

## СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ФОТОКАТОДОВ ИЗ Au И CsI В МЯГКОМ РЕНТГЕНОВСКОМ ДИАПАЗОНЕ

Б.Е. Дашевский, В.А. Подвизников, В.К. Чевокин

*Сообщается о сравнительных измерениях квантовой эффективности Au и CsI фотокатодов к мягкому рентгеновскому излучению. Показано, что при облучении мягким рентгеном квантовый выход сложного фотокатода Au + CsI выше, чем Au и CsI фотокатодов в отдельности.*

Поиск и исследование новых высокоэффективных рентгеновских фотокатодов для электронно-оптических преобразователей (ЭОП) открытого типа является актуальной задачей. Среди известных рентгеновских фотоэммитеров наибольшее распространение получили Au и CsI, так как они являются самыми эффективными фотокатодами в рентгеновской области спектра среди металлических и диэлектрических фотоэммитеров. Сравнительным испытаниям фотокатодов из Au и CsI посвящены работы /1, 2/. Однако обычно используют раздельно напыленные слои Au и CsI с толщинами, соответствующими их максимальному квантовому выходу. Для повышения квантового выхода нами предложено использовать сложный фотокатод — металлическую пленку, которая практически полностью поглощает падающее на нее рентгеновское излучение и формирует на выходе спектр вторичных электронов, и пленку вещества, обладающего хорошими вторично-эмиссионными свойствами, которая эффективно умножает электроны, вышедшие из металла. Требования, предъявляемые к металлической пленке, следующие: ее толщина должна быть, с одной стороны, не более глубины выхода медленных истинно вторичных электронов, с другой — практически полностью поглощать падающее на нее рентгеновское излучение. Рассмотрим спектральный диапазон рентгеновского излучения с энергией до 300 эВ. Глубина выхода медленных истинно вторичных электронов  $d$  дается выражением /3/

$$d = 1,9 \cdot 10^{-7} A/Z^{0,6} \rho \text{ см}, \quad (1)$$

где  $A$  — атомный вес,  $\rho$  — плотность,  $Z$  — атомный номер.

Поскольку тормозная способность вещества —  $dE/dx \propto Z$ , то выгодно использовать материал с большим  $Z$ . В качестве металлической подложки выбрано Au с толщиной согласно (1) 300 Å. В качестве вторично-эмиссионного материала согласно /3/ выбран CsI — вещество, имеющее среди всех щелочно-галогидных соединений максимальный коэффициент вторичной эмиссии. Толщина пленки CsI не должна быть больше глубины выхода медленных истинно-вторичных электронов  $d_1$ , которая определяется выражением

$$d_1 = 5,2 \cdot 10^{-6} A(Z_{ef}) E_m^{1,4} / \rho Z_{ef} \text{ см}, \quad (2)$$

где  $E_m$  — энергия первичных электронов,  $Z_{ef}$  — эффективный заряд CsI. При  $E_m \approx 200$  эВ  $d_1 = 1000$  Å.

Важной особенностью предложенного сложного фотокатода из Au + CsI является то, что в нем CsI не является фотокатодом, т. е. в нем рентгеновское излучение не рождает фотоэлектроны. В данном случае CsI выполняет функции только вторично-эмиссионного материала. Коэффициент вторичной эмиссии CsI составляет величину не менее 10 при энергии первичных электронов более нескольких десятков вольт /4/.

Для проведения сравнительных испытаний квантовой эффективности фотокатодов из Au, CsI и Au + CsI был изготовлен специализированный целевой фотокатод для рентгеновского ЭОП. Он состоял из трех примерно равных по высоте областей: только Au, Au + CsI и только CsI. Облучение фотокатода производилось рентгеновским излучением лазерной плазмы, образованной фокусировкой на поверхность плоской

мишени лазерного импульса со следующими параметрами: длительность импульса 50 пс, энергия до 20 мДж, длина волны 1,06 мкм. ЭОП работал в статическом режиме. Фотографирование изображения фотокатода с экрана ЭОП производилось на фотопленку с последующим фотометрированием. Фотокатод работал в режиме "на прострел", подложка методом термической обработки была удалена, т. е. измерения проводились со свободно висящими фотокатодами.

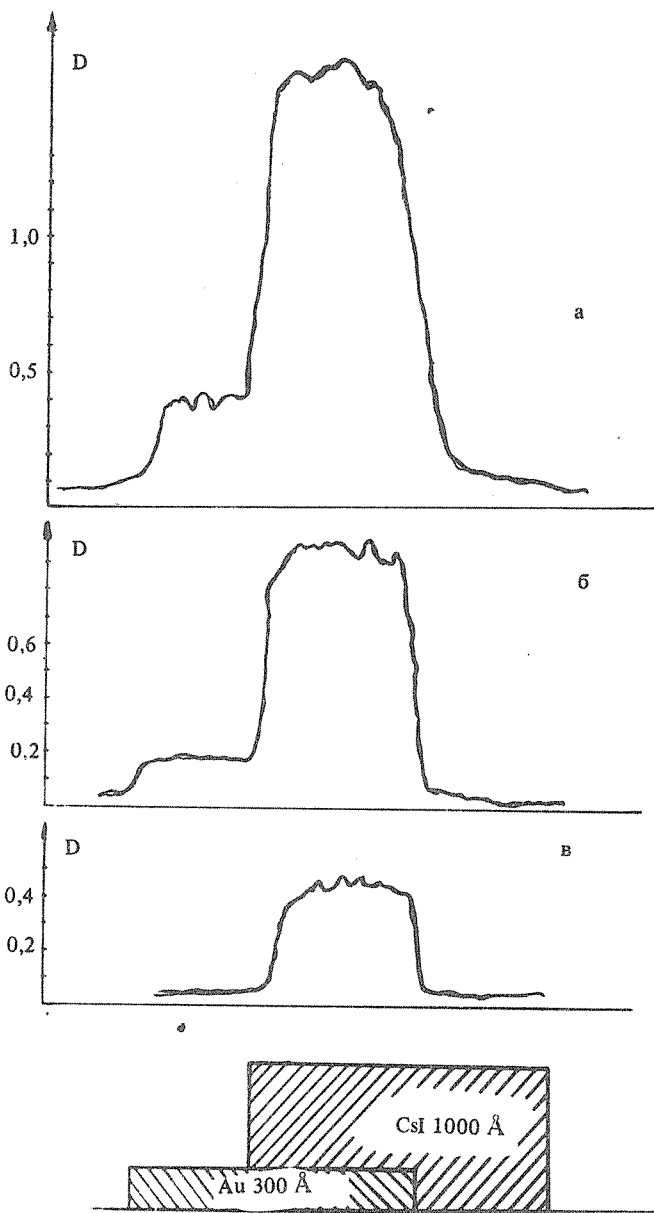


Рис. 1. Микрофотограммы изображения фотокатода ЭОП при его равномерном облучении рентгеновским излучением лазерной плазмы для свинцовой мишени при плотности мощности  $P = 10^{12}$  Вт/см<sup>2</sup> (а),  $5 \cdot 10^{11}$  Вт/см<sup>2</sup> (б),  $10^{11}$  Вт/см<sup>2</sup> (в).

Эксперимент показал, что при изменении плотности мощности  $P$  на мишени от  $10^{11}$  до  $10^{12}$  Вт/см<sup>2</sup> (это соответствовало увеличению электронной температуры от  $\sim 100$  эВ до  $\sim 300$  эВ /5, 6/ и, следовательно, смещению максимума спектра рентгеновского излучения в коротковолновую область) квантовая эффективность сложного фотокатода из Au + CsI значительно выше, чем квантовая эффективность Au и CsI в отдельности, причем эта закономерность не зависела от материала мишени. На рис. 1 в качестве примера показаны микрофотограммы фотокатода ЭОП при его равномерном облучении рентгеновским излучением лазерной плазмы для свинцовой мишени при плотности мощности  $P = 10^{11}, 5 \cdot 10^{11}, 10^{12}$  Вт/см<sup>2</sup>. При  $P = 10^{11}$  Вт/см<sup>2</sup> квантовый выход Au + CsI весьма значителен, в то время как фотоэмиссия из Au и CsI вообще не наблюдается. По мере увеличения  $P$  появляется эмиссия и из Au и CsI, однако эмиссия из Au + CsI всегда значительно больше.

Относительное измерение квантовых выходов исследованных фотокатодов производилось путем сравнения амплитуд импульсов после фотометрирования пленки и перевода ее почернения во входные интенсивности с учетом коэффициента контрастности пленки. Оказалось, что квантовый выход фотокатода из Au + CsI на порядок выше, чем Au и CsI при  $P = 10^{12}$  Вт/см<sup>2</sup>. Из рис. 1 видно, что с увеличением  $P$ , т. е. со смещением рентгеновского спектра в коротковолновую область квантовый выход Au растет быстрее, чем CsI и квантовый выход Au выше, чем у CsI, что противоречит известным данным /7/. Это расхождение можно объяснить тем, что CsI был напылен без проводящей подложки и в нем происходила зарядка, что препятствовало выходу фотоэлектронов в вакуум. Для проверки этого предположения был испытан в тех же самых условиях фотокатод из CsI толщиной 1000 Å на подложке из Al толщиной 50 Å. Было обнаружено, что увеличение фотоэмиссии с ростом  $P$  растет быстрее, чем у фотокатода из CsI без подложки.

Таким образом, эксперимент полностью подтвердил предположение о том, что квантовая эффективность сложного фотокатода из Au(300 Å) + CsI(1000 Å) значительно больше, чем из Au(300 Å) и CsI(1000 Å) в отдельности. Это становится очевидным, если принять во внимание энергетический спектр вторичных электронов из Au. Он является сложным: согласно /8/, 25 % всех электронов имеют энергию не более 5 эВ, остальные имеют широкий спектр с энергиями вплоть до сотен электронвольт. Эти быстрые электроны, попадая в CsI, претерпевают в нем эффективное размножение, внося дополнительный вклад в фотоэмиссию.

В заключение отметим, что при регистрации более жесткого рентгеновского излучения необходимо увеличить толщину Au и CsI согласно формулам (1) и (2).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тсакирис Д., Заксенмайер П., Чевокин В. К. Препринт ИОФАН № 60, М., 1987.
2. Stradling G. L. et al. Appl. Phys. Lett., 37, 782 (1980).
3. Бронштейн И. М., Фрайман Б. С. Вторичная электронная эмиссия. М., Наука, 1969.
4. Гомоюнова М. В., Летунов Н. А. ФТТ, 7, 394 (1965).
5. Бойко В. А., Крохин О. Н., Склизков Г. В. Труды ФИАН, 52, 186 (1974).
6. Рэди Д. Действие мощного лазерного излучения. М., Мир, 1974.
7. Щемелев В. Н., Савинов Е. П. Ученые записки ЛГУ, Вопросы электроники твердого тела, сборник № 5, изд. ЛГУ, 1974, с. 111.
8. Прохоров А. М., Чевокин В. К., Щемелев В. Н. Труды ФИАН, 155, 212 (1985).

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 17 июня 1988 г.