем, что связано с технологическими особенностями формирования данного типа фотокатодов и с необходимостью жесткого соблюдения постоянства внутриконтейнерных конфигураций, точной дозировкой щелочных металлов, точным поддержанием температурных режимов. У разных операторов, работающих на подобных откачных постах, различные результаты активиро-

вок и различный процент выхода годных изделий, причем это различие может составлять до 50 %, что свидетельствует о необходимости учета индивидуального стереотипа работников.

Способ формирования фотокатодов в СВВ-камерах лишен недостатков, связанных с изготовлением самого контейнера, что значительно удешевляет стоимость фотокатодного узла (ФКУ), а значит и самого прибора в целом. В СВВ-камере установлены источники щелочных металлов, носитель ФКУ карусельного типа, печи для технологического прогрева ФКУ, смонтирована измерительная схема для измерения величины фототока в процессе активировки фотокатода, установлены смотровые окна для контроля за процессом формирования фоточувствительных слоев, подведен торированный световой поток. СВВ-камера пристыкована через вакуумный затвор к камере сборки ЭОП, а ФКУ поступает в СВВ-камеру через вакуумный затвор из камеры термического обезгаживания ФКУ. Преимущество данного метода в том, что процессы, происходящие при активировке ФКУ,

могут контролироваться оператором достаточно точно, зависимость от химического состава стекла ФКУ не такая явная, как в контейнере, и поверхность ФКУ может быть подготовлена к нанесению фоточувствительных слоев значительно лучше, чем в контейнере.

Основная сложность данного метода в том, что достаточно трудно четко сформулировать требования к камере, в которой будут выращиваться фоточувствительные слои на ФКУ. В настоящее время недостаточное количество публикаций и информационных источников по этой теме делает достаточно сложной в реализации эту научно-техническую проблему. Многие разработчики при попытке использовать сложившийся опыт изготовления многощелочного фотокатода на постах в технологии "переноса" встретили непреодолимые трудности [1]. Фотокатоды при переносе из вакуумного объема формирования в другую вакуумную камеру для сочленения с экранно-корпусным узлом (ЭКУ) теряли чувствительность. Многие исследователи считают, что для сохранения чувствительности многощелочного фотокатода необходимо сохранение сложившихся при его формировании парциальных давлений щелочных металлов, в особенности цезия [2]. Падение чувствительности при выносе фотокатода из объема формирования объясняют изменением давления паров щелочных металлов.

Создание технологии сборки ЭОП 2⁺-го поколения методом "переноса" с использованием многощелочных фотокатодов, изготовленных на постах в контейнерах, стало возможным после того, как в результате проведенных исследований при создании технологии сборки ЭОП 2⁺-го поколения [3] был преодолен существовавший до сих пор сложившийся теоретический взгляд о том, что для сохранения чувствительности многощелочного фотокатода требуется сохранение сложившегося в результате его формирования давления паров цезия. Авторами найдена зависимость падения чувствительности фотокатода при "переносе" из вакуумного объема, где вскрывается контейнер, в другую камеру, от остаточной атмосферы, имеющейся при проведении данной операции

$$S_f / S_{f0} = (1 - E_f \cdot 10^6 n_l^{-1} \gamma_a P t_v), \quad (1)$$

где P — давление остаточных газов в вакуумном пространстве, где находится фотокатод, Торр;

t_v — время экспозиции фотокатода в вакуумном пространстве, с;

S_f — интегральная чувствительность фотокатода в готовом приборе, мкА/лм;

E_f — площадь фотокатода, см²;

n_l — количество монослоев;

S_{f0} — интегральная чувствительность фотокатода в объеме формирования, мкА/лм;

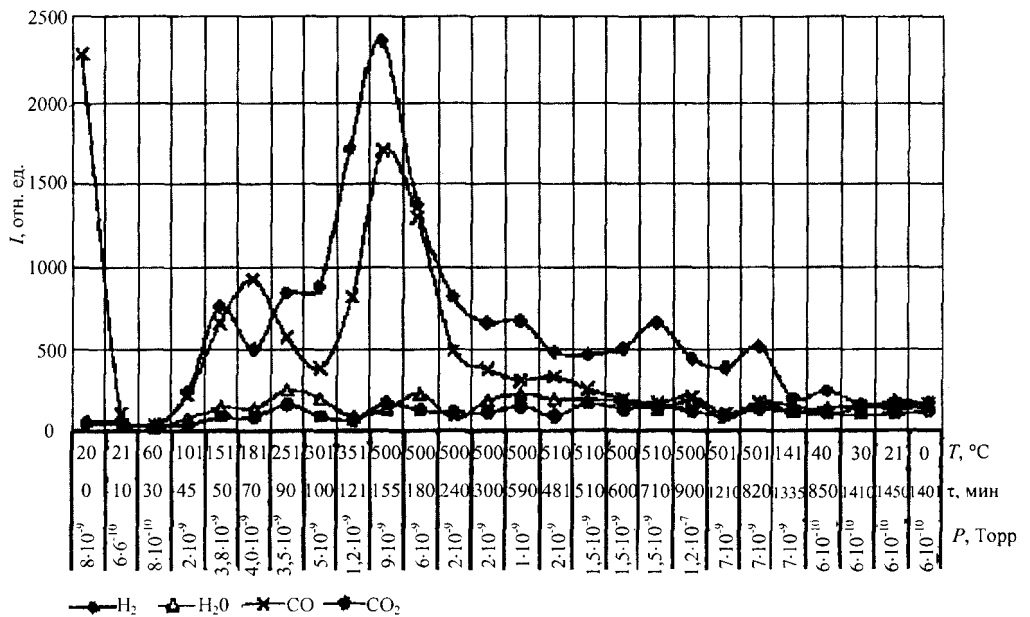
γ_a — коэффициент прилипания иона или молекулы к слою Cs.

Данные выводы подтверждаются теоретическими выкладками авторов работ [4, 5] и опытом производства ЭОП 2⁺-го и супер 2⁺-го поколений на ОАО "Катод". В соответствии с выражением (1) для реальных условий формирования фотокатода в СВВ-камере можно оценить допустимую величину давления остаточных газов, не приводящую к деградации фотокатода при его изготовлении и "переносе" в камеру сборки. В данном выражении число монослоев оценивается для многощелочного фотокатода, которым является фотокатод типа S25, $n_l \approx 10$ [6]. Коэффициент прилипания активных газов к цезию примерно равен $\gamma_a = 0,6-1,0$ в зависимости от степени активности присутствующих в остаточной атмосфере газов.

Для уточнения данных коэффициентов проведено экспериментальное исследование спектра остаточных газов после подготовки СВВ-камеры к нанесению фоточувствительных слоев. Для измерения парциальных давлений использован монополярный масс-спектрометр МХ 7304, имеющий чувствительность по аргону 10^{-11} Торр. Для откачки СВВ-камеры использованы форвакуумная линия, магниторазрядный насос НМД-0,4, титановый испарительный насос, совмещенный с криопанелью. Как показали проведенные эксперименты, основными продуктами десорбции при обезгаживании ФКУ в СВВ-камере являются CO, H₂, CO₂ и H₂O. В связи с тем, что массовое число азота и CO имеют одинаковое значение, равное 28, то под термином CO определилось суммарное давление этих газов. Спектры остаточных газов при проведении обезгаживания ФКУ в СВВ-камере приведены на рис. 1.

Для получения поверхности ФКУ, близкой к атомарно-чистой, после термического обезгаживания проводилось ее электронное обезгаживание. Проведенные эксперименты показали, что при электронном обезгаживании на первом этапе наблюдается выделение H₂ и CO, пики H₂O и CO₂ изменяются значительно меньше. Но с течением времени пики уменьшаются, и за 2-2,5 ч выходят на фоновый уровень камеры, при этом давление остаточных газов не превышает $2 \cdot 10^{-11}$ Торр. Исходя из состава остаточной атмосферы, парциальных давлений остаточных газов и степени их активности были уточнены коэффициент прилипания $\gamma_a = 0,9$ и количество монослоев $n_l = 9$. Принимая время экспозиции готового фотокатода равное 600 с, площадь фотокатода равной 2,5 см² и допустимое падение чувствительности 0,99, из выражения (1) получаем, что давление остаточных газов не должно превышать $6,7 \cdot 10^{-11}$ Торр. Таким образом, сформировано первое необходимое условие для формирования ФКУ в СВВ-камерах.

Рис. 1. Спектр остаточных газов при обезгаживании ФКУ в СВВ-камере



Вторым основополагающим моментом разрабатываемой технологии является время гарантийной наработки ЭОП 2⁺-го поколения, изготовленного методом "переноса". При "переносе" готового ФКУ из камеры формирования фотокатода в камеру сборки и дальнейшей герметизации в условиях сверхвысокого вакуума фотокатод подвергается воздействию остаточной атмосферы, присутствующей в готовом ЭОП, особенно при включении прибора. В этом случае под действием фотоэлектронов из вакуумного промежутка, с торцевой поверхности МКП и из ее каналов возникающие положительные ионы бомбардируют поверхность фотокатода, что приводит к падению чувствительности. Авторами получено выражение по уменьшению чувствительности в зависимости от остаточного электронно-стимулированного газоотделения.

$$\frac{S_f}{S_{f0}} = \left(1 - \frac{n_i / n_e \gamma_a N_e i_{\Sigma S} t}{n_i N_l E_f} \right),$$

где n_i/n_e — остаточное электронно-стимулированное газоотделение ион (молекула)/электрон-с;
 N_e — число электронов в кулоне;
 $i_{\Sigma S}$ — электронный ток экрана, А;
 N_l — число молекул в монослое.

Расчетная зависимость падения чувствительности фотокатода в рабочем режиме работы ЭОП ($i_e = 4 \cdot 10^{-8}$ А) приведена на рис. 2.

Как показали проведенные эксперименты по термическому и электронному обезгаживанию экранно-корпусных узлов на промышленной линии изготовления ЭОП 2⁺-го поколения, для гарантированной долговечности ЭОП, равной

3 тыс. ч, необходимо обеспечить газоразделение не более $n_i/n_e \leq 4 \cdot 10^{-4}$ ион/электрон-с, что соответствует давлению остаточных газов порядка $P = 6 \cdot 10^{-11}$ Торр.

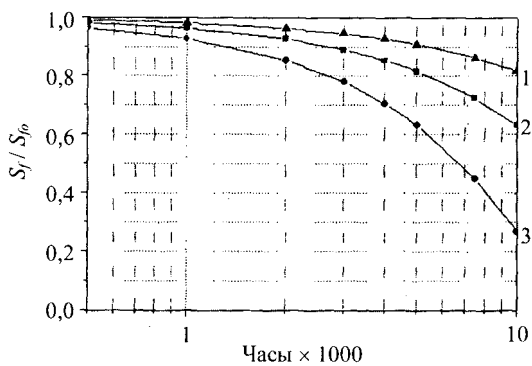


Рис. 2. Расчетная зависимость падения чувствительности фотокатода в рабочем режиме в зависимости от времени наработки:
 1 — $n_i/n_e = 1 \cdot 10^{-4}$ ион (молекула)/электрон-с;
 2 — $n_i/n_e = 2 \cdot 10^{-4}$ ион (молекула)/электрон-с;
 3 — $n_i/n_e = 4 \cdot 10^{-4}$ ион (молекула)/электрон-с

Таким образом, теоретически получено, что давление остаточных газов на последней стадии формирования фотокатода в СВВ-камере при "переносе" готового фотокатода из объема формирования в камеру сборки на последней стадии электронного обезгаживания ЭКУ и в камере сборки, где также выполняется предварительная герметизация ЭОП, не должно превышать $6 \cdot 10^{-11}$ Торр.

Необходимо отметить, что важным моментом является подготовка поверхности ФКУ перед нанесением фоточувствительных слоев. Перед активировкой фотокатода технология обработки

ФКУ включает его двойную термообработку. Первая проводится групповым методом в камере термического обезгаживания, когда обезгаживаются все ФКУ при температуре 400—430 °С. Вторая термообработка проводится индивидуально в камере активировки ФКУ при температуре сгона пленки Sb с подложки, при этом поверхность ФКУ максимально приближается к состоянию атомарно-чистой поверхности. Таким образом осуществляется индивидуально-групповая подготовка ФКУ. Дальнейшая обработка последнего производится индивидуально и заключается в нанесении фоточувствительных слоев на рабочую поверхность ФКУ, при этом контролируются как прозрачность, так и величина фототока. Последней операцией является активировка цезием, после чего готовый фотокатодный узел передается в камеру сборки ЭОП, где осуществляется его герметизация с экранно-корпусным узлом.

Таким образом, авторами разработана научно-обоснованная концепция индивидуально-групповой технологии изготовления многослойных фотокатодов в СВВ-камерах с последующим переносом готового фотокатода в камеру сборки ЭОП. На основе созданной концепции и базовой технологии финишной очистки ЭКУ разработана и изготовлена установка по производству ЭОП супер 2⁺-го поколения. Установка отличается простотой конструкции и высокой кинематической производительностью, в связи с чем наращивание объемов производства ЭОП супер 2⁺-го поколения, по-видимому, будет осуществляться за счет использования установок такого типа. Принципиальная схема установки приведена на рис. 3.

На данной установке в камере СВВ были получены фотокатоды, имеющие спектральную характеристику, показанную на рис. 4.

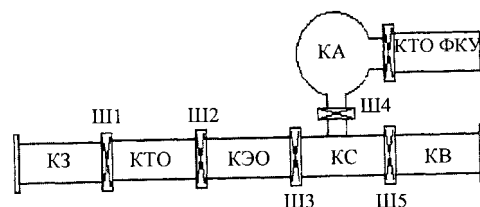


Рис. 3. Принципиальная схема установки:
 КЗ — камера загрузки; КТО — камера термического обезгаживания; КЭО — камера электронного обезгаживания; КС — камера сборки ЭОП; КВ — камера выгрузки готового изделия; КА — камера активировки ФКУ; КТО ФКУ — камера термического обезгаживания ФКУ; Ш1 — Ш5 — вакуумные шибера для отсечения камер друг от друга

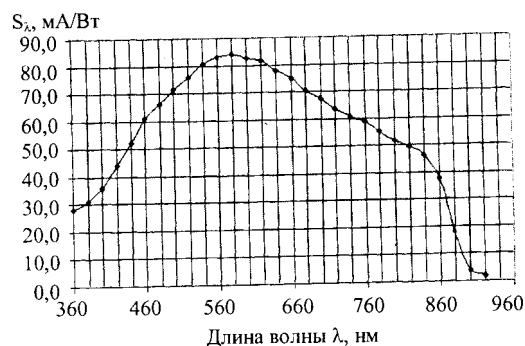


Рис. 4. Спектральная характеристика фотокатодов, полученных в СВВ-камере

Литература

1. Advances in Electronics and Electron Physics. 1985. V. 64A.
2. Hottom R., Hopkins // Phys. 1979. D. 12 (7).
3. Багдугев Р. И., Гольдберг И. И. Прогрессивная технология сборки ФЭП с многослойным фотокатодом методом переноса // Тез. докл. XI Всесоюз. науч.-техн. конф. по фотоэлектронным приборам. Секция 5. Прогрессивная технология и оборудование для создания фотоэлектронных приборов. — Л., 1990. С. 12.
4. Kancky T., Ieric S. // Proc. IV Inter. Symp. on Residbases, 1971.
5. Deckor R. W. // Adv. E.E.P. 1969. V. 28 A.
6. Соболева Н. А. Фотокатоды. В кн.: Электроника и ее применение. 1974. Т. 6. С. 29.

Статья поступила в редакцию 10 октября 2004 г.

Science-technical base and technology development of multialkaline photocathodes formation in UHV chambers by individual-group method

V. I. Loktionov, I. A. Nesterov
 Joint Stock Company "Katod", Novosibirsk, Russia

Developed science-based concept of multialkaline photocathode preparation in Ultra-high vacuum (UHV) chambers is developed. On this chamber base and from standard industrial equipment for image intensifier tube (I²) 2⁺-generation used in JSC "Katod" progressive "transfer" setup with the use of photocathodes performed in UHV chambers has been created.