

## Новая структура поверхностно-барьерного сенсора ультрафиолетового излучения на основе CdS

© С.Ю. Павелец, Ю.Н. Бобренко, А.В. Комащенко, Т.Е. Шенгелия

Институт физики полупроводников Национальной академии наук Украины,  
03028 Киев, Украина

(Получена 30 июля 2000 г. Принята к печати 23 октября 2000 г.)

В процессе изготовления сенсора в приповерхностной области CdS выращивался слой высокоомного CdS или ZnSe. Приведены результаты сравнительных исследований известных CdS-сенсоров ультрафиолетового излучения и переходов  $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$ -CdS с промежуточными слоями. Слои, встроенные в области пространственного заряда, снижают туннельные диодные токи более чем на 3 порядка величины, при этом сохраняется высокая квантовая эффективность структур в ультрафиолетовой области спектра.

Фотопреобразователи (ФП)  $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$ -CdS относятся к наиболее чувствительным сенсорам ультрафиолетового (УФ) излучения. Обладая высокой квантовой эффективностью, по электрическим параметрам CdS-сенсоры уступают лучшим поверхностно-барьерным структурам. В настоящей работе приведены результаты разработки и исследования структуры ФП, позволяющей, максимально сохранив высокую фоточувствительность, значительно улучшить электрические характеристики CdS-сенсора.

ФП  $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$ -CdS представляют собой поликристаллический слой сульфида кадмия, на который распылением в вакууме осаждается сульфид меди — его стабильная модификация  $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$  [1–5]. Толщины CdS и  $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$  составляют соответственно 7 мкм и 15 нм. Структура обладает определяющими признаками поверхностно-барьерной: тянущее электрическое поле из-за резкой асимметрии проводимости (концентрация дырок в  $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$   $p = 5 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$  и концентрация электронов в CdS  $n = 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ) практически полностью сосредоточено в фоточувствительной составляющей CdS. Освещение производится со стороны  $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$ . Следует подчеркнуть, что, в отличие от диодов Шоттки, вместо металла используется сильно вырожденный  $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$ . Основное преимущество использования сильно вырожденного полупроводника определяется возможностью практического использования фотоэффекта, связанного с генерацией горячих носителей тока [5]. Неудовлетворительные электрические параметры сенсоров являются следствием шунтирования перехода туннельным током. Большая вероятность доминирования туннельных процессов обусловлена многоступенчатым туннелированием с участием глубоких уровней в области пространственного заряда (ОПЗ) [2–4].

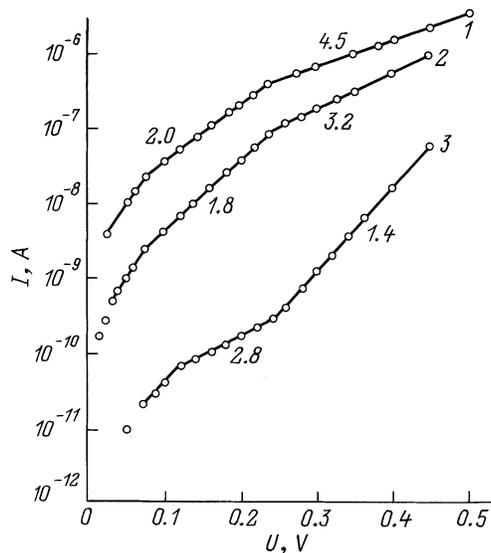
В настоящей работе предлагается для блокировки туннельной компоненты встроить в ОПЗ тонкий ( $\sim 0.1$  мкм) слой менее дефектного материала. Последнее возможно, например, при введении в ОПЗ слоя высокоомного CdS, приближающегося по составу к стехиометрическому. Таким образом, предполагается уменьшение вероятности туннелирования в результате уменьшения дефектов, участвующих в многоступенчатом процессе формирования туннельного тока.

В соответствии со сказанным была изготовлена следующая структура базового фоточувствительного слоя. На металлической подложке методом квазизамкнутого объема выращивался низкоомный ( $n = 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ) слой CdS толщиной  $\sim 7$  мкм, далее осаждался высокоомный ( $n = 10^{13} \text{ см}^{-3}$ ) слой CdS толщиной  $\lesssim 0.1$  мкм, затем снова наращивался низкоомный слой CdS. На полученную таким образом структуру наносилась барьерообразующая пленка  $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$ . Протяженность ОПЗ была  $\sim 0.7$  мкм. Толщины высокоомного и низкоомного слоев были  $\sim 0.1$  мкм, т.е. они полностью находились в ОПЗ.

В случае CdS-сенсоров прослойка, блокирующая туннельную компоненту тока, может быть изготовлена также из селенида цинка — широкозонного представителя соединений  $\text{A}^{\text{IV}}\text{B}^{\text{VI}}$ . Действительно, высокоомный слой ZnSe, осаждаемый в едином технологическом цикле, может быть получен без нарушения основных параметров технологического процесса осаждения CdS. Кроме того, что особенно важно, ZnSe образует с CdS непрерывный ряд твердых растворов  $(\text{CdS})_x(\text{ZnSe})_{1-x}$  [6]. Таким образом, наращивая ZnSe на CdS с переходным варизонным слоем, можно избежать образования дополнительных дефектов в ОПЗ, связанных с рассогласованием кристаллических решеток ZnSe и CdS.

ФП с промежуточным слоем ZnSe получались аналогично описанным выше, с обязательным наращиванием низкоомного слоя. Роль низкоомной прослойки обсуждалась в [7,8]. Основные требования к слою: он должен быть достаточно тонким, чтобы не экранировать контактную разность потенциалов, и, с другой стороны, обеспечивать у освещаемой поверхности (границы раздела) тянущее электрическое поле достаточной величины, и, следовательно, сохранить высокую квантовую эффективность.

Далее приведены результаты сравнительных исследований переходов  $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$ -CdS, полученных по известной технологии [1–5,7,8], и  $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$ -CdS с высокоомными прослойками. Изучались прямые и обратные вольт-амперные характеристики (ВАХ)  $I(U)$  и спектры внешней квантовой эффективности  $Q(\lambda)$ .



**Рис. 1.** Прямые ветви вольт-амперных характеристик переходов  $Cu_{1.8}S-CdS$ : 1 — без промежуточных слоев, 2 — с высокоомным слоем CdS, 3 — с промежуточным слоем ZnSe. Указаны значения  $\beta$ .

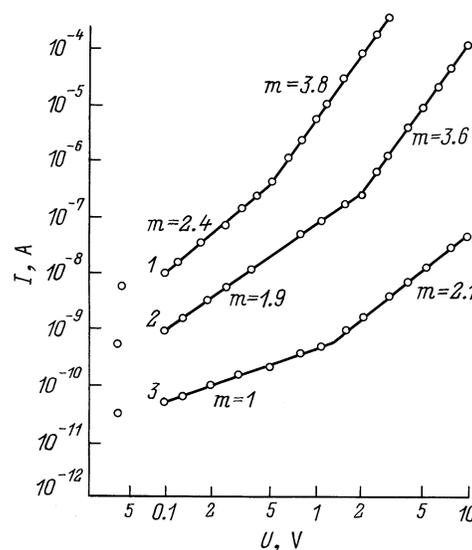
На рис. 1 представлены прямые ветви ВАХ, которые функционально можно записать как  $I = I_0 \exp(\alpha U)$ , где в случае доминирования тепловых процессов  $\alpha = e/\beta kT$ . Значения  $\beta$  (приведены на рисунке) для кривых 1 и 2 и необычная смена наклона ВАХ в полулогарифмическом масштабе (когда наклон прямых с увеличением прямого напряжения уменьшается, а не увеличивается) типичны для переходов с  $p-Cu_{1.8}S$  [2], в которых доминируют рекомбинационно-туннельные токи. Присутствие высокоомного слоя CdS в ОПЗ уменьшает шунтирующие токи почти на порядок величины по сравнению со структурой без высокоомного слоя CdS (кривые 2 и 1 соответственно).

Более чем на 3 порядка величины указанные токи уменьшаются при использовании прослойки ZnSe. Причем, как видно из рис. 1 (кривая 3), при напряжениях смещения  $U > 0.3$  В уже преобладают надбарьерные темновые токи, для которых  $\beta = 1.4$ ,  $I_0 < 10^{-12}$  А (площадь образцов  $25 \text{ мм}^2$ ).

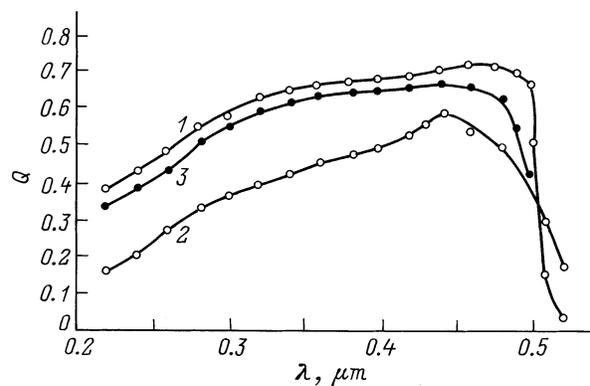
Особенности обратных ВАХ (рис. 2) также свидетельствуют о снижении значений токов в результате уменьшения вероятности протекания туннельных процессов. Для обратных ветвей ток можно записать как  $I \propto U^m$ . На рис. 2 для прямых 1 и 2 наблюдаются два участка с параметрами ВАХ, характерными для переходов данного типа [3]: предпробойные участки с  $m = 1.9-2.4$  и участки мягкого туннельного пробоя с  $m > 3.5$ . При использовании прослойки ZnSe вплоть до смещающего напряжения  $U = 10$  В туннельный пробой отсутствует ( $m < 3$ , кривая 3). Для этих структур до  $U = 1$  В доминируют генерационные токи с  $m = 1$ . Как видно из рисунка, для  $U = 1$  В ток уменьшается на 4 порядка величины по сравнению с переходами без высокоомных прослоек (кривая 1).

На рис. 3 приведены спектры внешней квантовой эффективности CdS-сенсоров. Кривая 1 — типичный спектр для эффективных ФП на основе CdS. Кривые 2 и 3 — соответственно спектральное распределение чувствительности переходов только с высокоомным ZnSe и ФП с промежуточным высокоомным ZnSe и низкоомным CdS слоями. Видно, что присутствие низкоомного приповерхностного слоя значительно увеличивает квантовую эффективность во всей спектральной области.

Таким образом, исследования ВАХ и спектров квантовой эффективности показывают, что последовательное наращивание высокоомного и низкоомного слоев, расположенных в ОПЗ поверхностно-барьерного контакта, позволяет значительно улучшить электрические параметры и максимально сохранить высокую квантовую эффективность CdS-сенсоров. Следует подчеркнуть,



**Рис. 2.** Обратные ветви вольт-амперных характеристик CdS-сенсоров: 1 — без промежуточных слоев, 2 — с промежуточным высокоомным слоем CdS, 3 — с промежуточным слоем ZnSe.



**Рис. 3.** Спектральное распределение квантовой эффективности  $Q(\lambda)$  поверхностно-барьерного сенсора  $Cu_{1.8}S-CdS$ : 1 — без высокоомных промежуточных слоев, 2 — с высокоомным слоем ZnSe, 3 — с низкоомным слоем и слоем ZnSe.

что достигнутые в настоящей работе параметры ВАХ для тонкопленочных поликристаллических структур не уступают таковым, характерным для лучших аналогов в монокристаллическом исполнении. Высокая фоточувствительность и близкие к предельным оптимальные электрические характеристики делают разработанные структуры одними из лучших среди известных сенсоров УФ излучения.

## Список литературы

- [1] В.Н. Комашченко, С.Ю. Павелец, Г.А. Федорус. *Полупроводниковая техника и микроэлектроника* (Киев, Наук. думка, 1980) вып. 32, с. 40.
- [2] С.Ю. Павелец, Т.М. Сванидзе, В.П. Тарасенко. *УФЖ*, **28**, 581 (1983).
- [3] С.Ю. Павелец, Т.М. Сванидзе, В.П. Тарасенко. *ФТП*, **17**, 1330 (1983).
- [4] Yu.N. Bobrenko, U.U. Kishyuk, K.U. Kolezhuk, V.N. Komashchenko, S.Yu. Pavelets, T.E. Shengeliya. *Sol. Energy Mater. and Solar Cells*, **33**, 83 (1994).
- [5] Ю.Н. Бобренко, А.М. Павелец, С.Ю. Павелец, В.М. Ткаченко. *Письма ЖТФ*, **20**, 9 (1994).
- [6] И.Б. Мизецкая, Г.С. Олейник, Л.Д. Буденная, В.Н. Томашик, Н.Д. Олейник. *Физико-химические основы синтеза монокристаллов полупроводниковых твердых растворов соединений  $A_2B_6$*  (Киев, Наук. думка, 1986).
- [7] А.И. Марченко, Р.И. Марченко, С.Ю. Павелец, Т.М. Сванидзе, В.П. Тарасенко, Г.И. Шереметова. *Оптоэлектроника и полупроводниковая техника* (Киев, Наук. думка, 1990) вып. 17, с. 85.
- [8] Ю.Н. Бобренко, А.М. Павелец, С.Ю. Павелец, В.М. Ткаченко. *Оптоэлектроника и полупроводниковая техника* (Киев, Наук. думка, 1996) вып. 31, с. 74.

Редактор Л.В. Шаронова

## A novel structure of CdS-based surface-barrier ultraviolet radiation sensor

S.Yu. Pavelets, Yu.N. Bobrenko, A.V. Komashchenko, T.E. Shengeliya

Institute of Semiconductor Physics,  
National Academy of Sciences of Ukraine,  
03028 Kiev, Ukraine

**Abstract** A high-resistance CdS (or ZnSe) layer has been grown in the CdS sub-surface region during sensor fabrication. We present the results of comparative studies of known CdS-based sensors and  $Cu_{1.8}S$ -CdS junctions with interlayers. The layers that are built in the space charge region reduce the diode tunnel currents by more than three orders of magnitude. In this case the developed structures retain high quantum efficiency in the ultraviolet spectral region.