

К. т. н. Ю. Н. БОБРЕНКО, к. ф.-м. н. К. В. КОЛЕЖУК,
 д. ф.-м. н. В. Н. КОМАЩЕНКО, Г. И. ШЕРЕМЕТОВА,
 Н. В. ЯРОШЕНКО, А. С. МАЙСТРЕНКО

Украина, г. Киев, Институт физики полупроводников
 им. В. Е. Лашкарёва
 E-mail: komas@isp.kiev.ua

Дата поступления в редакцию
 01.08 2006 г.
 Оппонент к. т. н. Ю. Г. ДОБРОВОЛЬСКИЙ
 (НПФ "Тензор", г. Черновцы)

ИЗМЕРИТЕЛЬ МОЩНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ В ДИАПАЗОНАХ УФ-А, УФ-В, УФ-С И ИХ КОМБИНАЦИЙ

Разработан прибор для измерения мощности УФ-радиации в различных областях УФ-спектра на основе тонкопленочных гетеропереходов типа $p\text{-Cu}_{1,8}\text{S}/n\text{-(ZnS}_x\text{Se}_{1-x})\text{CdSe}$.

Ультрафиолетовое (УФ) излучение Солнца разделяют на три области: УФ-А (320—400 нм), УФ-В (280—320 нм), УФ-С (200—280 нм). Излучение каждой из областей по-своему воздействует на биологические, химические и физические процессы в живой и неживой природе, что обусловило необходимость создания эффективных селективных измерителей мощности УФ-излучения указанных диапазонов для использования как в лабораторных условиях, так и на открытой местности.

Измерители, выпускаемые различными фирмами, имеют ряд недостатков:

- необходимость применения специальных оптических фильтров, что значительно повышает стоимость прибора;
- низкая чувствительность в коротковолновой части ультрафиолетового диапазона;
- необходимость использования дорогостоящих материалов для создания солнечно-слепых детекторов УФ-излучения (например $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ и SiC).

Ранее мы сообщали [1, 2] о разработанных селективных и широкополосных УФ-сенсорах на основе многослойных гетероструктур широкозонных соединений A_2B_6 . Цель настоящей работы заключается в подборе компонентов соединений A_2B_6 , удовлетворяющих указанному диапазону, и создание на их основе УФ-приемников, «слепых» к видимому излучению.

Чувствительным элементом измерителя служит гетеропереход (ГП) $p\text{-Cu}_{1,8}\text{S}/n\text{-(ZnS}_x\text{Se}_{1-x})\text{CdSe}$, полученный в квазизамкнутом объеме методом «горячей стенки». Базовый слой ГП со встроенной варизон-

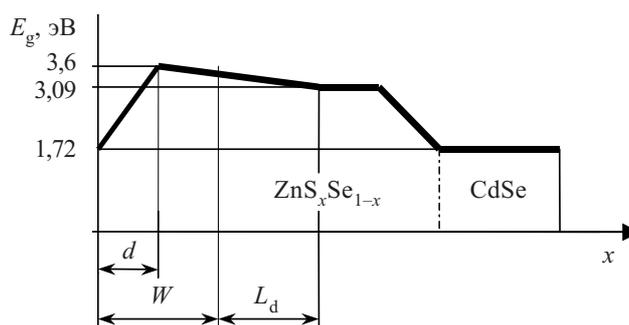


Рис. 1. Энергетическая схема расположения напыленных слоев

ной структурой $\text{ZnS}_x\text{Se}_{1-x}$ (рис. 1), где $x \geq 0,4$, имеет толщину $W+L_d$ (W — область пространственного заряда, L_d — длина диффузии неосновных носителей). Область спектральной чувствительности гетероструктуры $S_f(\lambda)$ лежит в диапазоне 200—400 нм. При этом каждый из фотоприемников, используемых в измерителе, имеет спектральную чувствительность в определенном участке этого диапазона: область 0,2—0,4 мкм (фотоприемник ФД1); 0,28—0,4 мкм (ФД2); 0,32—0,4 мкм (ФД3). Чувствительность $S_f(\lambda)$ для данных длин волн подбиралась различными составами твердого раствора с переменной шириной запрещенной зоны E_g и толщиной фильтра d [3, 4]. Фильтр имел толщину 50—100 нм и изготавливался в едином технологическом цикле с использованием варизонного слоя или наносился отдельно.

Параметры фотоприемников приведены в **таблице**. Энергетическая диаграмма базовых напыленных слоев показана на рис. 1. Прозрачная составляющая ГП $\text{Cu}_{1,8}\text{S}$, нечувствительная к «красной» засветке, имела толщину 200—300 Å, прозрачность ее при $\lambda=200$ нм достигала 50%.

Квантовая эффективность фотоприемников η_i показана на **рис. 2**.

Характеристики разработанных УФ-сенсоров

Тип фотоприемника	Область чувствительности	Фоточувствительная площадь, мм ²	Спектральный диапазон, нм	Положение максимума чувствительности, нм	Фоточувствительность, мА/Вт	
					в максимуме	Hg-линия (254 нм)
ФД1	УФ-А+В+С	4,5	200—400	320	90	45
ФД2	УФ-А+В	4,5	280—400	330	80	2
ФД3	УФ-А	4,5	320—400	350	60	—

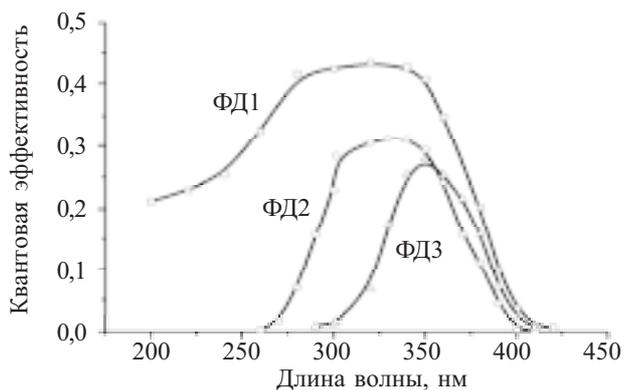


Рис. 2. Квантовая эффективность фотоприемников

Каждый приемник работает по принципу интегрирования спектральной плотности потока излучения $G(\lambda)$ в пределах области чувствительности, причем фототок I_F пропорционален падающей мощности P :

$$I_F = Se \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_i(\lambda) \frac{G(\lambda)}{hc/\lambda} d\lambda, \quad (1)$$

где S — площадь образца;
 e — заряд электрона;
 λ — длина волны;
 h — постоянная Планка;
 c — скорость света в вакууме.

Введем безразмерную среднюю величину квантовой эффективности $\eta_j(\lambda)$ как вероятность разделения пары "электрон—дырка" p - n -переходом при поглощении одного падающего фотона определенного диапазона спектра. Тогда формулу (1) для I_F можно записать в виде

$$I_F = S \cdot P(\lambda_j) \eta_j, \quad (2)$$

где $P(\lambda_j)$ — средняя энергия E падающего излучения в интервале спектральной чувствительности; η_j — средняя интегральная квантовая эффективность ($j=1 \dots 3$) или весовая функция для каждого приемника, которую находим путем аналитического или графического интегрирования:

$$\eta_j = \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \eta_i(\lambda) d\lambda. \quad (3)$$

Наличие «хвостов» в области длин волн $\lambda > \lambda_2$ и $\lambda < \lambda_1$ корректируем поправочным коэффициентом k_j , величина которого определяется из формы спектральной характеристики. Тогда, с учетом весовой функции, ток I_{Fj} будет равен

$$I_{Fj} = Sk_j \eta_j \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{G(\lambda)\lambda}{hc} d\lambda \quad (4)$$

или

$$I_{Fj} = Sk_j \eta_j P(\lambda_j). \quad (4')$$

Измеритель мощности реализует следующую функцию:

$$P(\lambda_j) = I_{Fj} / Sk_j \eta_j. \quad (5)$$

Разработанный измеритель мощности УФ-излучения состоит из измерительной головки с тремя фотоприемниками (ФД1, ФД2 и ФД3) и аналитической части. Фотодиоды вмонтированы в торцевую часть

корпуса. Ток I_{Fj} усиливается, преобразуется в напряжение U_j , пропорциональное падающей мощности P , и записывается в памяти микроконтроллера (МК). На лицевой панели имеются кнопки для считывания показаний прибора в различных областях УФ-спектра. В памяти МК записаны весовые функции η_j вместе с поправочным коэффициентом k_j . Принцип работы измерителя построен по схеме постоянного опроса I_F отдельно для каждого фотоприемника. Внешний вид прибора представлен на рис. 3.



Рис. 3. Измеритель УФ-радиации

Мощность падающего излучения в области УФ-А с учетом поправочных коэффициентов определяется фототоком фотоприемника ФД3, мощность в области УФ-В — разностью показаний ФД2 и ФД3, в области УФ-С — разностью показаний ФД1 и ФД2, пересчитанной МК. Прибором можно измерять $P_{УФ(А+В+С)}$, $P_{УФ(А+В)}$, $P_{УФ(В+С)}$, $P_{УФ(А+С)}$, т. е. можно реализовать семь комбинаций спектральных диапазонов, а также динамику их нарастания во времени.

Таким образом, предложен недорогой портативный прибор для измерения мощности УФ-излучения Солнца и искусственных источников для трех диапазонов УФ-излучения и их комбинаций, который может быть использован для измерения УФ-радиации в лабораторных условиях, в медицинских учреждениях, для мониторинга окружающей среды, определения мощности эритемной радиации при инсоляции.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Колежук К. В., Комащенко В. Н., Ярошенко Н. В. и др. Экспрессное измерение мощности ультрафиолетового излучения в спектральных диапазонах УФ-А и УФ-В+С // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 2005.— № 5.— С. 13—14.
2. Колежук К. В., Комащенко В. Н., Шереметова Г. И. и др. Новое поколение фотоприемников ультрафиолетового излучения // Там же.— 2003.— № 3.— С. 51—52.
3. Беркелиев А., Гольдберг Ю. А., Именков А. Н. и др. Фотоэлектрический эффект в варизонных поверхностно-барьерных структурах // ФТП.— 1978.— Т. 12.— С. 96—101.
4. Бывальый В. А., Волков А. С., Гольдберг Ю. А. Фотоэлектрический эффект в варизонных поверхностно-барьерных структурах (теоретическое рассмотрение) // Там же.— 1979.— Т. 13.— С. 1110—1115.