

©1995 г.

## ПОВЕРХНОСТНО-БАРЬЕРНЫЕ СТРУКТУРЫ $\text{CdSe}_x\text{Te}_{1-x}$ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

*А.М.Павелец, С.Ю.Павелец, Т.М.Сванидзе*

Институт физики полупроводников Академии наук Украины,  
252650, Киев, Украина

(Получена 20 июня 1994 г. Принята к печати 21 сентября 1994 г.)

Исследованы основные свойства поверхностно-барьерных структур  $\text{CdSe}_x\text{Te}_{1-x}$  в зависимости от фазового состава. Показано, что твердые растворы  $\text{CdSe}_x\text{Te}_{1-x}$  с  $x = 0.6 \div 0.8$  (ширина запрещенной зоны  $1.35 \div 1.4$  эВ) объединяют положительные свойства CdSe и CdTe как материалов для солнечной энергетики. Полученные поверхностно-барьерные структуры перспективны для тонкопленочных поликристаллических солнечных элементов.

Полупроводниковые соединения группы  $\text{A}^{\text{II}}\text{B}^{\text{VI}}$  относятся к одним из основных материалов, пригодных для изготовления тонкопленочных поликристаллических фотопреобразователей (ФП). Практически все наиболее известные и перспективные тонкопленочные поликристаллические ФП в своей основе содержат соединение  $\text{A}^{\text{II}}\text{B}^{\text{VI}}$ , которое либо играет роль fotocувствительной составляющей, либо служит широкозонным окном. В качестве fotocувствительной составляющей используются  $p\text{-CdTe}$ ,  $n\text{-CdTe}$  и  $n\text{-CdSe}$ .

Трудности создания омических контактов к  $n\text{-CdTe}$  и необходимость дополнительного легирования донорной примесью обуславливают невысокую воспроизводимость технологии получения ФП на основе CdTe. Неконтролируемая в процессе выращивания низкоомного CdTe и при эксплуатации ФП диффузия примесей по межкристаллическим границам поликристаллического слоя и, как следствие, закорачивание  $p\text{-}n\text{-}$ перехода являются дополнительно причиной деградации ФП.

Другой представитель соединений  $\text{A}^{\text{II}}\text{B}^{\text{VI}}$  — селенид кадмия — для получения достаточно низкоомной fotocувствительной базовой области не требует легирования посторонней примесью, не существует для него и проблемы изготовления омического контакта. Однако преобразователям на основе CdSe, кроме более узкой, чем у CdTe, области спектральной чувствительности, присущи также значительно более высокие (примерно на 3 порядка величины) значения обратных диодных токов  $I_0$ .

Как следует из [1], представляется интерес объединение достоинств теллурида и селенида кадмия путем использования в качестве базового слоя ФП твердых растворов  $\text{CdSe}_x\text{Te}_{1-x}$ . Характерной особенностью твердых растворов  $\text{CdSe}_x\text{Te}_{1-x}$  является нелинейная зависимость ширины запрещенной зоны  $E_g$  растворов от фазового состава в пределах изменения  $x$  от 0 до 1. Более того, в этих твердых растворах обнаруживается минимум на зависимости  $E_g(x)$ . Как указывается в [2-5], в зависимости от условий приготовления кристаллов минимум кривой ( $E_g = 1.32$  эВ) может соответствовать любому значению  $x$  интервала  $0.2 < x < 0.6$ . Таким образом, ширина запрещенной зоны твердого раствора  $\text{CdSe}_x\text{Te}_{1-x}$  может изменяться от 1.7 эВ (значение  $E_g$  для селенида кадмия) до 1.32 эВ, что находится в пределах величин  $E_g$ , оптимальных для солнечных преобразователей.

В настоящей работе приведены результаты исследования основных свойств структур  $\text{Cu}_{1.8}\text{-CdSe}_x\text{Te}_{1-x}$  в зависимости от фазового состава твердого раствора. Поликристаллические базовые слои твердых растворов  $\text{CdSe}_x\text{Te}_{1-x}$  выращивались на металлизированных диэлектрических подложках методом вакуумной конденсации в квазизамкнутом объеме. При комнатной температуре концентрация электронов в слоях  $\text{CdSe}_x\text{Te}_{1-x}$  составляет  $n \approx 10^{15} \text{ см}^{-3}$ , концентрация дырок в  $\text{Cu}_{1.8}\text{S} - p = 5 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$ . Толщина пленки сульфида меди равнялась  $(40 \pm 5)$  нм. Указанные гетеропереходы могут быть отнесены к поверхностно-барьерным структурам, у которых вместо металла используется сильно вырожденный полупроводник — стабильная модификация сульфида меди  $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$  [6,7]. Так же как и у контакта металл-полупроводник из-за резкой асимметрии проводимостей составляющих гетероперехода, область пространственного заряда практически полностью сосредоточена в твердом растворе  $\text{CdSe}_x\text{Te}_{1-x}$ .



Рис. 1. Прямые ветви вольт-амперных характеристик структур  $\text{Cu}_{1.8}\text{S-CdSe}_x\text{Te}_{1-x}$  при комнатной температуре.  $x$ : 1 — 1, 2 — 0.9, 3 — 0.6, 4 — 0.7, 5 — 0.

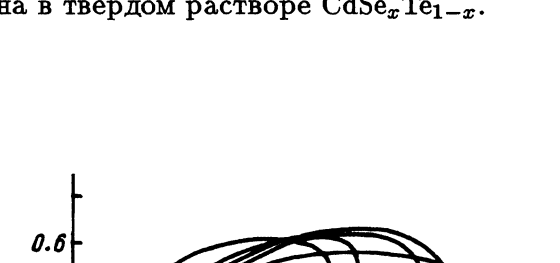


Рис. 2. Спектральное распределение квантовой эффективности  $H$  ФП  $\text{Cu}_{1.8}\text{S-CdSe}_x\text{Te}_{1-x}$ .  $x$ : 1 — 1, 2 — 0.9, 3 — 0, 4 — 0.6, 5 — 0.7.

На рис. 1 показаны вольт-амперные характеристики исследованных структур. Прямые ветви хорошо описываются выражением  $I = I_0 \exp(\alpha U)$ . Минимальные значения параметров  $I_0$  и  $\alpha$  наблюдались для растворов с  $x = 0.7$  и  $x = 0$ , причем  $I_0$  на  $3\div 4$  порядка величины ниже, чем для ФП на основе CdSe. Для всех исследованных структур характерна слабая зависимость  $I_0$  от температуры и независимость параметра  $\alpha$  от температуры, что свидетельствует об едином механизме тока, характерном для гетеропереходов «вырожденный полупроводник  $\text{Cu}_x\text{S}$ -полупроводник» [6,7].

Спектральное распределение квантовой эффективности структур представлено на рис. 2. Из сравнения приведенных зависимостей следует качественное соответствие спектрального распределения чувствительности ФП характерному для твердых растворов  $\text{CdSe}_x\text{Te}_{1-x}$  изменению с составом ширины запрещенной зоны  $E_g(x)$ . Действительно, длинноволновая граница образца с  $x \simeq 0.7$  (кривая 5) простирается дальше границы чувствительности ФП  $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$ -CdTe (кривая 3), т.е. твердые растворы со значением  $x \simeq 0.7$  имеют меньшее, чем у CdTe, значение ширины запрещенной зоны.

Как следует из экспериментальных данных,  $\text{CdSe}_x\text{Te}_{1-x}$  в области составов, соответствующих  $x \simeq 0.7$ , как и CdSe, достаточно низкоомны и не требуют дополнительного легирования посторонней примесью. Просто решается для них и проблема создания омического контакта. ФП на основе указанных твердых растворов имеют более высокие, чем у ФП  $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$ -CdSe ( $x = 1$ , кривая 1), значения  $I_0$  и значительно более широкую область спектральной чувствительности. Таким образом, твердые растворы  $\text{CdSe}_x\text{Te}_{1-x}$  в области значений  $x \simeq 0.7$  объединяют достоинства селенида и теллурида кадмия, расширяя тем самым круг полупроводниковых материалов, перспективных для использования в солнечной энергетике.

Лучшие фотоэлектрические параметры солнечных преобразователей на основе твердых растворов  $\text{CdSe}_x\text{Te}_{1-x}$ , измеренные при естественном солнечном освещении мощностью  $70 \text{ мВт/см}^2$ , соответствуют коэффициенту полезного действия, равному 10%. Широкая область спектральной чувствительности и хорошие диодные характеристики делают солнечные преобразователи перспективными для применения их в микроваттной технике.

### Список литературы

- [1] С.Ю. Павелец. А. с. № 689483. [Бюлл. открытий и изобр. СССР, **39**, 280 (1989)].
- [2] А.Б. Алмазов. *Электронные свойства полупроводниковых твердых растворов* (М., 1966).
- [3] Л.В. Прыткина, В.В. Волков, А.Н. Менцер, А.В. Ванюков, П.С. Киреев. ФТП, **2**, 611 (1968).
- [4] Н.И. Витриховский, И.Б. Мизецкая, Г.С. Олейник. Изв. АН СССР. Неорг. матер., **7**, 757 (1971).
- [5] М.С. Бродин, Н.И. Витриховский, А.А. Кипень, И.Б. Мизецкая. ФТП, **6**, 698 (1972).
- [6] В.Н. Комащенко, Г.А. Федорус. ФТП, **3**, 1195 (1969).
- [7] С.Ю. Павелец, Т.М. Сванидзе, В.П. Тарасенко. УФЖ, **28**, 581 (1983).

Редактор Л.В. Шаронова

# $\text{CdSe}_x\text{Te}_{1-x}$ surface barrier structures for solar cells

*A.M.Pavelets, S.Yu.Pavelets, T.M.Svanidze*

Semiconductor Institute, Ukrainian Academy of Sciences, 252650 Kiev, the Ukraine

Main properties of the  $\text{CdSe}_x\text{Te}_{1-x}$  surface barrier structures were investigated as a function of their phase composition. The  $\text{CdSe}_x\text{Te}_{1-x}$  solid solutions having  $x = 0.6-0.8$  (the band gap being 1.35-1.4 eV) involve positive properties characteristic of both CdSe and CdTe as materials employed in the solar energetics. The surface barrier structures obtained are promising with respect to their application in polycrystalline thin film solar cells.

---