

## The working out of algorithms of modeling process of forming $P^{++}$ -, $P$ -, $P^+$ -layers of two-bays LPD with stepped profile of alloying

A. G. Shautsukov

The Kabardino-Balkarian State University, Nalchik, Russia

G. D. Kuznetsov

The Moscow State Institute of Steel and Alloys, Moscow, Russia

*In the given research work based on the method of implantation through the film and the method of multiple ionic alloying have been worked out algorithms of modeling of process of forming  $P^{++}$  of the contact layer and  $P^+$ - $P$  two-flying layer. LPD with stepped profile of alloying numerical experiment is carried out for determining of the regime of forming  $P^{++}$ -,  $P$ -,  $P^+$ -layers of the two paned LPD of fourmillimetered diapason (range) with the stepped profile alloying.*

УДК 621.383

## Преобразователь оптического изображения на основе гетероперехода $Cd_{1-x}Zn_xS—CdTe_{1-x}Se_x$

М. А. Джафаров, Э. Ф. Насиров, А. И. Тахмазова

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

И. А. Насибов

Институт физики НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

*Рассмотрены особенности фотоэлектрических свойств гетеропереходов (ГП)  $Cd_{1-x}Zn_xS—CdTe_{1-x}Se_x$  в зависимости от технологических режимов их осаждения из раствора и термической обработки. При освещенности  $1,45 \cdot 10^5$  лк фотоэлементы генерировали ЭДС 0,5—0,6 В, ток 5—8 мА/см<sup>2</sup> и имели КПД  $\eta = 4—5$  %. Спектральное распределение тока короткого замыкания позволяет охарактеризовать формирователь сигналов изображения на основе ГП  $Cd_{1-x}Zn_xS—CdTe_{1-x}Se_x$  как зеленочувствительный по общепринятой классификации для фотографических слоев. Однако структура может работать и во всей области видимого спектра, хотя и с разной чувствительностью. Это позволяет получить три цветоотделенных изображения в основных цветах и тем самым сформировать цветной видеосигнал. Преобразование оптического излучения в электрические сигналы на основе ГП  $Cd_{1-x}Zn_xS—CdTe_{1-x}Se_x$  может быть использовано для регистрации слабых оптических изображений с последующей записью их элементов в память с возможной коррекцией фотоэлектрической чувствительности, а считывание изображения производится ИК-светом.*

В неидеальных ГП наблюдается большой набор различных эффектов и явлений, связанных с появлением большого количества электрически активных дефектов на гетерогранице, принимающих участие в токопереносе, поглощении и излучении световых квантов. Перспективность практического

применения неидеальных ГП связана в первую очередь с более экономичной технологией создания поликристаллических гетероструктур в сравнении с монокристаллическими. Одним из направлений в изучении неидеальных ГП является возможность применения критериев, разработанных

ных в классической фотографической сенситометрии, к преобразователям оптического изображения в электрический сигнал на основе ГП  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ — $\text{CdTe}_{1-x}\text{Se}_x$ .

Экономичность и технологичность поликристаллических материалов стимулирует их перспективность для изготовления неидеальных гетеропереходов. Одним их подходящих для этих целей методов оказалось химическое осаждение из водного раствора. Указанный метод позволяет получить гетеропереходы с достаточно большой площадью.

Ранее [1—3] сообщалось о получении и исследовании некоторых особенностей гетеропереходов на основе пленок  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ . Настоящая работа посвящена созданию и исследованию электрических, а также фотоэлектрических свойств гетеропереходов типа  $n\text{-Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ — $\text{CdTe}_{1-x}\text{Se}_x$ , полученных методом химического осаждения. Электрооптические свойства гетеропереходов нашли практическое применение в фототранзисторах и солнечных элементах. Однако физика и техника гетеропереходов имеют и другой важный аспект — создание, исследование и практическое применение неидеальных гетеропереходов. Такие структуры образованы поликристаллическими полупроводниками с несовпадающими константами кристаллических решеток. В неидеальных гетеропереходах наблюдается большой набор различных эффектов и явлений, связанных с различными свойствами полупроводников по обе стороны границы, а также с появлением большого количества электрически активных дефектов на гетерогранице, принимающих участие в токопереносе, поглощении и излучении световых квантов. Перспективность практического применения неидеальных гетеропереходов связана в первую очередь с более экономичной технологией создания поликристаллических структур в сравнении с монокристаллическими. Одним из направлений в изучении неидеальных гетеропереходов является возможность применения критериев, разработанных в классической фотографической сенситометрии, к преобразователям оптического изображения в электрический сигнал на основе гетероперехода  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ — $\text{CdTe}_{1-x}\text{Se}_x$ .

Исследуемые гетеропереходы представляли собой "сэндвич"-структуру. В качестве подложки (катода) использовались монокристаллические пластинки  $\text{CdTe}_{1-x}\text{Se}_x$  с толщиной в пределах 0,4—0,6 мм.

Процесс химического осаждения пленок  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$  на пластинках  $\text{CdTe}_{1-x}\text{Se}_x$  проводился в специальном кварцевом сосуде при температуре 80 К. Состав полученных пленок варьировал в интервале  $0 \leq x \leq 0,5$ , а толщина их составляла 0,5—3 мкм

для различных образцов. Пленки  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$  имели  $n$ -тип проводимости, который определялся по знаку термоЭДС. Площадь полученных гетеропереходов находилась в пределах 0,5—5 см<sup>2</sup>.

На рис. 1 приведены характерные кривые вольт-амперной характеристики (ВАХ) изучаемых гетеропереходов при различных значениях  $x$ . Пропускное направление для всех изучаемых структур при этом соответствует отрицательному потенциалу на  $\text{CdTe}_{1-x}\text{Se}_x$ . Как видно из рис. 1, при относительно низких напряжениях ВАХ изучаемых структур подчиняется экспоненциальному закону, что соответствует генерационно-рекомбинационному механизму переноса носителей тока через гетеропереход. При  $U \geq (0,65—0,9)$  В в ВАХ наблюдается линейный участок, что позволяет определить токовое напряжение отсечки ( $U_k$ ). Установлено, что для гетеропереходов с  $x = 0$  величина  $U_k$  составляет  $\sim 0,45$  В (см. рис. 1, кривая 1). С ростом содержания цинка в растворе  $U_k$  увеличивается и при  $x = 0,6$  достигает  $\sim 0,55$  В. При  $U \geq (0,9—1,4)$  В (в зависимости от значения  $x$ ) ВАХ изучаемых структур подчиняется степенному закону  $I \sim U^m$  (где  $m \geq 2$ ), что объясняется инжекцией носителей тока в объем  $\text{CdTe}_{1-x}\text{Se}_x$ .

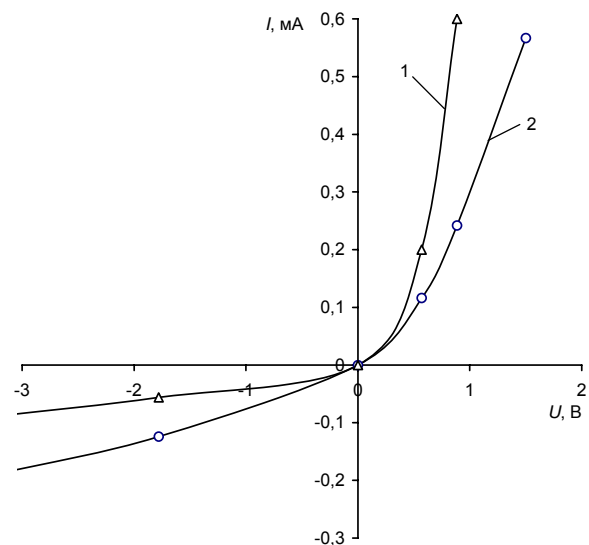


Рис. 1. ВАХ гетеропереходов  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ — $\text{CdTe}_{1-x}\text{Se}_x$ :  
1 —  $x = 0,2$ ; 2 —  $x = 0,5$ ;  $T = 300$  К

В обратном направлении при относительно низких напряжениях ВАХ подчиняется линейному ( $I \sim U$ ), а при больших напряжениях — степенному ( $I \sim U^m$ ) закону.

На рис. 2 приведена вольт-фарадная характеристика (ВФХ) изучаемых структур при 300 К. Для структур  $n\text{-Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ — $\text{CdTe}_{1-x}\text{Se}_x$  прямая, экстраполированная до  $C^2 = 0$ , отсекает от оси  $U$  отрезок, равный  $\sim 0,6$ . Следует отметить, что в гетеро-

переходах  $n\text{-Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S—CdTe}_{1-x}\text{Se}_x$  величина  $U_d$ , определенная из ВФХ, составляет 0,5 В [1]. Наблюдаемый в наших измерениях рост  $U_d$  с  $x$  может объясняться увеличением ширины запрещенной зоны пленок  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$  [4].

Значения  $U_d$ , определенные из ВФХ и ВАХ, не совпадают. Это может объясняться как неоптимальностью технологического режима, так и несоответствием постоянных кристаллической решетки контактирующих материалов. Дело в том, что химический способ изготовления гетеропереходов приводит к образованию большого количества поверхностных состояний на границе раздела, связанных с неоднородностями поликристаллических пленок. Причем, как следует из рис. 1, 2, с ростом  $x$  это расхождение уменьшается. Предполагается, что увеличение содержания цинка в составе пленок приводит, во-первых, к росту потенциального барьера [4] и, во-вторых, к уменьшению несоответствия между постоянными решеток контактирующих материалов [3]. Это в свою очередь может привести к уменьшению на границе раздела гетеропереходов концентрации поверхностных состояний, участвующих в процессе токопрохождения.

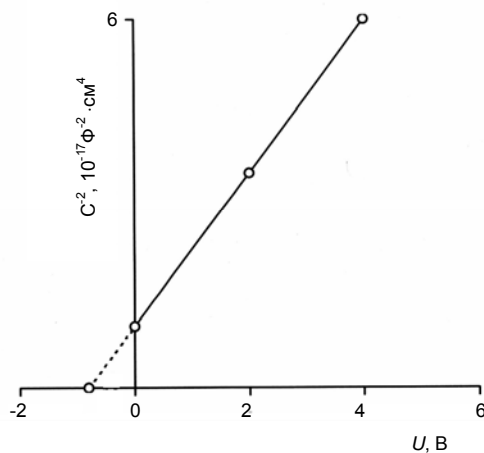


Рис. 2. ВФХ гетеропереходов  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S—CdTe}_{1-x}\text{Se}_x$ :  $x = 0,5$ ;  $T = 300$  К

Полученные результаты позволяют предполагать, что в изучаемых нами структурах концентрация поверхностных состояний на границе раздела хотя и может быть зависимой от технологического режима осаждения, однако при этом доминирующим является влияние несоответствия между постоянными кристаллической решетки полупроводников. В ходе проведенных измерений оказалось, что изучаемые гетеропереходы  $n\text{-Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S—CdTe}_{1-x}\text{Se}_x$  обладают высокой фоточувствительностью в области длин волн 0,4—1,2 мкм. При освещении этих структур со стороны широкозон-

ного полупроводника ( $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ ) возникает фотоЭДС, знак у которой не изменяется во всей области фоточувствительности. Значение фотоЭДС для структур  $n\text{-Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S—CdTe}_{1-x}\text{Se}_x$  при  $\Phi = 500$  лк и  $T = 300$  К в фотовольтаическом режиме составляет ~0,5 В.

Типичные кривые спектральной зависимости фототока в изучаемых структурах при различных содержаниях цинка представлены на рис. 3. Как видно из рис. 3, при освещении гетеропереходов со стороны  $\text{CdTe}_{1-x}\text{Se}_x$  на спектре фототока проявляется только один более интенсивный длинноволновый пик при 1,25 мкм, связанный с прямыми межзонными переходами в монокристалле  $\text{CdTe}_{1-x}\text{Se}_x$  (см. рис. 3, кривая 1). Освещение гетеропереходов  $n\text{-Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S—CdTe}_{1-x}\text{Se}_x$  со стороны широкозонного полупроводника приводит к изменению картины спектральной зависимости фототока. Более ярко выраженный коротковолновый пик для гетеропереходов с  $x = 0$  наблюдается при 0,6 мкм. С увеличением  $x$  наблюдается смещение этого пика в более коротковолновую часть спектра, что мы связываем с изменением ширины запрещенной зоны пленок  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ . Предполагается, что обнаруженное при измерениях изменение фоточувствительности гетеропереходов в зависимости от геометрии освещения связано с особенностями поглощения в контактирующих материалах  $\text{CdTe}_{1-x}\text{Se}_x$  и  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ . При проецировании на образец какого-либо изображения его точки освещаются поразному, что приводит к различной концентрации дырок, захваченных на ловушки, и, соответственно к различному изгибу энергетических зон в области пространственного заряда (ОПЗ). Если проецирование прекратить, то различие в концентрации дырок сохраняется достаточно долго, что позволяет использовать гетеропереход в качестве устройства, запоминающего оптическую информацию. Считывание этой информации возможно при сканировании образца инфракрасным светом. С помощью ИК-подсветки можно также производить стирание изображения, при этом образец освещают импульсами большой длительности с высокой частотой следования, после чего образец пригоден для повторного запоминания другого изображения.

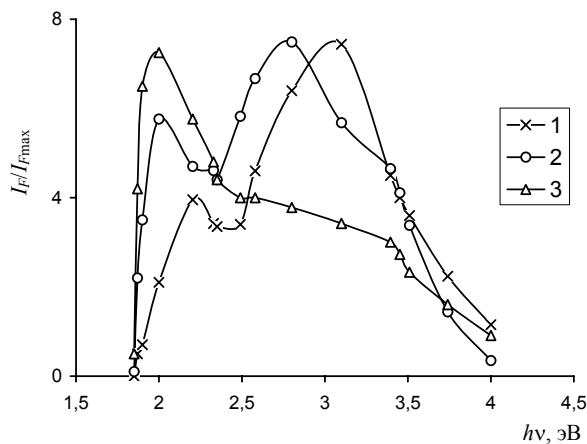


Рис. 3. Спектральная характеристика фототока гетеропереходов  $Cd_{1-x}Zn_xS-CdTe_{1-x}Se_x$ . При освещении со стороны: 1, 2 —  $Cd_{1-x}Zn_xS$ ; 3 —  $CdTe_{1-x}Se_x$ ; 1, 2 —  $x = 0$ ; 3 —  $x = 0,5$ ;  $T = 300$  К

Процессы записи и считывания могут быть значительно разнесены во времени, однако длительное хранение сопровождается термическим опустошением ловушек, что приводит к постепенной утрате оптической информации.

При хранении образца при температуре около 80 К считывание информации возможно в течение нескольких дней. Повышение температуры хранения приводит к более быстрому термическому высвобождению дырок в валентную зону. Гетеропереход  $Cd_{1-x}Zn_xS-CdTe_{1-x}Se_x$  может находиться в двух различных состояниях. Одно из них — равновесное — обладает низкой чувствительностью к инфракрасному свету и позволяет получить невысокое значение тока  $I_{sh.c}$ . Другое состояние — неравновесное — высокочувствительно к ИК-свету и дает значительно большую величину тока короткого замыкания. Переход из равновесного в неравновесное состояние осуществляется при действии коротковолнового света за счет описанного

выше эффекта захвата и накопления неравновесных дырок на ловушках в ОПЗ CdS. Время сохранения структурой неравновесного состояния определяется величиной рекомбинационного барьера и процессом выброса дырок из ловушек, идущим наряду с накоплением. Но после прекращения действия коротковолновой подсветки выброс начинает играть решающую роль в токопередаче, так как освобождение захваченного заряда обуславливает обратные изменения параметров барьера и переход структуры из неравновесного состояния в равновесное. Интенсивность выброса определяет величину и скорость изменения параметров барьера. Максимальная эффективность обеспечивается в гетеропереходах с  $x = 0,5$ . Следует отметить, что параметры изотипных гетеропереходов  $n-Cd_{1-x}Zn_xS-CdTe_{1-x}Se_x$ , полученные нами методом химического осаждения, не подвергались деградации при естественном сохранении их более 6 мес.

Таким образом, можно заключить, что, гетеропереходы  $n-Cd_{1-x}Zn_xS-CdTe_{1-x}Se_x$ , изготовленные методом химического осаждения, могут быть полезными для физических исследований, а также для практических применений в сенситометрии.

#### Л и т е р а т у р а

1. Шук А. Я., Шмарцев Ю. В. Фотоэлектрические свойства неидеальных гетеропереходов// ФТП. 1981. Т. 15. № 7. С. 1385—1393.
2. Ahrenkiel R. K. Characterization of CdZnS/CuInSe<sub>2</sub> thin-film solar cells// Proc. SPIE. 1985. P. 9—18.
3. Alarmi S. N., Brinkman A. W. The effect of the transparent conductive oxide on the performance of thin film CdS/CdTe solar cells// J. Phys. D: Appl. Phys. 1999. V. 33. № 1. P. 1.
4. Al-Dallal Shawqi. Radiative recombination in CdSe/ZnTe heterojunction// Proc. SPIE. 1995. V. 2362. P. 602—611.

Статья поступила в редакцию 23 ноября 2004 г.

## The converter of the optical image on the basis of a $Cd_{1-x}Zn_xS-CdTe_{1-x}Se_x$ heterojunction

M. A. Jafarov, E. F. Nasirov, A. I. Takhmazova  
Baku State University, Baku, Republic of Azerbaijan

I. A. Nasibov

Institute of Physics of the Azerbaijan NAS, Baku, Republic of Azerbaijan

*Features of photo-electric properties of  $Cd_{1-x}Zn_xS-CdTe_{1-x}Se_x$  heterojunctions, which depend on technological modes of their sedimentation from a solution and thermal processing, have been considered. At light exposure as  $1.45 \cdot 10^5$  luxes, the photo cells generated the 0.5—0.6 V EMF, the  $5.8 \text{ mA}/\text{cm}^2$  current and had the 4.5 %-efficiency factor. Spectral distribution of a short circuit current allows to characterize the shaper of picture signals on the  $Cd_{1-x}Zn_xS-CdTe_{1-x}Se_x$  basis as susceptible to green color on the standard classification for photographic layers. However, the structure*

---

*can work and in all area of the visible spectrum though with different sensitivity. It allows receiving three color-difference images in primary colors and by that to generate a color video signal.*