

06.2;06.3

## СЕЛЕКТИВНЫЙ ФОТОДИОД С ДВУКООРДИНАТНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ

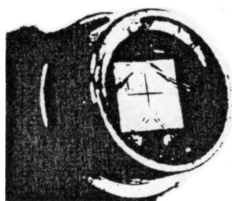
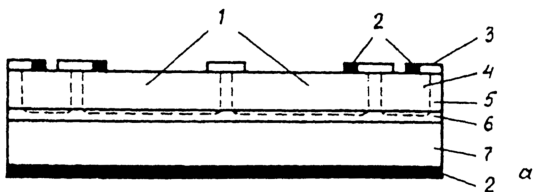
© В.В.Дороган, В.И.Брынзарь, Г.С.Коротченков,  
Т.С.Виеру, В.А.Косяк

Предложены новая конструкция фотодиода с двухкоординатной чувствительностью на основе гетероструктур  $\text{InP-InGaAsP}$ , технология его изготовления, основные характеристики и параметры. В отличие от аналогов на основе  $\text{Si}$  фотодиод обладает селективной спектральной fotocувствительностью с полушириной спектра  $\Delta\lambda = 75$  нм и повышенной чувствительностью для  $\lambda = 1.06$  мкм ( $S_{\lambda=1.06} = 0.57$  А/Вт). Это дает возможность использовать его без дополнительных интерференционных фильтров в оптоэлектронных системах для управления быстро движущимися в пространстве объектами.

Одно из основных применений фотодиодов с двухкоординатной чувствительностью (квадрантов) — использование их в системах ориентирования и управления объектами, движущимися в пространстве с большой скоростью. Для этого используется лазерное излучение с длиной волны  $\lambda = 1.06$  мкм, у которого минимальный коэффициент поглощения в атмосфере. Важно также, чтобы квадранты имели высокую эффективность преобразования излучения с длиной волны  $\lambda = 1.06$  мкм, были помехоустойчивы и инертны к оптическому фону, т.е. ко всему спектру излучения, кроме  $\lambda = 1.06$  мкм [1].

В данной работе представлены конструкция, технология изготовления, параметры и характеристики квадранта, изготовленного на основе гетероструктур  $\text{InP-Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ , с селективной fotocувствительностью и повышенной эффективностью для  $\lambda = 1.06$  мкм.

Структура квадранта, выращенная методом жидкофазной эпитаксии, представлена на рис. 1. Первый слой двойной гетероструктуры (6) составом “ $x$ ” и “ $y$ ” имеет ширину запрещенной зоны  $E_{g1} = 1.12$  эВ, концентрацию свободных носителей  $n_1^0 \sim 10^{16}$  см<sup>-3</sup> и толщину  $d_1 = 3$  мкм. Он является активным слоем, т.е. в нем происходит поглощение излучения с  $\lambda = 1.06$  мкм и разделение фотогенерированных носителей. Фронтальный слой гетероструктуры (5) с  $E_{g2} = 1.18$  эВ,  $n_2^+ \sim 10^{17}$  см<sup>-3</sup> и  $d_2 = 7$  мкм выполняет роль оптического фильтра, т.е. излучение с  $\lambda < 1.05$  мкм поглощается в этом слое, а фотогенерированные носители,



б

Рис. 1. Структура квадранта (а) и прибор в корпусе (б): 1 — фотоактивные элементы; 2 — металлические контакты; 3 — маска из  $\text{SiO}_2$ ; 4 — периферийное кольцо; 5 — эпитаксиальный слой  $\text{InGaAsP}$  с  $E_g = 1.18$  эВ; 6 — эпитаксиальный слой  $\text{InGaAsP}$  с  $E_g = 1.12$  эВ; 7 — подложка  $\text{InP}$ .

из-за большой толщины слоя, не доходят до  $p-n$  перехода и не дают вклад в фотоответ.  $P-n$  переход создан методом диффузии  $\text{Zn}$  из квазизамкнутого объема и находится в слое с  $E_{g1} = 1.12$  эВ или в слое с  $E_{g2} = 1.18$  эВ, но в непосредственной близости от гетерограницы, тем самым обеспечивается эффективное разделение носителей, генерированных излучением с  $\lambda = 1.06$  мкм. Квадрант имеет круглую форму (рис. 1, б) и состоит из пяти фоточувствительных элементов: четыре элемента сектора (1) для определения позиции светового сигнала (пятна) и пятый элемент — периферийное кольцо (4) для ограничения рабочего поля квадранта. Формирование этих пяти элементов происходит в процессе диффузии  $\text{Zn}$  с использованием маски из  $\text{SiO}_2$  (3). Металлические контакты (2) изготовлены методом вакуумного напыления металлов ( $\text{Au} + \text{Ni}$ ;  $\text{Al}$ ). В качестве просветляющих покрытий использовались слои  $\text{Al}_2\text{O}_3$  или  $\text{ZnS}$ .

Анализ вольт-амперных характеристик показал, что темновые токи каждого сектора квадранта определяются поверхностными и объемными утечками и зависят от совершенства гетероструктуры, от положения  $p-n$  перехода от-

Таблица

1	Общая поверхность квадранта, см <sup>2</sup>	$4.9 \cdot 10^{-2}$
2	Фоточувствительная поверхность одного сектора, см <sup>2</sup>	$6.7 \cdot 10^{-3}$
3	Длина волны в максимуме спектра фоточувствительности, мμ	1.07
4	Полуширина спектра фоточувствительности, нм	75–85
5	Абсолютная чувствительность (для $\lambda = 1.06$ мкм), А/Вт	0.51–0.57
6	Квантовая эффективность, %	60–65
7	Напряжение холостого хода, В	0.53–0.57
8	Собственная емкость одного сектора ( $U = 0$ ), пФ	< 400
9	Предельная частота, кГц а) $R_n = 8$ кОм ( $\tau = R \cdot C = 4.5 \cdot 10^{-6}$ с) б) $R_n = 50$ Ом ( $\tau = 2 \cdot 10^{-8}$ с)	36 8000
10	Обнаружительная способность ( $\Delta f = 0.3-10$ кГц), см · Гц <sup>1/2</sup> · Вт <sup>-1</sup>	$\sim 10^{12}$
11	Темновые токи ( $U_{обр} = 0.5$ В), мкА	0.002–4
12	Крутизна координатной характеристики, В · Вт <sup>-1</sup> · мм <sup>-1</sup>	$(5-7) \cdot 10^3$

носителем гетерограницы между слоями, а также от толщины металлических контактов и от технологии присоединения выводов к омическим контактам кристалла (термокомпрессия или ультразвуковая пайка). Маленькая толщина металлических контактов ( $< 0.5$  мкм) приводит к возникновению дополнительных дефектов при соединении выводов методом термокомпрессии, следовательно к резкому росту темнового тока.

Величины темновых токов, а также другие основные параметры для серии диодов представлены в таблице. Концентрация ионизированных примесей в области объемного заряда  $p-n$  перехода, рассчитанная из вольт-фарадной характеристики, составляет  $N_d = 2 \cdot 10^{16}$  см<sup>-3</sup> и может быть снижена до  $5 \cdot 10^{14}$  см<sup>-3</sup> путем легирования жидкой фазы редкоземельными элементами, в частности иттрием, а также применяя длительные отжиги жидкой фазы при высоких температурах ( $T \approx 900$  °С).

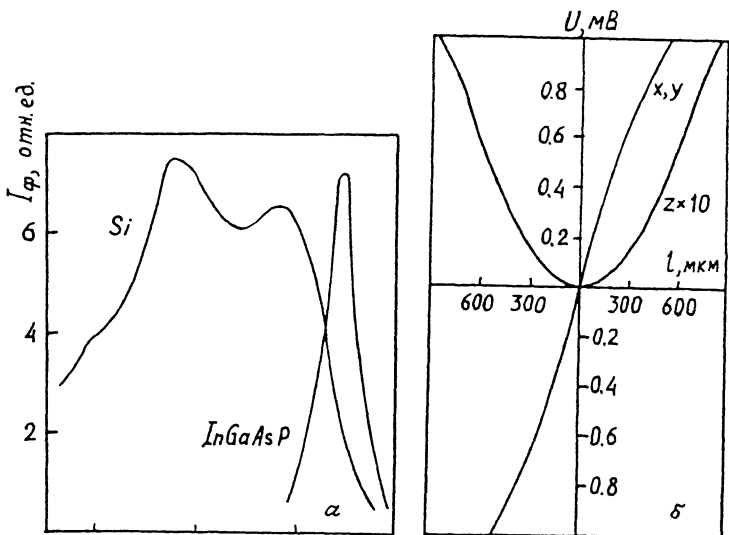


Рис. 2. Спектры фоточувствительности (а) и координатные характеристики (б).

На рис. 2, а представлены спектры фоточувствительности квадрантов на основе структур InP–InGaAsP и Si. Видно, что для длины волны  $\lambda = 1.06$  мкм фоточувствительность квадранта на основе InGaAsP в два раза больше, чем фоточувствительность Si квадранта, и составляет  $S_{\lambda=1.06} = 0.57-0.6$  А/Вт. Другое преимущество квадранта на основе InGaAsP — это узкая полоса фоточувствительности с максимумом при  $\lambda = 1.06$  мкм, т. е. его селективность.

Полуширина спектра фоточувствительности составляет  $\Delta\lambda = 75-85$  нм. Это позволяет использовать квадрант в системах приема оптической информации без дополнительных интерференционных фильтров. Следует сказать, что значение полуширины спектра фоточувствительности может быть уменьшено. Для этого необходимо уменьшить разность между ширинами запрещенных зон эпитаксиальных слоев  $\Delta E_g = E_{g2} - E_{g1}$ . Но в этом случае уменьшается и абсолютное значение спектральной фоточувствительности квадранта. Большое значение имеет толщина фронтального слоя. В случае, когда  $\alpha d_2 < 1$ , коротковолновый край спектра фоточувствительности смещается в сторону меньших длин волн и квадрант теряет свою селективность.

На рис. 2, б представлены координатные характеристики квадранта. Диаметр светового пятна равен радиусу сектора  $r = 1.1$  мм. Интегральная мощность светового сигнала в

пятне составляет  $8 \cdot 10^{-7}$  Вт. Крутизна координатной характеристики рассчитывается по формуле  $K = \Delta U(\Delta x \cdot \Delta P)^{-1}$  и равна  $K \approx 10^4$  В/(Вт · мм) при равенстве сопротивления нагрузки  $R_s$  и темнового сопротивления элементов (секторов) квадранта  $R_t$  ( $R_s = R_t = 50$  кОм).

Таким образом, в результате проведенных исследований создана новая конструкция квадранта на основе гетероструктур InP–InGaAsP с селективной фоточувствительностью и с повышенной спектральной чувствительностью для  $\lambda = 1.06$  мкм.

#### Список литературы

- [1] *Dorogan V.V., Brynzari V.I., Korotchenkov G.S. et al. // 20th International Conference on Microelectronics (MIEL'95), Nis, Serbia, 12-14 September 1995. V. 1. P. 431-434.*

Поступило в Редакцию  
2 июля 1996 г.