

06.2; 06.3

© 1992

НЕОХЛАЖДАЕМЫЕ ФОТОДИОДЫ НА ОСНОВЕ $InAsSbP$ И $GaInAsSb$ ДЛЯ СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА 3 - 5 МКМ

И.А. Андреев, А.Н. Баранов,
 М.П. Михайлова, К.Д. Моисеев,
 А.В. Пенцов, Ю.П. Сморгочева,
 В.В. Шерстнев, Ю.П. Яковлев

В последние годы большое внимание привлекает создание излучателей и фотоприемников для спектрального диапазона 2-5 мкм, важного как для задач экологического мониторинга, так и для ИК ВОЛС 111 поколения [1, 2]. Ранее нами сообщалось о разработке светодиодов и фотодиодов для спектрального диапазона 1.8-2.5 мкм [3, 4], а также светодиодов для более длинноволнового диапазона 3-4.7 мкм [5]. В работе [6] был описан неохлаждаемый фотодиод на основе $InAs/InAsSbP$, работающий в области спектра 1.5-3.6 мкм.

Для области спектра 3-5 мкм хорошо известны фоторезисторы на основе солей свинца [7]. Однако к числу их недостатков относятся нелинейность фотоответа, низкое быстродействие (\sim мс), достаточно высокие рабочие напряжения (\sim 10 В), а также высокий уровень шумов. Фотодиоды же на основе $CdHgTe$, также используемые в этом спектральном диапазоне, требуют охлаждения жидким азотом [8].

Между тем для создания оптоэлектронных пар светодиод-фотодиод, предназначенных для использования в системах контроля газовых и жидких сред для задач экологии и контроля технологических процессов важно иметь фотоприемники, согласованные по спектру с излучателями, что легко достигается изготовлением источников света и приемников из одного и того же материала. Кроме того, для разработки малогабаритных приборов газового анализа интересным представляется использование длинноволновых фотодиодов, работающих без охлаждения.

Целью настоящей работы явилось исследование возможности создания фотодиодов на основе многокомпонентных твердых растворов 111-У, работающих при комнатной температуре в диапазоне 3-5 мкм.

Исследуемые структуры создавались методом жидкофазной эпитаксии на подложках $GaSb$ (111) А п-типа с концентрацией $(1-3) \cdot 10^{18}$ см⁻³ и на подложках $InAs$ (100) п-типа с концентрацией $(1-5) \cdot 10^{18}$ см⁻³. В качестве компонентов шихты использовались нелегированные соединения $InAs$, $InSb$, InP , $GaSb$ и $In_{1-x}As_x$. Используемая шихта предварительно гомогенизирована-

лась в атмосфере водорода при температуре 550–600 °C при охлаждении со скоростью 0.3 °C/мин.

Исследовались структуры трех типов, представленные на рис. 1, а, б, в. Двойная гетероструктура (1, а) и варизонная структура (1, б) выращены на подложках $InAs$. В активной области этих структур использовался твердый раствор $InAs_{1-x}Sb_x$ ($x \approx 0.06-0.07$), а в качестве широкозонных слоев – твердый раствор $InAs_{0.53}Sb_{0.16}Po_{0.31}$ ($E_g \approx 0.47$ эВ). Активные слои в этих двух типах структур преднамеренно не легировались. Концентрация носителей заряда в i -области лежала в пределах $(5-7) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Толщина активного слоя в ДГС структуре составляла 4 мкм, в варизонной – 18 мкм. Для создания р-областей использовалось легирование Zn и Mn .

Третий тип исследуемых структур (рис. 1, в) представлял собой гомо-п-р переход на основе узкозонного твердого раствора $Ga_xIn_{1-x}As_{1-y}Sb_y$ ($x = 0.11, y = 0.21, E_g = 0.26$ эВ), выращенного на подложке р- $GaSb$. Как было установлено в [9], твердый раствор $GaInAsSb$ такого состава образует с $GaSb$ „разъединенный“ гетеропереход п типа, поэтому переход р- $GaSb$ – п- $GaInAsSb$ является омическим контактом.

Структуры изготавливались методом фотолитографии в виде мезодиодов с диаметром чувствительной площадки 200–400 мкм.

Изучались вольтамперные характеристики, вольтфарадные и спектральные характеристики этих структур при $T=300$ и 77 К, а также быстродействие и обнаружительная способность.

На рис. 2, а представлено спектральное распределение fotocувствительности для трех типов структур при комнатной температуре: 1 – $InAsSbP / InAs$ (ДГС), 2 – $InAsSb / InAs$ (варизонная), 3 – р-п переход $GaInAsSb$. Область спектральной чувствительности структуры 1 лежит в интервале 1.5–4.1 мкм. При этом длина волны, соответствующая спаду чувствительности 50% от максимальной была $\lambda = 3.8$ мкм ($h\nu \approx 0.33$ эВ). Токовая монохроматическая чувствительность на длине волны $\lambda = 3.6$ мкм, составила 0.9 А/Вт ($\eta = 0.3$ электрон/фотон). Спектр варизонной $InAsSb / InAs$ структуры сдвинут в более длинноволновую область и лежит в диапазоне 1.1–4.5 мкм. Длина волны полуспада чувствительности соответствует $\lambda = 4.2$ мкм. Токовая чувствительность была невелика – 0.1 А/Вт. Это связано, вероятно, с большой глубиной залегания р-п перехода и отсутствием широкозонного „окна“.

Температурный сдвиг ширины запрещенной зоны, измеренный для двух первых типов структур в диапазоне 77–330 К составил

$$\frac{\Delta E_g}{\Delta T} = (2.6-2.8) \cdot 10^{-4} \text{ эВ/К.}$$

Спектр третьей структуры р-п $GaInAsSb$ простирается до длины волны 4.8 мкм. Токовая монохроматическая чувствительность при $\lambda = 4.0$ мкм около ~ 0.3 А/Вт. Отметим, что в диапазоне 1.5–5 мкм лежат полосы поглощения многих соединений, важных с точки зрения экологии (H_2O – 1.94 и 2.75 мкм, CH_4 – 1.66, 2.35 и 3.34 мкм, CO_2 – 4.27 мкм, CO – 4.67 мкм и др. [1]).

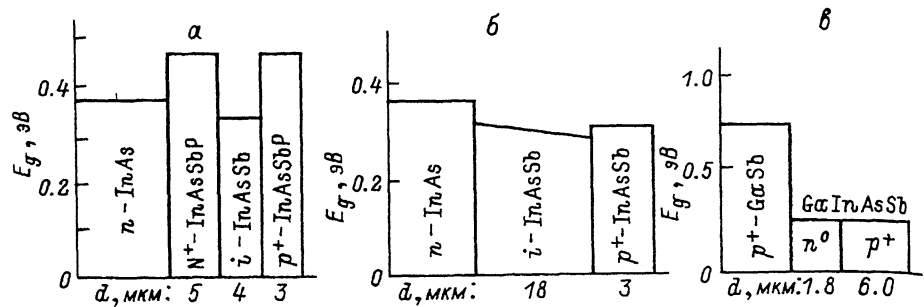


Рис. 1. Схематическое изображение исследуемых структур. а - двойная гетероструктура $N^+-InAs_{0.53}Sb_{0.16}P_{0.31} / i-InAs_{0.94}Sb_{0.06} / P^+-InAs_{0.53}Sb_{0.16}P_{0.31}$; б - варизонная гетероструктура на основе $InAs_{1-x}Sb_x$ ($x \approx 0.06-0.07$); в - гомо-р-п переход на основе $Ga_xIn_{1-x}As_{1-y}Sb_y$ ($x = 0.11, y = 0.21$). Подложка - $p^+ - GaSb$.

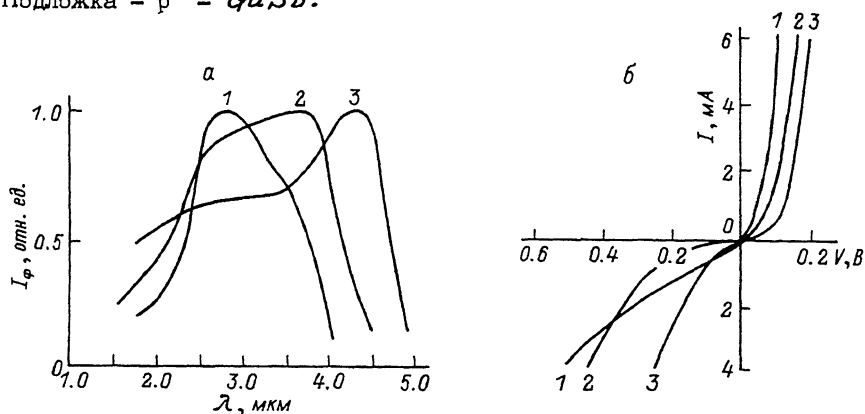


Рис. 2. а - спектральное распределение фоточувствительности для трех типов структур при $T = 300$ К, 1 - $InAsSbP / InAs$ (ДГС); 2 - $InAsSb / InAs$ (варизонная); 3 - р-п переход $GaInAsSb$. б - вольтамперные характеристики трех типов структур при $T = 300$ К, 1 - $InAsSbP / InAs$ (ДГС); 2 - $InAsSb / InAs$ (варизонная); 3 - р-п переход $GaInAsSb$.

Величина дифференциального сопротивления исследуемых структур, оцененная по измерениям вольтамперных характеристик при $T = 300$ К составила соответственно: $R_0 = 80-100$ Ом (ДГС), $300-500$ Ом (варизонная) и 120 Ом для р-п $GaInAsSb$. На рис. 2,б приведены вольтамперные характеристики трех типов структур при $T = 300$ К.

Были измерены также времена фотоответа двух типов структур (1 и 2) при засветке импульсами полупроводникового лазера с

$\lambda = 1.3$ мкм. Были получены значения $\tau = 30 - 50$ нс. Исследования C-V характеристик показало, что емкость не ограничивала быстродействие.

Для ДПС структуры мы провели оценку обнаружительной способности в максимуме спектра и получили значения $D_{\lambda}^* = 5 \cdot 10^8$ см Вт⁻¹Гц^{1/2}.

Таким образом, в результате проведенных исследований показана принципиальная возможность создания длинноволновых неохлаждаемых фотодиодов на основе многокомпонентных твердых растворов *InAsSbP* и *GaInAsSb*, изопериодных с подложками *InAs* и *GaSb*, работающих в спектральных диапазонах 1.3-4.2 мкм и 1.3-4.8 мкм.

Дальнейшее совершенствование технологии, а также оптимизация конструкции фотодиодов позволит существенно улучшить параметры исследуемых фотодиодов, перспективных для использования их, совместно с соответствующими излучателями на основе таких материалов, в системах экологического мониторинга, автоматического контроля технологических процессов и др.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] P i e r s o n R.H., F l e t c h e r A.N., C a n t z E.St.C. // *Analytical chemistry*. 1956, V. 28, №8. P. 1218-1239.
- [2] L u c a s J. // *Infrared Physics*. 1984. V. 25. №1-2. P. 277-281.
- [3] А н д а с п а е в а А., Б а р а н о в А.Н., Г у с е й н о в А.А. и др. // *Письма в ЖТФ*. 1990. Т. 16. В. 18, С. 71-75.
- [4] А н д р е е в И.А., А ф р а и л о в М.А., Б а р а н о в А.Н. и др. // *Письма в ЖТФ*. 1989. Т. 15. В. 7 С. 15-19.
- [5] Б а р а н о в А.Н., И м е н к о в А.Н., К а п р а н ч и к О.П. и др. // *Письма в ЖТФ*. 1990. Т. 16. В. 16. С. 42-47.
- [6] А н д р е е в И.А., А ф р а и л о в М.А., Б а р а н о в А.Н. и др. // *Письма в ЖТФ*. 1990. Т. 16. В. 4. С. 27-32.
- [7] У ш а к о в а М.Б. // *Итоги науки и техники. Электроника*. 1988, Т. 20. С. 85-128.
- [8] Б а ж е н о в Н.Л., Г а с а н о в С.И., О г о р о д н и к о в В.К. и др. // *Зарубежная электронная техника*. 1986. В. 8. С. 3-25.
- [9] А ф р а и л о в М.А., Б а р а н о в А.Н., Д м и т р и е в А.П. и др. // *ФТП*. 1990. Т. 24. В. 8. С. 1397-1406.