

06.1;06.2;06.3

©1994

КОРОТКОВОЛНОВАЯ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПОВЕРХНОСТНО-БАРЬЕРНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ПЕРЕХОДОВ ВЫРОЖДЕННЫЙ ПОЛУПРОВОДНИК-ПОЛУПРОВОДНИК

Ю.Н.Бобренко, А.М.Павелец, С.Ю.Павелец, В.М.Ткаченко

Интерес к фотопреобразователям (ФП) ультрафиолетового (УФ) диапазона спектра определяет актуальность исследований коротковолновой чувствительности поверхностно-барьерных структур. В исследованных в настоящей работе поверхностно-барьерных структурах вместо металла использовался вырожденный полупроводник — стабильная модификация сульфида меди $Cu_{1.8}S$ [1-6]. Концентрация дырок в сульфиде меди $p = 5 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$. $Cu_{1.8}S$ наносился в вакууме на поликристаллический слой CdS с концентрацией электронов 10^{15} см^{-3} . Для исследования пропускания слой $Cu_{1.8}S$ параллельно наносился на кварцевые стекла.

На рис. 1 приведена зонная диаграмма гетероперехода $Cu_{1.8}S-CdS$ [7]. Особенностью диаграммы является наличие дополнительных потенциальных барьеров ΔE_c и ΔE_v , ограничивающих нежелательный для ФП переход носителей тока через границу раздела гетероперехода.

На рис. 2 приведены спектры внешней квантовой эффективности Q_e ФП с различной толщиной $Cu_{1.8}S$. Освещение структуры производилось со стороны $Cu_{1.8}S$. Толщина слоя $Cu_{1.8}S$ в известных ФП на основе соединений A_2B_6 , как правило, порядка 400 \AA [1-6]. Этому случаю соответствует кривая 1 на рис. 2. Ширина запрещенной зоны $Cu_{1.8}S$ для прямых оптических переходов $E_g = 1.6 \text{ эВ}$ [8] и отсутствие чувствительности за краем собственного поглощения CdS ($\lambda 0.51 \text{ мкм}$) — см. рис. 2 — свидетельствуют о нефоточувствительности $Cu_{1.8}S$ в длинноволновой области спектра, что согласуется с литературными данными [1-3]. Отсутствие тянущего электрического поля в $Cu_{1.8}S$ определяет основной механизм потерь фотоносителей — рекомбинацию на границе раздела.

Выражение для внешней квантовой эффективности в общем виде можно записать как $Q_e = TQ_i$, где T — пропускание слоя $Cu_{1.8}S$, Q_i — внутренняя квантовая эффективность.

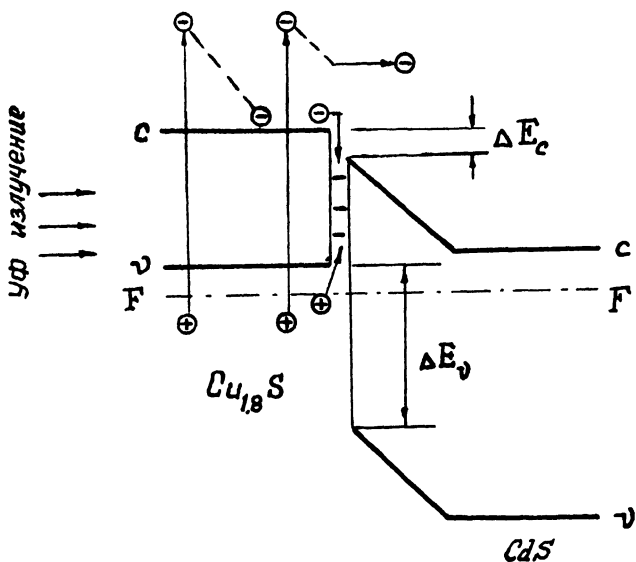


Рис. 1. Энергетическая зонная диаграмма гетероперехода $\text{Cu}_{1.8}\text{S}-\text{CdS}$.

При этом предполагается отсутствие фоточувствительности, связанной с генерацией носителей в $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$. Повышение чувствительности в коротковолновой области спектра возможно путем уменьшения доли нефотоактивного поглощения света в структуре. Этого можно достигнуть путем уменьшения толщины нефотоактивного $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$, т.е. увеличения T . С другой стороны, предельное уменьшение толщины слоя $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$ должно его "очувствить" в коротковолновой области спектра. Имеется в виду возможность в отличие от контакта металл-полупроводник максимально использовать фотоэмиссию электронов — неосновных носителей тока из прозрачной составляющей в CdS .

Действительно, в случае полупроводника n -типа проводимости для диодов Шоттки из-за сильного взаимодействия с электронами проводимости в металле энергию, достаточную для преодоления потенциального барьера, сохраняют только те фотоэлектроны, которые образовались вблизи границы раздела на глубине, не превышающей 10 \AA . Поскольку толщина слоя металла у диодов Шоттки должна быть порядка 100 \AA , большая часть излучения поглощается в металле "нефотоактивно", не внося вклад в фототок.

В вырожденных полупроводниках, когда фотоэлектроны теряют избыточную энергию в основном при взаимо-

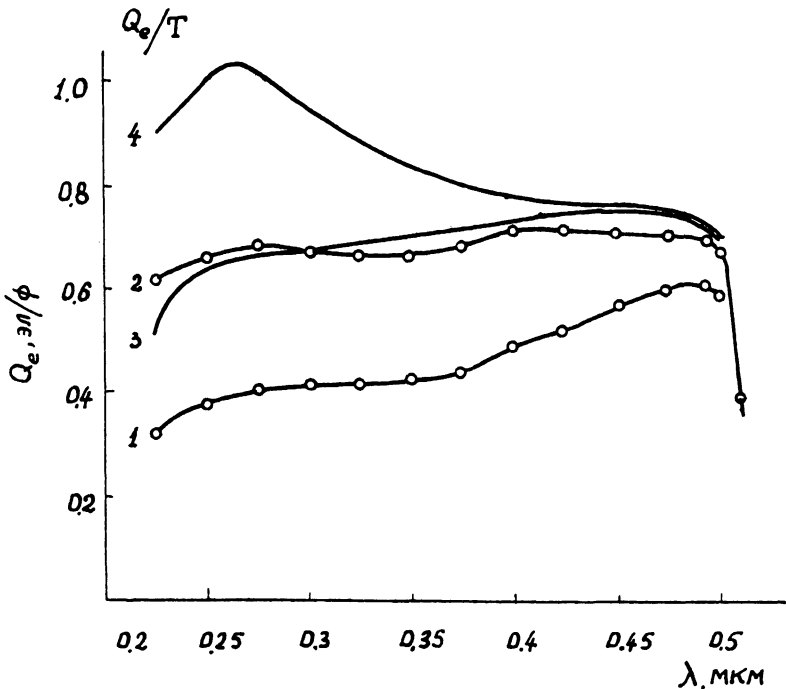


Рис. 2. Спектры внешней квантовой эффективности Q_e (1-2) поверхностно-барьерной структуры $\text{Cu}_{1.8}\text{S}-\text{CdS}$ и спектральное распределение функции Q_e/T (3-4).

действии с тепловыми колебаниями кристаллической решетки, при избыточной энергии 0.5-1 эВ электрон в процессе остывания может пройти расстояние до нескольких сот ангстрем. При использовании таких толщин следует ожидать заметный вклад в фототок горячих неосновных носителей, генерированных УФ излучением в прозрачной составляющей поверхностно-барьерной структуры. Как видно из рис. 1, термализованные электроны, подходя к границе раздела, рекомбинируют с дырками, для которых существует барьер ΔE_v , препятствующий их переходу в n -составляющую, в то время как горячие электроны, сохранившие достаточную энергию при подходе к границе раздела, благополучно переходят в CdS .

На рис. 2 (кривая 2) представлено спектральное распределение Q_e фотопреобразователя с толщиной $\sim 150 \text{ \AA}$. Как видно, фоточувствительность структуры существенно увеличилась. С использованием полученных в настоящей работе кривых $T(\lambda)$ для рассматриваемых толщин $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$ 400 и 150 \AA были рассчитаны функции $Q_i = Q_e/T$ (кривые 3 и 4). Очевидно, что при отсутствии фоточувствительности

$\text{Cu}_{1.8}\text{S}$ внутренняя квантовая эффективность Q_i , связанная с генерацией носителей тока в CdS , при уменьшении толщины $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$ не должна изменяться, т.е. кривые 3 и 4 должны были бы совпадать.

Резкое отличие хода кривых в коротковолновой области спектра свидетельствует о том, что рост внешней квантовой эффективности с уменьшением толщины превосходит по величине степень возрастания пропускания пленки T , причем величина Q_e/T в случае толщины 150 \AA в максимуме превышает единицу. Указанные факты однозначно свидетельствуют об "очувствлении" пленки $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$, т.е. о возросшем с уменьшением ее толщины вкладе в фототок горячих электронов, генерированных в ней коротковолновым излучением.

Предельное уменьшение толщины $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$ ограничивается несколькими факторами. Рассмотрим основные из них. При уменьшении толщины пленки $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$, выращенная на рельефной поверхности поликристаллического CdS , может оказаться разрывной, что приведет к увеличению слоевого сопротивления прозрачной составляющей ФП.

Исследования на растровом электронном микроскопе МРЭМ-200 в совмещенном режиме вторичной электронной эмиссии и тока, индуцированного электронным зондом, обнаружили достаточно высокую степень неразрывности тонкой ($\sim 150 \text{ \AA}$) пленки $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$ на рельефной поверхности поликристаллического слоя CdS .

Еще один нежелательный эффект, связанный с предельным уменьшением толщины $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$, определяется возможностью образования при взаимодействии с кислородом слоев окиси меди с толщиной, сравнимой с толщиной слоя $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$. Анализ элементарного состава, проведенный на Оже-спектрометре 09-ИОС-10-005 при послойном сравнении пленки $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$, не обнаружил указанных окисных слоев меди.

Итак, уменьшение толщины слоя $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$ до значений $\sim 150 \text{ \AA}$ сохраняет последовательное сопротивление ФП в допустимых пределах, что согласуется с полученными в настоящей работе экспериментальными данными. Возможность использования предельно тонких слоев вырожденного $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$ позволяет увеличить фоточувствительность поверхностно-барьерной структуры за счет уменьшения до минимума потерь на нефотоактивное поглощение света в УФ области спектра. Последнее определяется тем, что при указанных толщинах, кроме увеличения пропускания T , становится существенным вклад в фототок фотоэмиссии носителей (транспорт горячих электронов) из $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$ в CdS .

Список литературы

- [1] *Павелец С.Ю., Федорус Г.А., Кононец Я.Ф.* // ФТП. 1970. Т. 4. В. 2. С. 347-349.
- [2] *Комащенко В.Н., Павелец С.Ю., Федорус Г.А.* // Полупроводниковая техника и микроэлектроника. 1980. В. 32. С. 40-42.
- [3] *Горбик П.П., Комащенко В.Н., Федорус Г.А.* // ФТП. 1980. Т. 14. В. 7. С. 1276-1280.
- [4] *Павелец С.Ю., Папидзе И.В.* // ЖТФ. 1981. Т. 51. В. 11. С. 2388-2390.
- [5] *Павелец С.Ю., Сванидзе Т.М., Тарасенко В.П.* // ФТП. 1983. Т. 17. В. 7. С. 1330-1332.
- [6] *Павелец С.Ю., Сванидзе Т.М., Тарасенко В.П.* // ФТП. 1990. Т. 24. В. 11. С. 2058-2060.
- [7] *Кантария Р.В., Павелец С.Ю.* // ФТП. 1978. Т. 12. В. 6. С. 1214-1217.
- [8] *Власенко Н.А., Кононец Я.Ф.* // УФЖ. 1971. Т. 16. № 3. С. 273-241.

Институт физики полупроводников
Киев, Украина

Поступило в Редакцию
20 февраля 1994 г.