

УДК 621.383.4/5.029.674:621.315.592.2

## ФОТОПРИЕМНИКИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ДИАПАЗОНА НА ОСНОВЕ ШИРОКОЗОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ $A_3B_5$

*И. Д. Анисимова, В. И. Стафеев*

Государственное унитарное предприятие «Научно-производственное объединение «Орион»»,  
Москва, Россия

*Разработаны фотоприемники на основе широкозонных полупроводниковых материалов GaP, GaAs и их тройного соединения  $GaP_xAs_{1-x}$ . Для создания фотоприемников использован барьер Шоттки с полупрозрачным металлическим слоем. В качестве исходного материала использованы эпитаксиальные структуры p-n<sup>+</sup>-n типа с нелегированным p-слоем. Приведены основные параметры фотоприемников.*

Фотоприемники с чувствительностью в ультрафиолетовом диапазоне спектра представляют интерес в таких областях применения, как экология, медицина, промышленное и научное приборостроение (спектрометрия, хромотография, астрофизические исследования), астронавигация, аппаратура оборонного назначения.

Фотоприемники на основе широкозонных полупроводниковых материалов типа GaP,  $GaP_xAs_{1-x}$  и GaAs дают уникальную возможность создания фотоприемных устройств и приборов со спектральной чувствительностью в ультрафио-

летовой и видимой областях спектра (200—900 нм). Большая по сравнению с кремнием ширина запрещенной зоны приводит к более высоким рабочим температурам, высокой стабильности, радиационной стойкости. Использование GaP и  $\text{GaP}_x\text{As}_{1-x}$  позволяет создавать селективные фотодиоды ультрафиолетового диапазона, практически не fotocувствительные в видимой области спектра.

Одним из перспективных типов УФ-фотоприемников является фотодиод с барьером Шоттки, в котором разделение электронно-дырочных пар происходит на барьере контакта металл—полупроводник непосредственно на поверхности, т. е. в области поглощения квантов высоких энергий. Поэтому fotocувствительность сдвигается в коротковолновую сторону.

Для создания УФ-фотодиодов нами использовался полупрозрачный слой золота толщиной  $\sim 100 \text{ \AA}$ , наносимый на свежетравленную поверхность полупроводника методом термического напыления. В качестве исходных материалов использовались эпитаксиальные структуры на основе GaP и  $\text{GaP}_x\text{As}_{1-x}$  и GaAs  $n$ - $p^+$ -типа толщиной  $\sim 350 \text{ мкм}$ , в которых активной областью является легированный  $n$ -слой толщиной  $\sim 10 \text{ мкм}$ . В структурах со слоем  $\text{GaP}_x\text{As}_{1-x}$  подложкой являлся  $p^+$ -GaAs. Содержание фосфора в  $n$ -слое составляло 25 и 40 %. Концентрация носителей заряда в подложке всех трех типов структур равнялась  $(3-7) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ . Концентрация носителей заряда в  $n$ -слое составляла: для GaP —  $\leq 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ , для  $\text{GaP}_x\text{As}_{1-x}$  —  $\leq 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ , для GaAs —  $\leq 5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ .

Выделение fotocувствительных площадок проводилось с помощью фотографии с дальнейшим вытравливанием меза-структуры.

Разработанная технология позволила создавать одноэлементные фотодиоды с размерами чувствительных площадок  $150 \times 150 \text{ мкм}^2$ , диаметром — 0,3; 1,0; 1,5; 2; 3; 5; 8 мм, многоэлементные в виде линейки с размером элементов  $150 \times 150 \text{ мкм}^2$ , зазором 30 мкм, а также с размером элементов  $400 \times 400 \text{ мкм}^2$  и зазором 100 мкм.

Дифференциальные сопротивления фотодиодов с диаметром чувствительной площадки 1 мм при ( $U = \pm 10 \text{ мВ}$ ) составляют: для GaP и  $\text{GaP}_x\text{As}_{1-x} \geq 10^{11} \text{ Ом}$ , для GaAs  $\sim 10^8 \div 10^9 \text{ Ом}$ . Величина емкости: для GaP  $\sim 300 \text{ пФ}$ , для  $\text{GaP}_x\text{As}_{1-x} \sim 150$ , для GaAs  $\sim 40 \text{ пФ}$ .

Оптимальный режим работы фотодиодов при  $V_{\text{смещ}} = 0$ .

### Фотодиоды на основе GaP

Фотодиоды с барьером Шоттки на основе GaP обладают fotocувствительностью в диапазоне 200—510 нм (рис. 1). Максимум fotocувствительности ( $\lambda_{\text{max}}$ ) находится при 430—440 нм. Токовая чувствительность при  $\lambda_{\text{max}}$  достигает 0,15 А/Вт, при  $\lambda = 300 \text{ нм}$  токовая чувствительность равна 0,06 А/Вт.

Типичное расчетное значение порога чувствительности при  $\lambda_{\text{max}}$  для фотодиодов с fotocувствительной площадкой диаметром 1÷1,5 мм не хуже  $2 \cdot 10^{-15} \text{ Вт} \cdot \text{Гц}^{-1/2}$ . В реальном измерительном фотоприемном устройстве порог чувствительности (при частоте  $\leq 100 \text{ Гц}$ ) был  $(1 \div 2) \cdot 10^{-14} \text{ Вт} \cdot \text{Гц}^{-1/2}$ .

Фотодиоды на основе GaP обладают широким динамическим диапазоном: линейность сохраняется от  $10^{-12}$  до  $10^{-2} \text{ Вт/см}^2$ . Инерционность фотодиодов равна нескольким десяткам наносекунд.

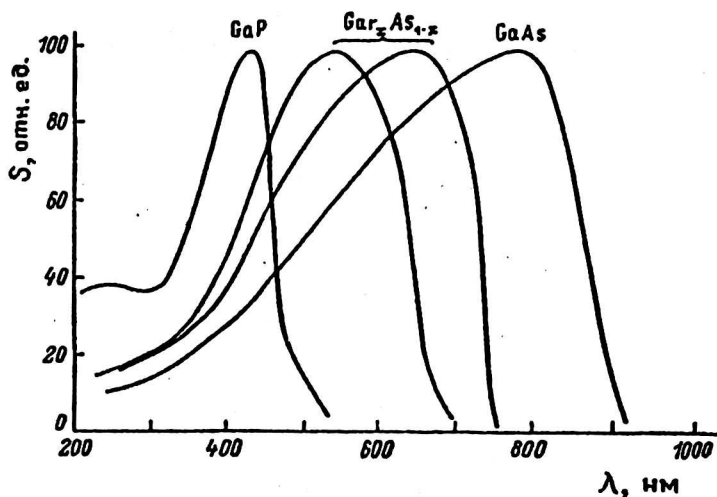


Рис. 1. Спектральные характеристики фотодиодов на основе GaP, GaP<sub>x</sub>As<sub>1-x</sub> и GaAs

Параметры фотодиодов не изменяются после длительного воздействия повышенной засветки мощностью ~ 10<sup>-2</sup> Вт/см<sup>2</sup> в спектральном диапазоне 320—520 нм.

Разработанные фотодиоды способны работать в широком температурном диапазоне: -200 ÷ +200 °С. На рис. 2 приведены типичные спектральные характеристики фотодиодов при температурах -190 ÷ +320 °С. В области 250—410 нм чувствительность практически остается постоянной вплоть до +300 °С. Длинноволновая часть спектра изменяется в соответствии с температурной зависимостью ширины запрещенной зоны GaP (см. рис. 2).

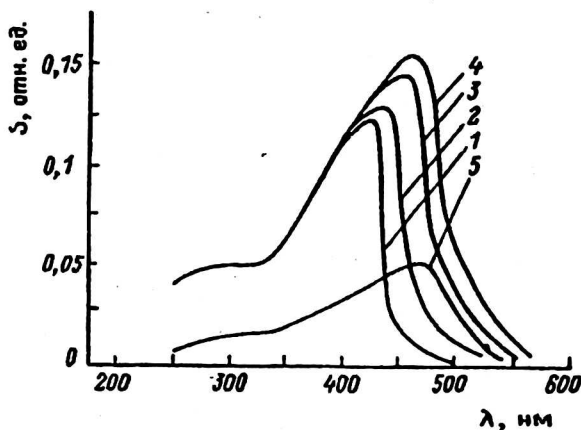


Рис. 2. Спектральные характеристики фотодиода на основе GaP при различных температурах T °С:  
1 — -190; 2 — 20; 3 — 200; 4 — 300; 5 — 320

### Фотодиоды на основе GaP<sub>x</sub>As<sub>1-x</sub>

Фотодиоды на основе GaP<sub>x</sub>As<sub>1-x</sub> обладают фоточувствительностью в области 250—680 нм (при x = 0,40) и 250—750 нм (при x = 0,25) (см. рис. 1).

Максимум фоточувствительности приходится на λ = 550 и 650 нм, соответственно. Токовая чувствительность при λ<sub>max</sub> достигает значения 0,23 А/Вт, при λ = 300 нм — 0,03 А/Вт.

Расчетный порог при  $\lambda_{\max}$  был  $\sim 1 \cdot 10^{-15}$  Вт  $\cdot$  Гц $^{-1/2}$ . В составе фотоприемного устройства порог чувствительности равен  $\approx 1,0 \cdot 10^{-14}$  Вт  $\cdot$  Гц $^{-1/2}$ .

Динамический диапазон fotocувствительности охватывает область  $10^{-12} \div 10^{-2}$  Вт/см $^2$ . Исследования, проведенные при освещении фотодиодов от источника типа "А", показали линейную зависимость фототока от освещенности вплоть до 60 000 лк.

Фоточувствительность фотодиодов с диаметром чувствительной площадки 1 мм остается постоянной до частоты  $\sim 10$  кГц.

Разработанные фотодиоды могут использоваться в диапазоне температур  $-60 \div +120$  °С, при этом происходят небольшие изменения длинноволновой границы fotocувствительности.

### Фотодиоды на основе GaAs

Фотодиоды на основе GaAs обладают широкой областью fotocувствительности — от 250 до 900 нм (см. рис. 1). Максимум fotocувствительности находится вблизи 800 нм. Токовая чувствительность при  $\lambda_{\max}$  достигает 0,5 А/Вт, при  $\lambda = 300$  нм — 0,04 А/Вт.

Типичное значение порога чувствительности при  $\lambda_{\max}$  для fotocувствительной площадки с диаметром 1 мм  $\sim 1,5 \cdot 10^{-14}$  Вт  $\cdot$  Гц $^{-1/2}$ . Динамический диапазон фотодиодов охватывает область  $10^{-12} \div 10^{-5}$  Вт/см $^2$ . Инерционность фотодиодов при диаметре площадки 300 мкм составляет 100 нс. Спектральная чувствительность не изменяется в диапазоне температур  $-40 \div +80$  °С. Основные параметры рассмотренных фотоприемников представлены в таблице.

Основные параметры фотоприемников с диаметром чувствительной площадки 1 мм при 25 °С

Параметры	Фотоприемник		
	на основе GaP	на основе GaAs	на основе GaP $_x$ As $_{1-x}$
Спектральный диапазон, нм	200—510	250—900	250—680 (740)
Длина волны в максимуме чувствительности, нм	430—440	800	550(650)
Токовая чувствительность, А/Вт:			
при $\lambda_{\max}$	0,15	0,50	0,22
при $\lambda = 300$ нм	0,06	0,04	0,03
Монохроматический порог чувствительности при $\lambda_{\max}$ , Вт $\cdot$ Гц $^{-1/2}$	$2 \cdot 10^{-15}$	$1,5 \cdot 10^{-14}$	$\leq 1 \cdot 10^{-15}$
Динамический диапазон, Вт $\cdot$ см $^2$	$10^{-15} \div 10^{-2}$	$10^{-12} \div 10^{-5}$	$10^{-12} \div 10^{-2}$
Емкость, пФ	$\leq 300$	$\leq 40$	$\leq 150$
Динамическое сопротивление (при 10 мВ), Ом	$\geq 10^{10}$	$10^8 \div 10^9$	$\geq 10^{10}$

На базе разработанных фотоприемников было создано несколько типов фотоприемных устройств.

## UV PHOTODETECTORS BASED ON WIDE BANDGAP A $_3$ B $_5$ COMPOUNDS

I. D. Anisimova, V. I. Stafeev

The State Unitary Enterprise «RD&P Centre "Orion"», Moscow, Russia

*We reported on the fabrication and characterization of ultraviolet photodetectors with Schottky barrier based semiconductors GaP, GaP $_x$ As $_{1-x}$  and GaAs. As row materials are used n-n $^+$ -type epitaxial structures. The general parameters of the photodetectors have been demonstrated.*