

## О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ПОРИСТЫХ, НАНОСТРУКТУРНЫХ, ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПЛЕНОК В ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ

Х.Н. ВЕЗИРОВ

*Институт физики НАН Азербайджана  
Az1143, Баку, пр. Г. Джавида, 33*

В статье впервые рассмотрена возможность создания наноструктурных пористых чувствительных пленок в вакуумных фотоэлектронных приборах. Приведены характеристики полученных пленок.

The formation possibility of nanostructural porous sensitive films in vacuum photoelectron devices is considered at first time. The characteristics of obtained films are given.

Эмиссионным свойствам классических фотокатодов посвящено немало работ [1], тем не менее, продолжают исследования материалов для создания фотокатодов с улучшенными характеристиками [2]. Как известно, практически все классические фотокатоды получают при взаимодействии газообразного цезия с нанесенным на подложку слоем металлов или их оксидов. Особенно важны материалы, обладающие максимальной чувствительностью в ИК-области спектра, такие, например, как многощелочные и серебрено-кислородно-цезиевые (СКЦ) фотокатоды чувствительные в диапазоне длин волн излучения короче, соответственно, 0,9 и 1,7 мкм. У СКЦ фотокатода максимум чувствительности приходится на длины волн порядка 0,8 мкм. Однако очень слабая ИК-чувствительность порой делает невозможным использование этого фотокатода для регистрации излучения с длиной волны выше 1,2 мкм. Поэтому разработка новых материалов и методов изготовления фотокатодов с улучшенными параметрами очень актуальная задача.

Перспективным в этом направлении может оказаться применение электрического поля в самом фотокатоде, как это происходит в диэлектрических слоях, нанесенных на металлическую подложку.

Известно, что электрическое поле в объеме диэлектрического слоя, нанесенного на металлическую подложку, может приводить к увеличению коэффициента вторичной электронной эмиссии  $\sigma$ . Для этого на поверхности диэлектрика необходимо создать положительные электрические заряды, чтобы напряженность электрического поля была направлена вглубь эмиттера.

Впервые вторичную электронную эмиссию, зависящую от поля начал изучать Молтер [3, 4]. Он получал эмиттеры типа  $[Al]-Al_2O_3-Cs_2O$  толщиной порядка 200 нм, в которых электрическое поле предположительно достигало  $\sim 10^6$  В/см. В этих экспериментах коэффициент  $\sigma$  был порядка сотен, причем сильно зависел от анодного напряжения. Объяснялось столь anomальное поведение вторично-эмиссионного эмиттера образованием положительных ионов в поверхностных слоях диэлектрика.

Были исследованы также пористые слои  $MgO$ ,  $NaCl$ ,  $KCl$ ,  $CsCl$ . При этом установлено, что не только сильно пористые слои с объемной плотностью, составляющей несколько процентов от плотности вещества диэлектрика, но и сравнительно более плотные слои могут обнару-

живать существенное повышение  $\sigma$  при зарядке поверхности [5].

Ранее уже сообщалось [6, 7], что пористые диэлектрические пленки могут быть использованы для электронно-оптического преобразования изображения. В этих работах использовалась пористая пленка оксидов алюминия. На этой пленке диэлектрика в процессе изготовления прибора создавался очень тонкий слой  $Ag-O-Cs$ -фотокатода с островковой структурой и толщиной отдельных фрагментов фотокатода (островков) порядка 5-8 нм. Таким образом, получалась наноструктурная конструкция.

Следует отметить, что окислы серебра, образующиеся при изготовлении  $Ag-O-Cs$ -фотокатода, начинают диссоциировать при температуре  $\sim 370$  К [8]. Поэтому создание пленки окисла серебра проводят в тлеющем разряде в кислороде. Химический состав окончательно изготовленного  $Ag-O-Cs$ -фотокатода (в том числе островковой структуры) достоверно не установлен, хотя по некоторым данным [9] для этой пленки он отвечает стехиометрической формуле  $Cs_{11}O_3$ . По данным [9] в матрице из оксидов цезия находится встроенная в кристаллическую решетку примесь перекиси цезия. Эта примесь является акцепторной и легко принимает валентные электроны избыточных атомов цезия, что приводит к сильной адсорбции цезия матрицей. Этот процесс приводит к снижению работы выхода. Результаты же работы [10] противоречат результатам работы [11], в которой предполагается, что  $Ag-O-Cs$ - фотокатод содержит частицы серебра с высоким значением сродства к электрону, покрытые  $CsO$  с низким значением сродства к электрону и, поэтому, физическая модель этого фотокатода является промежуточной между структурой фотокатодов с отрицательным электронным сродством и однородным полупроводниковым фотоэмиттером типа  $Cs_3Sb$  [12]. При этом удалось установить, что как частицы серебра, так и пленка  $CsO$  являются наноразмерными, т.е. частицы серебра являются квантовыми точками, а пленка окиси цезия - квантовой ямой.

При прикладывании напряжения прямой полярности между анодом и катодом устройства, описанного в работах [6,7], за счет отбора термоэлектронов на анод, происходит зарядка поверхности диэлектрической пленки и

возникает эмиссия электронов с постепенным переходом в самоподдерживающуюся.

Следует, однако, отметить, что изготовление пленок различного химического состава (например,  $Al_2O_3$  и  $Ag-O-Cs$ ) в одном вакуумном объеме технологически затруднительно. Поэтому нами, для упрощения технологии изготовления прибора, была проведена попытка создания рыхлых (пористых) пленок окислов не алюминия, а именно серебра, с целью получения пористых фотокатодов.

Опираясь на опыт по изготовлению пористых пленок окислов алюминия [6, 7] была предпринята попытка применения уже отработанной методики, т.е. термического напыления металла в низком вакууме.

Для этого производилась вакуумная откачка объема с подложкой до давления 2-8 Па. Затем при таком давлении производилось термическое испарение серебра с вольфрамового проволочного испарителя. Пленки, которые получались этим методом, имели различный цвет в зависимости от давления остаточного газа в вакуумируемом объеме, где производилось напыление. В зависимости от давления и температуры испарителя, пленки получались различных цветов – от белого до коричневого и, даже черного.

Химический состав пленки, хотя специально и не исследовался, но, учитывая то, что в остаточном газе содержатся пары вакуумного масла, а при температурах испарителя активно происходят процессы пиролитического разложения [13] высокомолекулярных соединений, таких как молекулы вакуумного масла, можно предположить, что в состав ее входили также  $AgO$  [14] и  $AgNO_3$  [15]. Эта пленка затем обрабатывалась в парах цезия при температуре 100-200°C. В результате такой обработки (активирование цезием) часть окислов серебра превращалась в окислы цезия. Полученный таким способом слой по своему химическому составу был близок к  $Ag-O-Cs$ -фотокатоду, но по строению и свойствам соответствовал пористым пленкам. Прикладывание рабочего напряжения прямой полярности (плюс на аноде, минус на пористой пленке) при комнатной температуре приводило к зарядке этой пленки и возникновению электронной эмиссии.

Объясняется это следующим образом. Из-за очень малой работы выхода полученного фотокатода (~0,2эВ) над его поверхностью, граничащей с вакуумом, даже при комнатной температуре всегда присутствуют термоэлектроны в виде электронного облака. При создании напряжения рабочей полярности эти термоэлектроны отсасываются на анод, в результате чего поверхность фотокатода заряжается положительно и в его объеме возникает электрическое поле.

При работе прибора падающее на фотокатод излучение переводит часть электронов в зону проводимости полупроводника. Половина этих электронов дрейфует в направлении вакуума, другая часть в противоположную сторону (в сторону подложки). Малая работа выхода (электронное сродство) материала фотокатода приводит к эмиссии электронов в поры диэлектрической пленки. Двигаясь в порах фотокатода, электроны за счёт вторичной электронной эмиссии лавинообразно размножаются. Это приводит к постепенной зарядке как объема фотока-

тода, так и к ещё большему увеличению заряда его поверхностного слоя, последнее же к ещё большему уменьшению работы выхода. Изменение работы выхода  $\Delta\varphi$  под воздействием электрического поля  $E$  определяется соотношением:  $\Delta\varphi = 3,79 \cdot 10^{-4} \cdot E^{0,5}$  [16]. Пройдя фотокатод электроны попадают в вакуум и, ускоряясь анодным напряжением, бомбардируют анод. В частности, когда анодом служит люминесцентный экран, происходит его свечение. Таким образом осуществляется преобразование невидимого ИК-изображения, падающего на фотокатод, в видимое.

Однако при этом фотокатод работает уже не только в режиме фотоэлектронной эмиссии, но и усилителя тока (умножителя электронов в порах самого фотокатода), т.к. электроны при своем движении в пористом фотокатод лавинообразно размножаются за счет вторичной электронной эмиссии в порах. Это приводит к еще большему увеличению заряда на поверхности фотокатода, уменьшению электронного сродства [17] и, возможно, к возникновению уже самоподдерживающейся эмиссии электронов. Далее, выйдя в вакуум и ускоряясь анодным напряжением, электроны бомбардируют люминесцентный экран и вызывают его свечение.

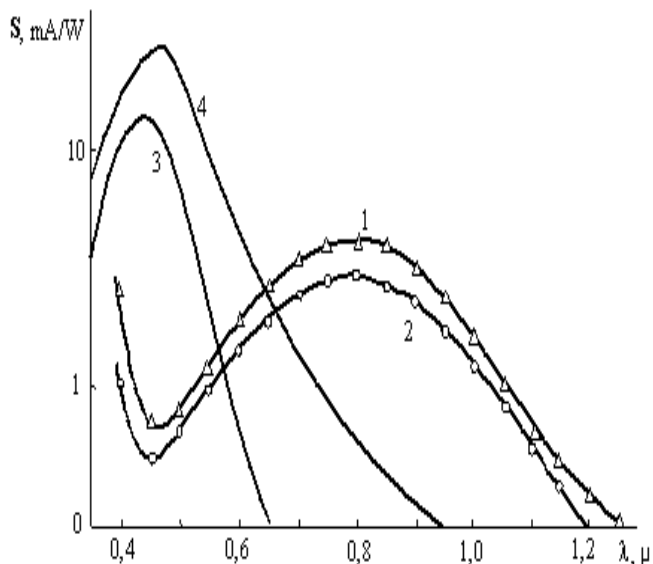


Рис.1. Спектральные характеристики чувствительности пористого (кривая 1) и обычного  $Ag-O-Cs$ - фотокатода (кривая 2), а также для сравнения  $Cs_3Sb$ - (3) и  $Na_2KSbCs$ -фотокатодов (4).

На рис. 1 показана спектральная характеристика чувствительности пористого  $Ag-O-Cs$ - (кривая 1) и, для сравнения, обычного  $Ag-O-Cs$ -фотокатода (кривая 2). Как видно из рис.1, у пористого фотокатода спектральная характеристика несколько сдвинута в длинноволновую область спектра. Мы считаем, что это связано с наличием ускоряющего поля в объеме (порах) фотокатода.

Думается, что предложенная методика изготовления фотокатодов может оказаться перспективной не только для изготовления электронно-оптических преобразователей, но и в производстве других вакуумных фотоэлектронных приборов.

- [1]. *А.Г.Берковский, В.А. Гаванин, И.Н. Зайдель.* Вакуумные фотоэлектронные приборы. М., Энергия, 1976, 344 с.
- [2]. *А.А.Жигарев, Г.Г.Шамаева.* Электронно-лучевые и фотоэлектронные приборы. М., Высшая школа, 1982, 520 с.
- [3]. *L.Malter.* Anomalous SE, a new phenomena. Phys. Rev., 49, (1936), 478.
- [4]. *L.Malter.* Twin film field emission. Phys. Rev., 50, (1936), 48.
- [5]. *С.А.Фридрихов.* Исследование ВЭ положительно заряженных диэлектрических слоев. ФТТ, (1964), No. 1, 236.
- [6]. *Х.Н.Везиров.* О применении пористых диэлектрических пленок для электронно-оптического преобразования изображения. Письма в ЖТФ, 25, No. 2 (1999), 83.
- [7]. *Х.Н.Везиров.* ЭОП с самоподдерживающейся эмиссией электронов. ПТЭ, No. 4, (1998), 104-106
- [8]. *F.Baumann, J.Kessler, W.Roessler.* Composition of Antimony Evaporating from Different Sources. J. Appl. Phys., 38, No. 38, (1967), 3398.
- [9]. *K.U.Von Raben, C.Leck, R.K.Chang, R.E.Benner.* Enhanced Raman scattering from cesium suboxides in photocathodes: Ag-O-Cs (s-1) and Bi-Ag-O-Cs (s-10). J. Appl. Phys., 55, No. 11, (1984), 3907-3911
- [10]. *Б.М.Гугель, А.Е.Меламид, Б.М.Степанов.* О строении серебряно-кислородно-цезиевого фотокатода. Рад. и электроника, 22, No. 7, (1977), 1466-1472.
- [11]. *A.H.Sommer.* Hypothetical mechanism of operation of the Ag-O-Cs (s-1) photocathode involving the peroxide Cs<sub>2</sub>O. J. Appl. Phys., 51, No. 2, (1980), 1254-1255.
- [12]. Фотоприемники видимого и ИК-диапазонов. Под ред. *Р.Дж. Куеса.* М., Радио и связь, (1985), 328.
- [13]. Молекулярные постоянные неорганических соединений: Справочник под ред. *К.С.Краснова.* Л., Химия, 1979, 448.
- [14]. *S.Smoes, F.Mandey.* Bull. Soc. Chem. Belg., 81, No. 1-2, (1977), 45.
- [15]. Энергия разрыва химических связей. Потенциалы ионизации и сродство к электрону. Справочник под ред. акад. *В.Н.Кондратьева* М., Наука, (1974).
- [16]. Таблицы физических величин. Справочник под ред. *И.К.Кикоина.* М., Атомиздат, 1976, 1008.
- [17]. *В.В.Горбачев, Л.Г.Спицына.* Физика полупроводников и металлов. М., Металлургия, 1982, 336.

Received: 10.02.2007