

## «СОЛНЕЧНО-СЛЕПОЙ» ФОТОДИОД НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ ИТО—ZnS

В. П. Мазний, А. И. Малик, В. В. Мельник

Фотоприемники на основе сульфида цинка представляют большой интерес для тех областей применения, когда требуется селективное детектирование ультрафиолетового (УФ) излучения. Одним из типов таких приемников являются поверхностно-барьерные структуры металл—ZnS [1, 2]. Технология их создания, однако, затрудняется выбором типа металла и получения его очень тонких ( $\leq 0.01$  мкм) слоев, обеспечивающих оптимальное соотношение между оптическими потерями и электропроводностью. Одним из путей преодоления этих трудностей может быть получение гетероструктур на основе ZnS с использованием в качестве «окна» широкозонных окисных полупроводников, в частности смеси  $\text{In}_2\text{O}_3$  и  $\text{SnO}_2$ , так называемой ИТО. Ее пленки обладают сочетанием технологичности, электропроводности и высокой оптической прозрачности в УФ области спектра даже при их достаточно большой толщине (0.1—1 мкм). Ниже описаны некоторые оптоэлектронные свойства гетероструктуры ИТО—SnS.

Для изготовления гетеропереходов использовались монокристаллические подложки ZnS с удельным сопротивлением 1—100 Ом·см при 300 К. На одну сторону пластины наносился омический контакт, а на другую — слой ИТО требуемой площади и конфигурации. Полученные структуры обладали ярко выраженными диодными характеристиками с коэффициентом выпрямления не менее  $10^5$  при напряжении  $V=1.5$  В при 300 К. Емкостные измерения свидетельствуют о резком характере гетероперехода, а контактный потенциал  $V_0$  в области комнатных температур равен  $1.5 \pm 0.1$  В.

В исследуемом температурном диапазоне зависимость прямого тока от напряжения при малых смещениях описывается выражением типа  $I_{np} \sim \exp(\alpha V)$ . Параметр  $\alpha$  для разных образцов находится в пределах  $10\text{—}15$  В $^{-1}$  и практически не зависит от температуры. Такое поведение вольт-амперной характеристики (ВАХ) объясняется в рамках модели многоступенчатого туннелирования внутри гетероперехода и наблюдается на многих подобных структурах [3]. Анализ зависимости  $I_{np}(V)$  при больших  $V$  свидетельствует о надбарьерном механизме прохождения прямого тока. Напряжения отсечки, определенное из прямой ветви ВАХ в области ее линейности, согласуется со значением  $V_0$ , найденным из емкостных измерений. Характерной особенностью обратной ветви ВАХ является степенная зависимость тока от приложенного напряжения, т. е.  $I_{обп} = CV^m$ . В области низких смещений  $m=2\text{—}3$  и увеличивался до  $m=8\text{—}10$  при больших  $V$ . Последнее связано с процессами ударной ионизации, что подтверждается положительным температурным коэффициентом напряжения пробоя и электролюминесценцией с характерным широким бесструктурным спектром излучения.

Типичное спектральное распределение фоточувствительности  $S_\lambda$  гетероперехода ИТО—ZnS приведено на рис. 1. Длинноволновый край кривой  $I$  ограничен длиной волны  $\lambda \approx 0.34$  мкм, соответствующей ширине запрещенной зоны  $\mathcal{E}_g$  сульфида цинка при 300 К. Уменьшение  $S_\lambda$  в коротковолновой области обусловлено поглощением в слое ИТО. Полуширина кривой фоточувствительности составляет величину около 0.09 мкм и слабо зависит от температуры в диапазоне  $\pm 60$  °С вследствие незначительного изменения в этом интервале  $\mathcal{E}_g$  контактирующих материалов. На рис. 1 показано также спектральное распределение потока солнечного излучения  $E_\lambda$  в условиях АМ 1.5 [4]. Из рисунка видно, что только незначительная часть кривой  $I$  перекрывается кривой 2. Удобным параметром, характеризующим степень перекрытия спектров фотоприемник—источатель, является коэффициент использования излучения  $k_u$ . Он определяется отношением эффективного для данного детектора потока излучения  $\Phi_{эф}$  к полному потоку излучения  $\Phi$ , т. е.

$$k_u = \Phi_{эф}/\Phi = \int_0^\infty E_\lambda \cdot S_\lambda d\lambda \int_0^\infty E_\lambda d\lambda. \quad (1)$$

При использовании фотоприемника в качестве «солнечно-слепого» желательно иметь наименьшую величину  $k_u$ . Расчет по формуле (1) с использованием данных, приведенных

на рис. 1, дает значение  $k_{\text{к}} \approx 0.001$ . Экспериментальная величина  $k_{\text{к}}$ , найденная из соотношения фототоков короткого замыкания при облучении соответственно солнечным и УФ ( $\lambda \leq \leq 0.35$  мкм) излучением, при одинаковых мощностях  $P$  падающего потока по порядку величины согласуется с расчетным.

Ток короткого замыкания  $I_{\text{п}}$  исследуемых структур линейно зависит от мощности падающего излучения в широком диапазоне ее изменения (рис. 2). Абсолютная величина токовой чувствительности достигает 0.14 А/Вт при  $\lambda = 0.33$  мкм, что соответствует квантовой эффективности 0.5 электрон/квант. При  $P \approx 10^{-4}$  Вт напряжение холостого хода составляет 0.7—

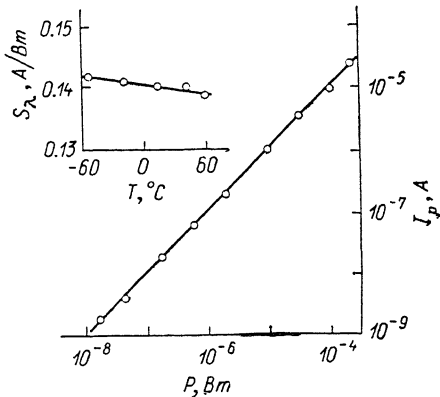
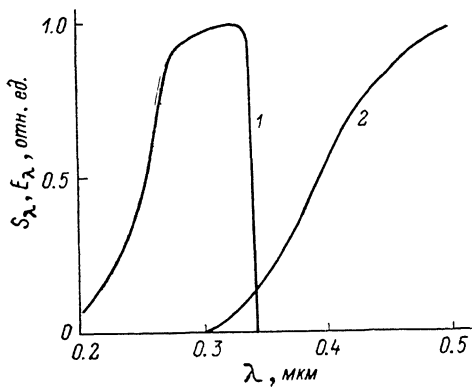


Рис. 1. Спектр фоточувствительности гетероструктуры ИТО—ZnS (1) и потока солнечного излучения при АМ 1.5 (2).

Кривые нормированы в максимуме к единице; температура комнатная.

Рис. 2. Зависимость тока короткого замыкания от мощности падающего излучения.

На вставке температурная зависимость абсолютной токовой чувствительности при  $\lambda = 0.313$  мкм.

0.8 В. Пороговая чувствительность при размере фоточувствительной площадки  $\sim 1$  см<sup>2</sup> не превышает  $10^{-12}$  Вт·Гц<sup>-1/2</sup>. Следует также отметить малую величину  $(0.004^\circ\text{C})^{-1}$  температурного коэффициента изменения фоточувствительности в области фундаментального поглощения сульфида цинка в диапазоне  $\pm 60^\circ\text{C}$ .

Таким образом, приведенные результаты свидетельствуют о перспективности использования гетеропереходов ИТО—ZnS в качестве УФ детекторов, нечувствительных к солнечному излучению. Вместе с тем существует принципиальная возможность улучшения эксплуатационных характеристик и параметров фотоприемников путем совершенствования технологии их получения, в частности выбором оптимальных режимов нанесения слоев ИТО.

### Список литературы

- [1] Richardson J. R., Baertsch R. D. // Sol. St. Electron. 1969. Vol. 12. N 2. P. 393—397.
- [2] Лукьяничкова Н. Б., Пекарь Г. С., Ткаченко Н. Н., Шейнман М. К. // Тез. докл. III Всесоюз. науч.-техн. конф. «Фотометрия и ее метрологическое обеспечение». М., 1979. С. 25.
- [3] Шарма Б. Л., Пурозит Р. К. Полупроводниковые гетеропереходы. М.: Сов. радио, 1979. 232 с.
- [4] Колтун М. М. Солнечные элементы. М.: Наука, 1987. 192 с.

Черновицкий государственный университет

Поступило в Редакцию  
10 февраля 1989 г.  
В окончательной редакции  
11 апреля 1990 г.