

©1995 г.

ПОВЕРХНОСТНО-БАРЬЕРНЫЕ СТРУКТУРЫ CdS С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ТОНКИМ ВАРИЗОННЫМ СЛОЕМ

Ю.Н.Бобренко, А.М.Павелец, С.Ю.Павелец, Т.Е.Шенгеля

Институт физики полупроводников Академии наук Украины,
252650, Киев, Украина
(Получена 31 мая 1994 г. Принята к печати 18 ноября 1994 г.)

Для оптимизации параметров поверхностно-барьерной структуры на основе CdS предлагается использовать тонкий промежуточный варизонный слой $(\text{ZnSe})_x(\text{CdS})_{1-x}$. Использование указанных слоев позволяет уменьшить на 2 порядка величины темновые диодные токи. Структуры характеризуются высокой эффективностью в области ближнего ультрафиолета.

Потери фототока в поверхностно-барьерных фотопреобразователях (ФП) $p\text{-Cu}_{1.8}\text{S-n-CdS}$, связанные с рекомбинацией на границе раздела и с переходом основных носителей заряда из фоточувствительной (CdS) в прозрачную составляющую ($\text{Cu}_{1.8}\text{S}$), существенно зависят от напряженности электрического поля в области пространственного заряда (ОПЗ). Сильное легирование CdS, уменьшая протяженность ОПЗ, позволяет достигнуть полей, достаточных для получения высокой чувствительности ФП в коротковолновой области спектра. Однако создание таким способом сильного электрического поля вступает в противоречие с необходимостью расширения ОПЗ для уменьшения темновых туннельных токов через переход и улучшения диодных характеристик ФП.

Хорошо известны методы снижения рекомбинационных потерь фотоносителей путем использования квазиэлектрических полей варизонных полупроводниковых слоев [1-7]. К сожалению, для соединений $\text{A}^{\text{II}}\text{B}^{\text{VI}}$ применение упомянутых методов технологически трудно осуществимо, прежде всего из-за отсутствия достаточно широкозонных низкоомных полупроводников p -типа проводимости. Кроме того, дополнительное легирование поликристаллических материалов является причиной нестабильности и плохой воспроизводимости технологии изготовления барьерных структур из-за преимущественной диффузии примесей по межкристаллическим прослойкам. Последнее является причиной шунтирования барьерного перехода.

В настоящей работе используется оригинальный подход, при котором тонкий (толщина меньше протяженности ОПЗ) варизонный слой

наращивается в вакууме на подложке CdS. В этом случае можно использовать относительно высокоомные слои CdS для сохранения оптимальных размеров ОПЗ, а снижение электрического поля на границе раздела компенсировать квазиэлектрическим полем тонкой варизонной прослойки.

Очевидно, что промежуточный слой переменного состава должен быть достаточно высокоомным и тонким, чтобы не экранировать контактную разность потенциалов. Для CdS оптимальным может быть слой из твердых растворов $(\text{ZnSe})_x(\text{CdS})_{1-x}$. При использовании указанных слоев нет необходимости в их дополнительном легировании, что не мешает достижению максимальных значений квазиэлектрического поля. Далее приводятся результаты исследований ФП $\text{Cu}_{1.8}\text{S}-\text{CdS}$ и гетероструктур с промежуточным варизонным слоем $\text{Cu}_{1.8}\text{S}-(\text{ZnSe})_x(\text{CdS})_{1-x}-\text{CdS}$.

Базовые пленки CdS и слой переменного состава выращивались на металлизированных диэлектрических подложках в едином технологическом цикле методом вакуумной конденсации в квазизамкнутом объеме. Общая толщина структуры ~ 7 мкм. Толщины прозрачного слоя $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$ и варизонного промежуточного слоя $(\text{ZnSe})_x(\text{CdS})_{1-x}$ составляли соответственно ~ 30 и ~ 100 нм. Возможность получения указанных методом конденсации плавной варизонной структуры на основе поликристаллических слоев соединений $\text{A}^{\text{II}}\text{B}^{\text{VI}}$ впервые экспериментально доказана в [8].

На рис. 1, а, б представлены энергетические зонные диаграммы исследованных ФП. Зонная диаграмма $\text{Cu}_{1.8}\text{S}-\text{CdS}$ соответствует литературным данным [9,10]. Концентрация дырок в $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$ — $p \approx 5 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$. Концентрация электронов в CdS — $n = 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Из-за резкой асимметрии проводимостей составляющих гетероперехода ОПЗ практически полностью сосредоточена в CdS. Ширина ОПЗ — $W = 0.2 \div 0.3$ мкм, напряженность электрического поля — $E = (3 \div 4) \cdot 10^4 \text{ В/см}$.

Для поверхностно-барьерных структур в коротковолновой области спектра одним из основных механизмов потерь фототока является перенос основных носителей в прозрачный слой в результате диффузии и эмиссии в направлении, противоположном их дрейфу в электрическом поле. Существование в зонной диаграмме (рис. 1, а) барьера ΔE_c существенно ограничивает такие процессы, что определяет высокую чувствительность структуры $\text{Cu}_{1.8}\text{S}-\text{CdS}$ в коротковолновой области спектра. Так, для лучших образцов ФП токовая чувствительность S_λ достигает значений 0.1 и 0.18 А/Вт соответственно для длин волн $\lambda = 254$ и 400 нм.

Для структуры с промежуточным варизонным слоем (рис. 1, б) концентрация электронов в CdS составляет $n = 10^{14} \text{ см}^{-3}$, $W = 0.8$ мкм. Зависимость емкости перехода от положительного смещающего напряжения претерпевает излом, что свидетельствует о неоднородном распределении пространственного заряда. В данном случае для увеличения протяженности ОПЗ, как указывалось выше, используется высокоомный слой CdS. Снижение электрического поля на границе раздела компенсируется квазиэлектрическим полем варизонной прослойки. В данной структуре отсутствие барьера ΔE_c , препятствующего переходу электронов из CdS в $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$, увеличивает упомянутые выше потери фототока. Однако чувствительность ФП в коротковолновой области спектра остается достаточно высокой (уменьшение составляет не более 10%).

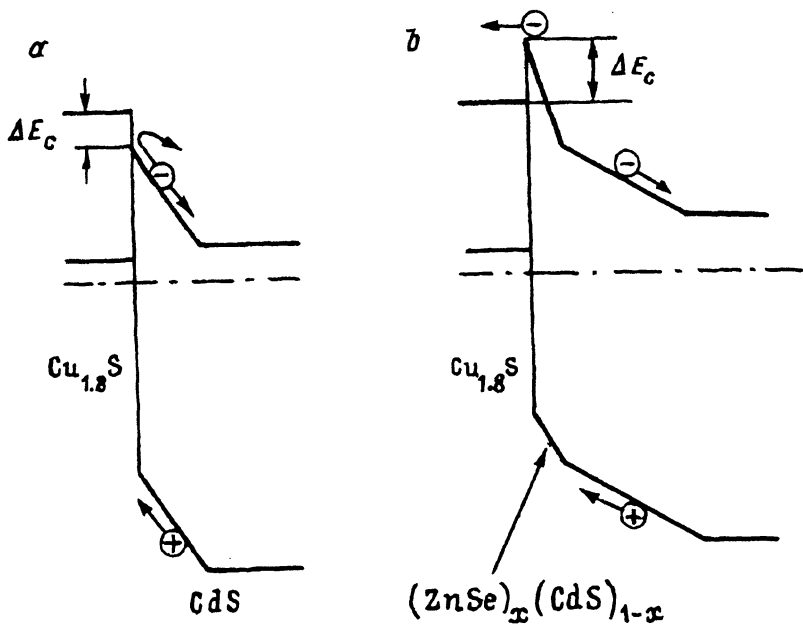


Рис. 1. Энергетические зонные диаграммы структур $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$ - CdS (а) и $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$ - $(\text{ZnSe})_x(\text{CdS})_{1-x}$ - CdS (б)

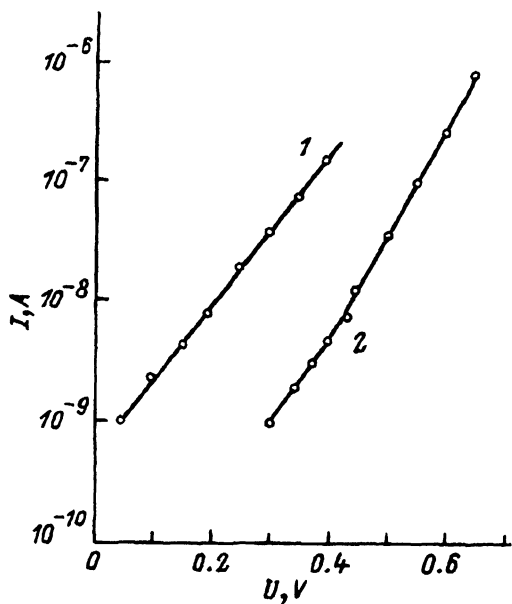


Рис. 2. Прямые ветви вольт-амперных характеристик при комнатной температуре: 1 — ФП $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$ - CdS , 2 — ФП $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$ - $(\text{ZnSe})_x(\text{CdS})_{1-x}$ - CdS .

На рис. 2 приведены вольт-амперные характеристики (ВАХ) исследованных структур. Площадь образцов составляла 60 мм^2 . ВАХ хорошо описываются выражением $I = I_0 \exp(\alpha U)$. Для обеих структур характерна слабая зависимость I_0 от температуры и независимость параметра α от температуры. Указанное поведение типично для гетеропереходов с халькогенидом меди в качестве p -слоя, в которых реализуется либо туннельный [11], либо рекомбинационно-туннельный механизм прохождения тока [12].

Типичные значения параметров ВАХ (I_0 и α) при комнатной температуре для различных образцов $\text{Cu}_{1.8}\text{S}-\text{CdS}$ и ФП $\text{Cu}_{1.8}\text{S}-(\text{ZnSe})_x(\text{CdS})_{1-x}-\text{CdS}$ соответственно таковы: I_0 — $(4 \cdot 10^{-10} \div 5 \cdot 10^{-10})$ и $(5 \cdot 10^{-11} \div 6 \cdot 10^{-12})$ А, α — $(16.0 \div 16.3)$ и $(15.0 \div 15.5)$.

Использование тонкой варизонной прослойки, встраиваемой в ОПЗ поверхностно-барьерной структуры, позволяет значительно улучшить диодные характеристики ФП. Выбор оптимального состава варизонного слоя должен определяться условием сохранения высокой абсолютной спектральной чувствительности ФП. При сохранении указанных выше значений S_λ в коротковолновой области спектра в данной работе были получены ФП со значениями I_0 и дифференциального сопротивления на 2 порядка величины большими, чем для лучших образцов ФП без промежуточной варизонной прослойки.

Список литературы

- [1] В.М. Евдокимов. РЭ, **10**, 1314 (1965).
- [2] Ж.И. Алферов, В.М. Андреев, В.Н. Мурыгин, В.Н. Стремин. ФТП, **3**, 1470 (1969).
- [3] Ж.И. Алферов, В.М. Андреев, М.Б. Каган, В.И. Корольков, Т.С. Табаров, Ф.М. Таджибаев. Письма ЖТФ, **3**, 725 (1977).
- [4] Ж.И. Алферов, В.М. Андреев, Ю.М. Задиранов, В.И. Корольков, Т.С. Табаров, Ф.М. Таджибаев. ФТП, **13**, 504 (1979).
- [5] Ж.И. Алферов, В.М. Андреев, Ю.М. Задиранов, В.И. Корольков, Т.С. Табаров. Письма ЖТФ, **4**, 305 (1978).
- [6] Б.В. Царенков, Т.Н. Данилова, А.Н. Именков, Ю.П. Яковлев. ФТП, **7**, 1426 (1973).
- [7] А. Беркелиев, Ю.А. Гольдберг, А.Н. Именков, Д. Мелебаев, Б.В. Царенков. ФТП, **12**, 96 (1978).
- [8] О.Ю. Горкун, К.В. Колежук, В.Н. Комащенко, Е.Б. Круликовская, В.В. Миленин, Б.А. Нестеренк, С.Ю. Павелец, В.Н. Сарылов, В.М. Ткаченко, А.Д. Фаленчук. УФЖ, **34**, 122 (1989).
- [9] С.Ю. Павелец, Г.А. Федорус. ФТП, **9**, 1164 (1975).
- [10] Р.В. Кантария, С.Ю. Павелец. ФТП, **12**, 1214 (1978).
- [11] В.Н. Комащенко, Г.А. Федорус. ФТП, **3**, 1195 (1969).
- [12] С.Ю. Павелец, Т.М. Сванидзе, В.П. Тарасенко. УФЖ, **28**, 581 (1983).

Редактор Л.В. Шаронова