

06.1; 06.2; 06.3

© 1990

ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ
СОЛНЕЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ
СВЕРХТОНКИМ ВАРИЗОННЫМ СЛОЕМК.В. Колежук, В.Н. Комашенко,
С.Ю. Павелец, В.П. Тарасенко

Для тонкопленочных поликристаллических солнечных преобразователей (СП) одинаково значительными могут быть как потери фотоносителей на границе между прозрачной и фоточувствительной компонентами СП, так и потери в объеме фоточувствительной составляющей из-за низких значений длины диффузии неосновных носителей тока ($L_p < 1$ мкм). Создание для снижения потерь на поверхностную рекомбинацию сильного электрического поля контактной разности потенциалов (КРП) у границы раздела вступает в противоречие с необходимостью расширения области пространственного заряда (ОПЗ) для уменьшения объемных рекомбинационных потерь.

Реализация известного способа использования квазиэлектрического поля слоя переменного состава для снижения рекомбинационных потерь [1-5] применительно к соединениям A_2B_6 связана с технологическими трудностями. Прямозонный $ZnTe$ представитель A_2B_6 р-типа проводимости, к сожалению, недостаточно широкозонен ($E_g = 2.26$ эВ). Очевидно, что в случае применения слоя $ZnTe$ в качестве прозрачной составляющей, необходимо максимальное уменьшение его толщины, а одновременное сохранение при этом низкого сопротивления растекания СП требует сильного легирования $ZnTe$. Известно, что широкозонные представители A_2B_6 сложно получить достаточно низкоомными. Кроме того, дополнительное легирование поликристаллического материала всегда является причиной нестабильности и плохой воспроизводимости технологии получения СП из-за преимущественной диффузии примеси по межкристаллическим прослойкам.

Очевидно, что не решает проблему и варизонная поверхностно-барьерная структура с широкой варизонной областью, значительно превышающей протяженность (ОПЗ) W барьерного контакта [6, 7]. В данном случае трудно достигнуть увеличения электрического поля на границе раздела гетероперехода (ГП) при сохранении широкой фотоактивной области, необходимой для эффективного собирания носителей, генерированных длинноволновым светом.

В настоящей работе предлагается иной подход, при котором квазиэлектрическое поле сверхтонкой варизонной прослойки встраивается в ОПЗ. При этом увеличивается электрическое поле на границе раздела ГП и сохраняется достаточно большая фотоактивная

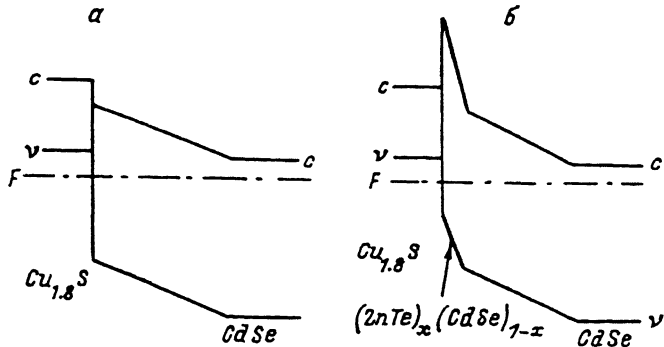


Рис. 1. Энергетические зонные диаграммы.

область $W + L_p$. Очевидно, что слой переменного состава должен быть достаточно высокоомным и тонким, чтобы не акранировать КРП. При использовании вышеуказанных слоев A_2B_6 переменного состава нет необходимости в дополнительном легировании, что не мешает достижению максимальных значений квазиэлектрического поля.

Ниже приводятся результаты исследований СП $Cu_{1.8}S-CdSe$ и гетероструктур с промежуточным варизонным слоем $Cu_{1.8}S - (ZnTe)_x(CdSe)_{1-x} - CdSe$.

Базовые пленки $CdSe$ и слой переменного состава выращивались на металлизированных диэлектрических подложках в едином технологическом цикле методом вакуумной конденсации в квазизамкнутом объеме. Общая толщина структуры $\lesssim 7$ мкм, толщина варизонного слоя ~ 0.1 мкм, толщина прозрачной составляющей $Cu_{1.8}S \sim 40$ нм. Концентрация электронов в $CdSe$ $8 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$, концентрация дырок в $Cu_{1.8}S$ $5 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$. Возможность получения указанным методом конденсации плавной варизонной структуры на основе поликристаллических слоев A_2B_6 впервые экспериментально доказана в [8].

На рис. 1, а, б представлены энергетические зонные диаграммы исследуемых СП. Вольтёмкостное напряжение отсечки для ГП $Cu_{1.8}S - CdSe$ $U_d = 0.65$ В удовлетворительно согласуется с известными параметрами энергетической зонной диаграммы [9]. Ширина ОПЗ для различных образцов (0.8–0.9) мкм.

Для структуры с варизонным слоем зависимость $C^{-n}(U)$ притерпевает излом, что свидетельствует о неоднородном распределении пространственного заряда. $U_d = 1.75$ эВ, полученное экстраполяцией зависимости C^{-3} от U в области больших положительных смещающих напряжений хорошо совпадает с величиной (см. рис. 1, б) $eU_d = \Delta\chi + \Delta E_c$, где $\Delta\chi$ – разность работ выхода $Cu_{1.8}S$ и $CdSe$, а $\Delta E_c = 1.1$ эВ – разница энергий электронного сродства $CdSe$ и $ZnTe$.

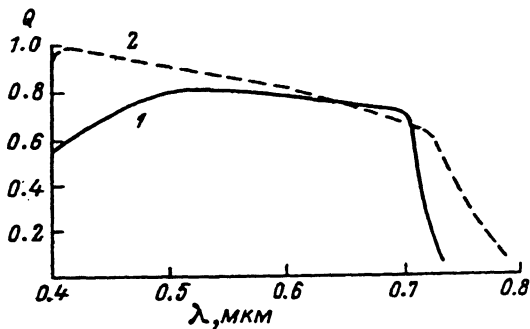


Рис. 2. Спектральная зависимость коэффициента сбора.

Вольтамперные характеристики (ВАХ) структур хорошо описываются выражением $I = I_0 \exp \alpha U$, однако параметры ВАХ заметно отличаются. Значения I_0 и α при комнатной температуре для различных образцов, соответственно для $Cu_{1,8}S - CdSe$ и $Cu_{1,8}S - (ZnTe)_x(CdSe)_{1-x}CdSe$ находятся в пределах $(2 \cdot 10^{-5} - 8 \cdot 10^{-7})$ А/см² и $(0.8 \cdot 10^{-8} - 1.7 \cdot 10^{-8})$ А/см², 12-18 и 16-19. Для обеих структур характерна слабая зависимость I_0 от температуры и независимость параметра α от температуры. Указанное поведение типично для СП с р-составляющей халькогенидом меди, в которых реализуется туннельный [9], либо рекомбинационно-туннельный механизмы прохождения тока [10].

На рис. 2 представлены типичные спектральные зависимости коэффициента сбора $Q(\lambda)$ исследованных структур. Кривые рассчитаны на основе экспериментально измеренных спектрального распределения квантовой эффективности СП и пропускания пленок $Cu_{1,8}S$. Достоверность полученных достаточно высоких значений коэффициента сбора для структур с варизонной прослойкой подтверждается характером зависимостей фототока от внешнего отрицательного смещающего напряжения. Так при освещении СП светом с длиной волны $\lambda = 0.42$ мкм фототока не зависит от смещающего напряжения. Последнее свидетельствует о независимости Q от электрического поля, и, следовательно, $Q = 1$, что согласуется с экспериментальной кривой $Q(\lambda)$ рис. 2.

Из сравнения $Q(\lambda)$ для исследованных структур следует, что начиная с $\lambda = 0.6$ мкм в сторону низкоэнергетичных фотонов, ход зависимости (за исключением длинноволнового хвоста) для обеих структур совпадает. Сказанное очевидно, так как указанный участок спектра определяется процессами генерации и рекомбинации носителей заряда в $CdSe$, т.е. в слоях структуры по своим свойствам одинаковых для исследованных СП, поскольку протяженность ОПЗ остается неизменной.

Лучшие параметры СП $Cu_{1,8}S - (ZnTe)_x(CdSe)_{1-x}CdSe$ при солнечном освещении мощностью 70 мВт/см² соответствуют КПД = 8%, в то время, как для $Cu_{1,8}S - CdSe$ КПД = 4%.

Возможность существенного увеличения КПД СП при использовании варизонной прослойки делает перспективными СП на основе $CdSe$ прежде всего для использования их в каскадных структурах в качестве верхнего фотопреобразователя. Например, в паре с СП на основе теллурида кадмия, либо в паре с $CdS-CuInSe_2$. Отметим, что в случае использования нижнего СП на основе $CdTe$ или $CdSe_xTe_{1-x}$ применение предлагаемой структуры позволит реализовать тонкопленочный поликристаллический вариант каскадного СП на основе только соединений A_2B_6 , достоинства которого определяются единством технологии изготовления всех составляющих.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Евдокимов В.М. // Радиотехника и электроника. 1965. Т. X. № 7. С. 1314-1325.
- [2] Алфёров Ж.И., Андреев В.М., Мухоморов В.Н. и Стремнин В.Н. // ФТП. 1969. Т. 3. В. 10. С. 1470-1477.
- [3] Алфёров Ж.И., Андреев В.М., Каган М.Б., Корольков В.И. и др. // Письма в ЖТФ 1977 Т. 3. В. 6. С. 725-729.
- [4] Алфёров Ж.И., Андреев В.М., Задиранов Ю.М., Корольков В.И. и др. // ФТП. 1979. Т. 13. В. 3. С. 504-509.
- [5] Алфёров Ж.И., Андреев В.М., Задиранов Ю.М., Корольков В.И., Табаров Т.С. // Письма в ЖТФ. 1978. Т. 4. № 6. С. 305-308.
- [6] Царенков Б.В., Данилова Т.Н., Именков А.Н. и др. // ФТП. 1973. Т. 7. С. 1426-1429.
- [7] Баркелиев А., Гольдберг Ю.А., Именков А.Н. и др. // ФТП. 1978. Т. 12. В. 1. С. 96-101.
- [8] Горкун О.Ю., Комашенко В.Н., Круликовская Е.Б., Миленин В.В., Нестеренко Б.А., Павелец С.Ю., Сарылов В.Н., Ткаченко В.М., Фаленчук А.Д. // УФЖ. 1989. Т. 34. № 1. С. 122-126.
- [9] Комашенко В.Н., Федорус Г.А. // ФТП. 1969. Т. 3. В. 8. С. 1195.
- [10] Павелец С.Ю., Сванидзе Т.М., Гарасенко В.П. // УФЖ. Т. 28. № 4. С. 581-585. 1983.

Институт полупроводников АН УССР,
Киев

Поступило в Редакцию
1 июня 1990 г.