## ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ К «МЯГКОМУ» РЕНТГЕНОВСКОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ФОТОПРИЕМНИКОВ CdSe И As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>

## В.И. Салин

НИИ комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем г. Сосновый Бор, Ленинградская область

Рассмотрена возможность регистрации тонкими (< 5 мкм) полупроводниковыми слоями CdSe и  $As_2S_3$  «мягкого» рентгеновского излучения. Оценена величина чувствительности этих слоев в спектральном диапазоне 0,1 - 0,2 мкм.

Широкому В биологической использованию микроскопии «мягкого» рентгеновского излучения с длиной волны  $\lambda = 0.1 - 0.2$  мкм препятствует отсутствие достаточно надежных и удобных индикаторных устройств, позволяющих наблюдать рентгеновское изображение биологического объекта в реальном масштабе времени. Данную задачу возможно решить, если вместо регистрации изображения наблюдаемого объекта на рентгеновскую фотопленку, использовать в качестве преобразователей электронно-лучевые рентгеновского излучения фотоприемники «МЯГКОГО» телевизионного типа с тонкопленочными (< 5 мкм) полупроводниковыми мишенями CdSe и As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, обладающих значительной чувствительностью в спектральной области < 0,3 мкм. В качестве иллюстрации на рис. 1 приведены распределения относительной спектральной чувствительности  $S(\lambda)$  этих фотоприемников.

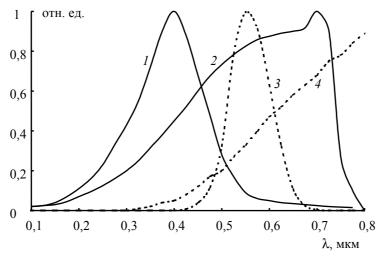


Рис.1.

Распределение относительной спектральной чувствительности фотоприемников  $S(\lambda)$  CdSe -1,  $As_2S_3-2$  и стандартного наблюдателя MKO  $V(\lambda)-3$ , а также относительное спектральное распределение энергии излучения  $P_A(\lambda)$  источника A.

Поскольку данные фотоприемники изготавливаются для работы в видимом спектральном диапазоне (0,35 <  $\lambda$  < 0,8 мкм), то их чувствительность оценивается в фотометрических величинах  $E_v$  [лк], которые приведены к кривой видимости стандартного наблюдателя МКО и эталонному источнику излучения с цветовой температурой T=2854 K (источник A). Спектральные распределения чувствительности

стандартного наблюдателя МКО  $V(\lambda)$  и энергии излучения  $P_A(\lambda)$  источника A отображены на рис.1 кривыми 3 и 4.

При работе с источником A фотоприемники CdSe и  $As_2S_3$  генерируют ток сигнала:

$$I_c = 0,4 \times 10^{-6} \,\mathrm{A}$$
 при  $E_v = 1,0$  лк для CdSe, при  $E_v = 20$  лк для  $\mathrm{As}_2 \mathrm{S}_3$ .

При этом величина темнового тока обоих фотоприемников оказывается практически одинаковой и не превышает величину  $I_{\scriptscriptstyle T} = 5 \times 10^{-9} \ A.$ 

Из сопоставления приведенных в выражении (1) значений  $I_c(E_v)$  следует, что для генерации данными фотоприемниками одной и той же величины выходного сигнала для каждого из них требуется существенно различная величина освещенности. Это различие достигает значения:

$$E_v(As_2S_3) / E_v(CdSe) = 20.$$

Для оценки чувствительности фотоприемников к «мягкому» рентгеновскому излучению необходимо, в первую очередь, перевести значение их чувствительности из фотометрических  $E_v$  [лк] величин в энергетические  $E_e$  — [ $Bt \cdot cm^{-2}$ ]. С этой целью достаточно воспользоваться методикой, изложенной в монографии [1].

Количественное значение освещенности фотоприемника в энергетических величинах  $E_{\rm e}$  по известной его освещенности в фотометрических величинах  $E_{\rm v}$  определяется выражением:

$$E_e = 1,47 \times 10^{-7} \xi E_v,$$
 (2)

где 
$$\xi = \int_{0,3}^{0,8} P_A(\lambda)S(\lambda)d\lambda / \int_{0,3}^{0,8} P_A(\lambda)S(\lambda)d\lambda$$
 - коэффициент использования излучения

источника A фотоприемником, со спектральным распределением чувствительности  $S(\lambda)$ , и стандартным наблюдателем MKO, характеризующимся спектральным распределением чувствительности  $V(\lambda)$ .

Значения этого коэффициента определяются с помощью характеристик, представленных на рис.1, как отношение площадей пересечения распределения  $P_A(\lambda)$  с распределениями  $V(\lambda)$  и  $S(\lambda)$ .

В результате вычислений получаем:

 $\xi = 3,16$  для CdSe,

 $\xi = 0.41$  для  $As_2S_3$ .

Определенные по данной методике значения чувствительности фотоприемников в энергетических величинах оказываются равными:

для CdSe 
$$E_e = 0.46 \times 10^{-6} \text{ Bt·cm}^{-2},$$
 для  $As_2S_3$   $E_e = 1.21 \times 10^{-6} \text{ Bt·cm}^{-2}.$  (3)

При этом различие в чувствительности фотоприемников составляет:

$$E_e (As_2S_3) / E_e (CdSe) \cong 2.6.$$

Отношение значений  $E_e$  в выражении (3) почти на порядок отличается от соотношения значений  $E_v$ , приведенного в выражении (1).

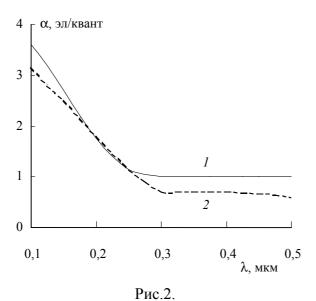
Существенное различие чувствительности рассматриваемых фотоприемников в фотометрических величинах, обусловлено особенностью применяемого метода измерения освещенности – контрольное фотоприемное устройство со спектральным

распределением чувствительности, соответствующим кривой видности  $V(\lambda)$ , измеряет лишь часть потока излучения источника A, воспринимаемого фотоприемниками.

Незначительное различие чувствительности этих же фотоприемников в энергетических величинах обусловлено тем, что их электрофизические характеристики (кратность изменения сопротивления при освещении и величина темнового сопротивления), определяющие формирование выходного сигнала, оказываются практически одинаковыми, т.е. независимыми от материала фотопроводника [2].

Следующим этапом вычислений является определение квантового выхода фотоприемников в видимом  $\alpha_V$  и рентгеновском  $\alpha_R$  участках спектрального диапазона.

На рис.2 представлены результаты экспериментальных исследований квантового выхода внутреннего фотоэффекта фотоприемников CdSe и  $As_2S_3$  в спектральном диапазоне  $0,1<\lambda<0,5$  мкм, полученные в работе [3].



Спектральное распределение абсолютного квантового выхода фотоприемников CdSe  $\,$  -  $\,$  1 и  $\,$  As $_2$ S $_3$   $\,$  -  $\,$  2.

Откуда следует, что если величина квантового выхода этих фотоприемников при длине волны излучения  $\lambda \geq 0.3$  мкм остается постоянной и равной  $\alpha_{\rm V} \cong 1.0$ , то в области «мягкого» рентгеновского излучения  $(0,1<\lambda<0.2$  мкм) квантовый выход повышается и при значении  $\lambda=0.1$  мкм достигает величины  $\alpha_{\rm R}\cong 3.0$ .

С целью упрощения вычислений можно принять средние значения квантового выхода фотоприемников CdSe и  $As_2S_3$  для диапазона «мягкого» рентгеновского излучения равными  $\alpha_R=2,7$  и  $\alpha_R=2,5$ , соответственно. Тогда значения квантового выхода данных фотоприемников могут быть характеризоваться, как:

Располагая информацией о значениях квантового выхода и чувствительности в энергетических величинах фотоприемников, их чувствительность к рентгеновскому излучению можно оценить, как:

$$E_{R} = E_{e}(\alpha_{v} / \alpha_{R})\psi^{-1}, \qquad (5)$$

где  $\psi = \int\limits_{0,1}^{0,2} S(\lambda) d\lambda / \int\limits_{0,35}^{0,8} S(\lambda) d\lambda$  - коэффициент использования фотоприемником

рентгеновского излучения.

В результате вычислений величины этого коэффициента оказываются равными:

для CdSe 
$$\psi = 0.016$$
, для  $As_2S_3$   $\psi = 0.044$ .

В окончательном виде, с учетом значений коэффициентов  $\alpha_v$ ,  $\alpha_R$  и  $\psi$ , чувствительность фотоприемников CdSe и  $As_2S_3$  к «мягкому» рентгеновскому излучению с длиной волны  $0.1 < \lambda < 0.2$  мкм может быть оценена, как:

для CdSe 
$$E_R = 77,6 \times 10^{-6} \text{ Bt} \cdot \text{cm}^{-2},$$
  
для  $As_2S_3$   $E_R = 98,2 \times 10^{-6} \text{ Bt} \cdot \text{cm}^{-2}.$  (7)

Из сопоставления результатов, представленных в выражениях (3) и (7), следует, что для генерации фотоприемниками CdSe и  $As_2S_3$  выходного сигнала  $I_c$ =  $0.4\times10^{-6}$  A, их освещенность «мягким» рентгеновским излучением должна быть на два порядка выше, чем при работе в видимом диапазоне спектра, а именно:

для CdSe 
$$E_R / E_e \sim 170$$
 раз, для  $As_2S_3$   $E_R / E_e \sim 82$  раза.

## Литература:

- 1. Мирошников М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов. Л.; Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983. 696 с.
- 2. Салин В.И. Взаимосвязь световой и энергетической чувствительности телевизионных приемников излучения. // Оптический журнал. − 1997. Т.64, № 8. − С. 58-60.
- 3. Грешанин С.Г., Черкасов Ю.А. Исследование абсолютного квантового выхода внутреннего фотоэффекта в высокоомных полупроводниках. //  $\Phi$ TT. − 1964. − T.6, № 9. − C. 2831 − 2836.

## Estimate of soft x-rays sensitivity of CdSe and As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> thin-film photodetectors

V.I. Salin, Ph.D.

Research Institute for Complex Testing of Optoelectronic Devices and Systems The town of Sosnovy Bor Leningrad region

The possibility for recording of soft X-rays by thin ( $< 5 \mu m$ ) CdSe and  $As_2S_3$  semiconducting layers is examined. The sensitivity value of these layers in the spectral range between 0.1 and 0.2  $\mu m$  is estimated.