

06;11;12

## О применении пористых диэлектрических пленок для электронно-оптического преобразования изображения

© Х.Н. Везиров

Институт фотоэлектроники АН Азербайджана, Баку

Поступило в Редакцию 21 мая 1998 г.

Экспериментально установлено, что в отличие от фотоэлектронного принципа разработанный принцип преобразования изображения позволяет при соответствующем подборе полупроводникового материала преобразовывать изображение в более широком диапазоне спектра. Так, созданный прибор обладал чувствительностью на длине волны 2 и 2.5  $\mu\text{m}$  соответственно 5 и 2  $\text{mA/W}$ .

Как известно, электронно-оптические преобразователи изображения (ЭОП) работают на принципе фотоэлектронной эмиссии (ФЭ), т.е. испускания фотокатодом электронов под воздействием падающего на него излучения [1]. Длинноволновый порог ФЭ, определяющий спектральный диапазон чувствительности ЭОПа, зависит в основном от работы выхода фотокатода. Так как из всех известных пленок наименьшей работой выхода, равной примерно 0.5–0.8 eV [2], обладает серебряно-кислородно-цезиевый фотокатод, ЭОПы именно с этим фотокатодом обладают хотя бы какой-то чувствительностью в области длин волн 1.5  $\mu\text{m}$ . ЭОПов же, работоспособных в области спектра выше 1.8  $\mu\text{m}$ , вообще не существует [1], что является их большим недостатком. Поэтому расширение спектрального диапазона чувствительности ЭОПа в среднюю ИК-область спектра — чрезвычайно актуальная научная и техническая задача.

Расширить область чувствительности ЭОП нам удалось, используя другой принцип его работы. Рисунок, *a* поясняет принцип работы этого ЭОПа. Выполненный из молибденового стекла ЭОП состоит из корпуса 1 диаметром 9 см и длиной 10 см с входным и выходным окнами 2 и 3. На выходном окне по принятой в производстве ЭОПов технологии создан люминесцентный экран со слоем люминофора 4 и слоем алюминия 5. В отличие от обычных ЭОПов разработанный

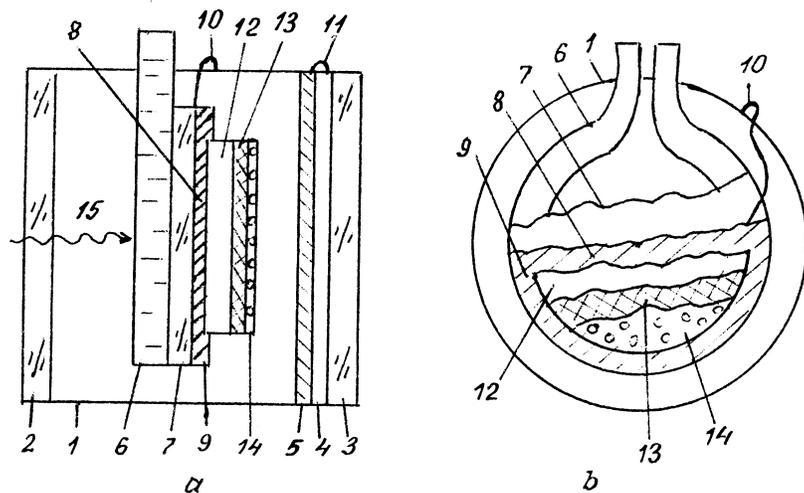


Схема ЭОП (а); система охлаждения (b).

содержит также систему охлаждения *b*, отдельно показанную в разрезе на рисунке *b*. Система охлаждения представляет собой изогнутую стеклянную трубку *б*, заполняемую при необходимости хладагентом (например, твердой углекислотой) во время работы ЭОПа. На поверхности сваренной с трубкой *б* прозрачной пластины *7* в вакууме методом термического напыления создана полупрозрачная пленка *8* молибдена толщиной порядка 10 нм. Края пленки *8* выполнены толстыми в виде кольца *9* (кольцо *9* — это манжета обычного ЭОПа [1–3]). Фактически кольцо *9* и пленка *8* представляют собой одно единое целое, так как сперва создавалась пленка *8*, а затем допылялось кольцо *9*. Манжета *9* и люминесцентный экран имеют контактные выводы *10* и *11* (молибденовые провода диаметром 0.2–0.3 мм), вакуумно-плотно сваренные в стекло. После соответствующей термической обработки в вакууме (обезгаживание при 300–450°C под вакуумной откачкой) на пленке *8* выращивалась полупроводниковая пленка *12*, например поликристаллического сульфида свинца диаметром 2.5 см и толщиной 200–500 нм. После очувствления пленки *12* на ее поверхности создавалась рыхлая (очень пористая) диэлектрическая пленка *13* окисла

алюминия толщиной порядка 150–250 nm. Диэлектрическая пленка получалась термическим испарением алюминия в среде воздуха при давлении 0.4–0.6 Torr. После обезгаживания диэлектрической пленки в вакууме при 120–180°C на ее поверхности по специальной технологии создавался серебряно-кислородно-цезиевый фотокатод *14* толщиной всего лишь порядка 10 nm, который обладал островковой структурой и фактически выполнял роль пленки, обладающей минимальной работой выхода. Фотокатод *14* изготовлялся путем прогревания окисленного слоя серебра в парах цезия. При этом атомы цезия проникают также и в поры диэлектрической пленки *13* и достигают поверхности полупроводниковой пленки *12*. Это может привести к образованию донорных поверхностных состояний на поверхности полупроводниковой пленки и совпадению уровня Ферми в объеме полупроводника с потолком валентной зоны. В этом случае порог фотоэмиссии, или фотоэлектронная работа выхода, соответствует работе выхода, определяемой по термоэлектронной эмиссии. Для увеличения эмиссии фотоэлектронов, переведенных в зону проводимости полупроводника, очевидно, требуется уменьшить энергию электронного сродства материала, что равнозначно уменьшению термоэлектронной работы выхода. Указанное снижение термоэлектронной работы выхода автоматически осуществляется попаданием на поверхность полупроводника атомов цезия. Атомы цезия образуют на обращенной к вакууму поверхности полупроводника дипольный слой, положительным полюсом обращенный в сторону вакуума. Электрическое поле, сосредоточенное внутри этого слоя, облегчает выход электронов из полупроводника в вакуум (в поры диэлектрика). При этом уменьшение работы выхода пропорционально поверхностной плотности адсорбированных атомов цезия и их дипольному моменту.

Для понимания механизма происходящих процессов представляется очень важным, что реальное значение электронного сродства не зависит от легирования полупроводника в объеме, а определяется материалом и состоянием его поверхности. Учитывая также то, что кроме атомов цезия на поверхности полупроводника возможно также наличие молекул окиси цезия, обладающих бóльшим по сравнению с цезием дипольным моментом, думается, что образование на поверхности полупроводника состояний, близких к отрицательному или нулевому электронному сродству, является вполне вероятным.

При приложении между выводами *10* и *11* рабочего напряжения (2–15 kV) термоэлектроны, всегда присутствующие при комнатной температуре в виде электронного облака над фотокатодом *14*, отсасываются

на люминесцентный экран, в результате чего поверхность диэлектрической пленки 13 заряжается положительно и в его объеме возникает электрическое поле. При попадании преобразуемого излучения 15 в полупроводниковую пленку 12 в его зоне проводимости образуются электроны. Половина из них дрейфует к поверхности, обращенной к вакууму, и из-за весьма малой работы выхода (электронного сродства) эмиттируются в поры диэлектрической пленки 13. Эмиттированные полупроводниковой пленкой электроны, проходя в диэлектрическую пленку 13 ускоряются в ней и за счет вторичной электронной эмиссии в его порах лавинообразно размножаются, что приводит к еще большему увеличению заряда диэлектрической пленки, уменьшению электронного сродства и к возникновению уже самоподдерживающейся эмиссии (СЭ) электронов [4]. Пройдя пленку 13, электроны попадают в вакуум и, ускоряясь анодным напряжением, бомбардируют люминесцентный экран, вызывая его свечение.

Идущий от объекта поток ИК-излучения 15, пройдя окно 2 и пластину 7, создает на поверхности пленки 12 определенное распределение облученности, что приводит к возрастанию в его объеме концентрации свободных носителей заряда, причем пространственное распределение концентрации свободных электронов соответствует пространственному распределению облученности поверхности пленки 12 и соответственно пространственному распределению яркости по поверхности экрана.

Изменение освещенности (облученности) участков пленки 12 вызывает изменение в этих участках концентрации свободных электронов и поэтому тока СЭ с этих участков, что приводит к изменению яркости соответствующих участков люминесцентного экрана.

Пополнение любой точки пленки 12 электронами, покидающими ее за счет излучения 15, осуществляется в основном благодаря пленке 8.

Чувствительность изготовленного ЭОП на длинах волн 1.06, 2.0 и 2.5  $\mu\text{m}$  была соответственно 4.0, 5.0 и 2.0 mA/W, его спектральная характеристика чувствительности практически соответствовала характеристике сульфида свинца, а пространственное разрешение  $\sim 12 \text{ r.lm/mm}$ .

Таким образом, экспериментально установлено, что в отличие от ФЭ-принципа предложенный СЭ-принцип преобразования изображения позволяет при соответствующем подборе полупроводникового материала преобразовывать изображение в более широком диапазоне спектра, что существенно расширяет область использования ЭОП.

## 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] *Фоменко В.С.* Эмиссионные свойства материалов. Справочник. Киев: Наук. думка, 1981. 340 с.
- [3] *Гартман В., Бернгард Ф.* Фотоэлектронные умножители. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1961. 208 с.
- [4] *Соболева Н.А., Меламид А.Е.* Фотоэлектронные приборы. М.: Высш. школа, 1974. 327 с.