

06.1;11;12

О механизме зависимости порога фотоэмиссии фотокатода от его облученности

© Х.Н. Везиров

Научно-исследовательский институт фотоэлектроники, Баку

Поступило в Редакцию 15 апреля 1997 г.

В окончательной редакции 20 января 1998 г.

Показано, что на границе рабочей области фотокатода при протекании через последний тока возникает вторичная электронная эмиссия (это приводит к отклонению от известных классических законов фотоэмиссии). Установлена зависимость чувствительности и порога фотоэмиссии фотокатода от силы проходящего через него фототока.

При проведении исследований с электронно-оптическими преобразователями (ЭОП) типа М-9 [1] с серебряно-кислородно-цезиевым фотокатодом было обнаружено, что для некоторых образцов ЭОП чувствительность и длинноволновый порог фотоэмиссии приграничных с манжетой областей фотокатода зависит от силы общего тока, проходящего через фотокатод.

Для выяснения механизма этого явления были изготовлены ЭОП М-9 (рис. 1) с диаметрами рабочих областей фотокатода и люминесцентного экрана соответственно 3.5 и 5 см (для обычных М-9 эти размеры равны 5 см). Исследования проводились следующим образом. Между фотокатодом 1 и экраном 2 ЭОПа создавалось напряжение насыщения и снимались спектральные характеристики чувствительности участка 3 фотокатода, прилегающего к манжете 4 (т.е. участка, расположенно-

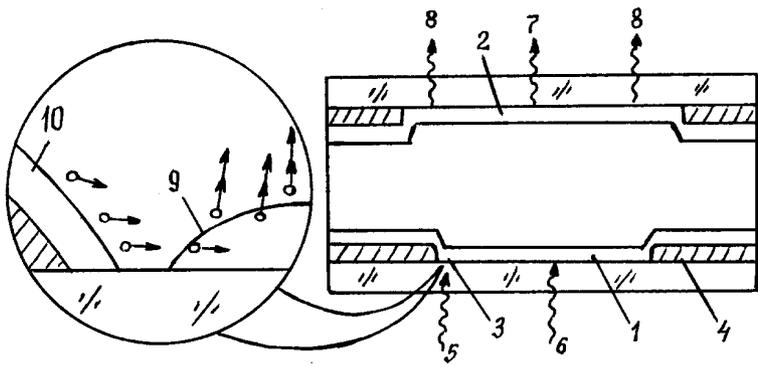


Рис. 1. Разрез ЭОПа. Первичные электроны обозначены точками с одной стрелкой, вторичные — с двумя.

го непосредственно на границе рабочей области фотокатода), путем последовательного измерения фототоков, возникающих от облучения монохроматическими излучениями 5 (с длиной волны от 0.4 до 1.7 μm), промодулированных с частотой, например, 1000 Hz. Диаметр луча света был не больше 0.1 mm. Излучение посылалось от монохроматора МДР-2. После этого увеличивалась мощность излучения 5 и вновь измерялась спектральная характеристика чувствительности того же участка фотокатода. Затем еще несколько раз проводились измерения со все более мощными потоками излучения 5 (т.е. большими фототоками).

Как видно из рис. 2, и чувствительность, и длинноволновый порог фотоэмиссии одной и той же точки 3 фотокатода зависят от мощности потока излучения, падающего в эту точку, что, на первый взгляд, явно противоречит классическим законам фотоэмиссии, по которым отношение изменения фототока к изменению падающего на фотокатод лучистого потока есть величина постоянная, называемая чувствительностью: $S = \frac{dI}{d\Phi}$.

Было замечено также, что в тех же ЭОП при создании рабочего (высокого) напряжения между фотокатодом и анодом (люминесцентным экраном) и облучении центральных участков фотокатода без облучения края фотокатода (т.е. на фотокатод падает излучение 6, а излучение 5 отсутствует) кроме свечения 7 центра люминесцентного экрана

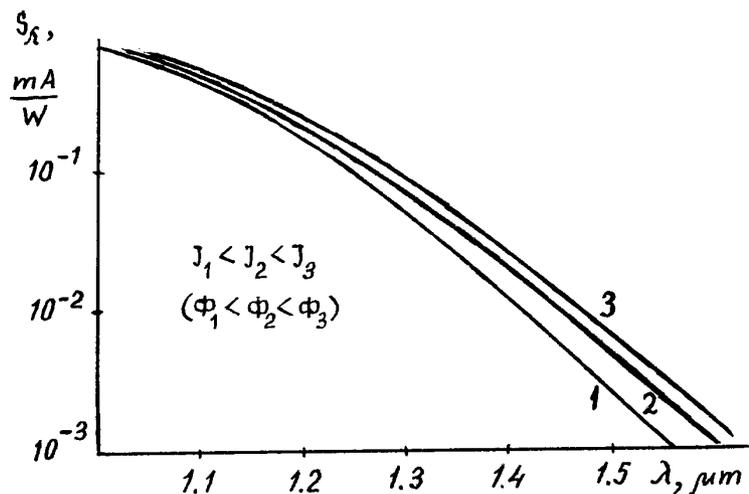


Рис. 2. Спектральные характеристики чувствительности одной и той же точки 3 фотокатода, прилегающей к манжете, в зависимости от мощности излучения 5, посредством которого проводится измерение.

возникало также изображение границы рабочей области фотокатода в виде светящегося кольца δ на периферии экрана, причем яркость этого кольца δ зависела от силы общего тока через фотокатод (ЭОП), т.е. облученности центра фотокатода.

Учитывая то, что свечение люминесцентного экрана возникает лишь под воздействием его бомбардировки электронами и то, что в ЭОП каждой точке поверхности люминесцентного экрана соответствует единственная точка на поверхности фотокатода, приходим к выводу, что при облучении центральных участков фотокатода с его приграничных с манжетой участков 3 вылетают электроны, которые, попадая на периферийные участки экрана, вызывают его свечение в виде кольца δ .

Приведенными ранее исследованиями [2] установлено, что в процессе изготовления фотокатода по обычной технологии происходит его разрыв в местах, прилегающих к манжете. Микроскопические исследования показали, что ширина разрыва при этом порядка микрометра (от 0.2 до $2 \mu m$). Это приводит к возникновению повышенного переходного

сопротивления R между манжетой и фотокатодом. Непосредственными измерениями установлено, что величина этого сопротивления порядка $5\text{ М}\Omega$. В результате этого практически все напряжение, образующееся в пленке фотокатода за счет фотоэмиссии электронов в вакуум, возникающее между освещенной точкой фотокатода и манжетой, падает именно на разрыве пленки фотокатода, так как сопротивление самой пленки значительно меньше (порядка $\text{k}\Omega$). Поэтому вне зависимости от того, за счет облучения какой именно точки фотокатода возникает фотоэмиссия, протекание тока по пленке фотокатода приводит к возникновению в его разрывах электрического поля, напряженность E которого составляет

$$E = \frac{U}{L}, \quad (1)$$

где U — разность потенциалов между берегами (т. е. по разные стороны) разрыва (т. е. между манжетой и краем фотокатода). Расчет показывает, что при общем токе через фотокатод силой $1\text{ }\mu\text{А}$ напряжение U составит примерно 5 В . Из (1) напряженность E получается порядка $5 \cdot 10^4\text{ В/см}$. Как известно [3], при таких напряженностях с фотокатода уже хорошо протекает автоэлектронная эмиссия. Поэтому не вызывает сомнений, что при протекании тока через фотокатод с края манжеты возникает автоэлектронная эмиссия и эмитированные электроны, попав в сильное электрическое поле в разрыве и ускорившись, бомбардируют границу рабочей области фотокатода [2]. Это обязательно приведет к возникновению вторичной электронной эмиссии, причем независимо от коэффициента вторичной электронной эмиссии (которая может быть как больше, так и меньше 1) часть этих вторичных электронов выходит в вакуум. Часть автоэлектронов может попадать также на участки ϑ поверхности фотокатода, прилегающие к разрыву и граничащие с вакуумом (т. е. в окрестности точки 3). Это также приведет к возникновению вторичной электронной эмиссии с этих участков ϑ поверхности фотокатода. (Именно по этим причинам при облучении центральных участков фотокатода без облучения участка 3 эмиссия электронов возникала также с участка 3; и эти электроны, бомбардируя край люминесцентного экрана, вызывали его свечение в виде кольца). Причем, как известно [4,5], для фотокатодов коэффициент вторичной электронной эмиссии для малых энергий первичных электронов растет с увеличением этой энергии (а стало быть U , которая пропорциональна току J). Следовательно при увеличении силы фототока (а стало быть

тока в разрыве) за счет увеличения освещенности (мощности излучения), будет расти и U , и ток вторичной электронной эмиссии (причина, по которой при увеличении освещенности центра фотокатода яркость свечения δ в виде кольца на краю экрана также увеличивается). Следует учесть также и то, что ширина L разрыва пленки фотокатода имеет величину, сравнимую с длиной волны регистрируемого излучения, (т.е. длиной волны излучения λ), падающего на границу рабочей области фотокатода (т.е. в область разрыва). Потому с уверенностью можно утверждать, что должно происходить явление дифракции и часть потока излучения λ , падающего со стороны подложки на край рабочей области фотокатода, дифрагировав, пройдет на область 10 фотокатода, лежащую в разрыве на краю манжеты, вызвав тем самым фотоэмиссию также с этих участков 10 фотокатода. Причем под действием электрического поля работа выхода участка 10 фотокатода снижается на $\Delta e\varphi$, которая, как известно [6], определяется соотношением

$$\Delta e\varphi = 3.79 \cdot 10^{-4} \sqrt{E}. \quad (2)$$

В результате снижения работы выхода участка 10 длинноволновый порог фотоэмиссии этого участка сдвинется в область более длинных волн, причем этот сдвиг будет пропорционален $\Delta e\varphi$. Подставляя найденное выше значение E ($5 \cdot 10^4$ V/cm) в (2), определим ожидаемое уменьшение работы выхода $\Delta e\varphi \approx 0.08$ eV. При таком уменьшении работы выхода длинноволновый порог фотоэмиссии должен сдвинуться с $1.56 \mu\text{m}$ (рис. 2) до $1.7 \mu\text{m}$. В действительности порог сдвинулся до $1.65 \mu\text{m}$ (рис. 2), что уже является достаточно точным соответствием теории и подтверждением верности предложенной гипотезы. Учитывая же (1) и (2) и то, что U пропорционально силе фототока (вернее, общего тока J , идущего через фотокатод) и переходному сопротивлению R , становится понятным, что $\Delta e\varphi = 3.79 \cdot 10^{-4} \sqrt{K \frac{J}{L}}$, где K — численный коэффициент порядка 1.

Таким образом, можно считать, что фотоэлектронная эмиссия с областей фотокатода, прилегающих к манжете, сопровождается также вторичной электронной эмиссией с этих же участков и фотоэлектронной эмиссией участков фотокатода, расположенных в области разрыва на краю манжеты.

Список литературы

- [1] Бутслов М.М., Степанов Б.М., Фанченко С.Д. Электронно-оптические преобразователи и их применение в научных исследованиях. М.: Наука, 1978. 432 с.
- [2] Везиров Х.Н. // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. В. 14. С. 81–84.
- [3] Изнар А.А. Электронно-оптические приборы. М.: Машиностроение, 1977. 264 с.
- [4] Саммер А. Фотоэмиссионные материалы. М.: Энергия, 1973. 177 с.
- [5] Бронштейн И.М., Фрайман Б.С. Вторичная электронная эмиссия. М.: Наука, 1969. 408 с.
- [6] Таблицы физических величин. Справочник / Под ред. И.К. Кикоина. М.: Атомиздат, 1976. 1008 с.