

06.3; 07; 12

© 1993

ФОТОАНАЛИЗАТОРЫ ПОЛЯРИЗОВАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
НА СТРУКТУРАХ $Au-Ga_{1-x}Al_xAs$ И $Au-Ga_{1-x}Al_xP$ С.Г. К о н н и к о в, Д. М е л е б а е в,
В.Ю. Р у д ь, А. Б е р к е л и е в,
О.В. К о р н я к о в а, М.Х. Р о з ы е в а

Системы твердых растворов $Ga_{1-x}Al_xAs$ и $Ga_{1-x}Al_xP$ широко изучаются в связи с вскрытыми перспективами этих материалов для полупроводниковой оптоэлектроники и интегральной оптики [1-3]. Поверхностно-барьерные и другие фоточувствительные структуры на основе указанных твердых растворов с фиксированным либо переменным по координате значением x подробно исследованы в качестве фотопреобразователей естественного излучения [4-6]. В данной работе приводятся результаты первых экспериментальных исследований фоточувствительности $Ga_{1-x}Al_xAs$ и $Ga_{1-x}Al_xP$ поверхностно-барьерных структур в линейно-поляризованном излучении, указывающие на применимость таких систем в новой для них области - поляризационной фотоэлектронике [7].

Поляризационные исследования выполнялись на поверхностно-барьерных структурах $Au-Ga_{1-x}Al_xAs$ и $Au-Ga_{1-x}Al_xP$. Активные варизонные слои твердого раствора $n-Ga_{1-x}Al_xAs$ и $n-Ga_{1-x}Al_xP$ с толщиной 5-30 мкм, выращивались методом жидкостной эпитаксии на подложках $n-GaP$ (111) по методике [8, 9]. Микрорентгеноспектральным анализом установлено, что концентрация алюминия в эпитаксиальных слоях твердого раствора изменяется по толщине слоя, причем наибольшее содержание алюминия отмечено на границе слой-подложка ($x_0 = 0.4-0.7$), а наименьшее - на поверхности слоя ($x_s = 0.1-0.6$). Концентрация свободных электронов в эпитаксиальном слое соответственно равна $\sim 9 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ в $Ga_{1-x}Al_xAs$ и $\sim 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ в $Ga_{1-x}Al_xP$ при 300 К. Поверхностно-барьерный переход создавался нанесением химическим способом слоя золота с толщиной 100-150 Å по методике [10, 11]. Площадь барьерного контакта у разных структур лежала в пределах 6-8 мм². Созданные фотоанализаторы при освещении барьерного контакта имели токовую фоточувствительность к интенсивности излучения $S_I = 60-70 \text{ мА/Вт}$ ($Au-Ga_{1-x}Al_xAs$ при $\lambda = 0.62 \text{ мкм}$, $Au-Ga_{1-x}Al_xP$ при $\lambda = 0.37 \text{ мкм}$). Методика поляризационных фотоэлектрических исследований подробно описана в [12].

Типичные зависимости поляризационных параметров поверхностно-барьерных структур на $Au-n-Ga_{1-x}Al_xAs$ и $Au-n-Ga_{1-x}Al_xP$ при фиксированных значениях состава x_s на поверхности слоях твердых растворов приведены на рис. 1, а, б. В области фо-

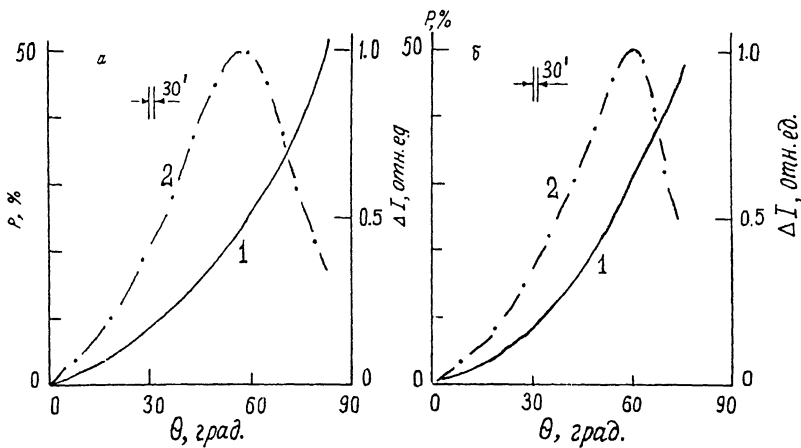


Рис. 1. а) Зависимости коэффициента фотопоглощения (1) и поляризационной разности фототоков (2) структуры $Au-Ga_{1-x}Al_xAs$ от угла падения ЛПИ ($T = 300$ К, $x_s = 0.17$, $h\omega = 1.7$ эВ). б) Зависимости коэффициента фотопоглощения (1) и поляризационной разности фототоков (2) структуры $Au-Ga_{1-x}Al_xP$ от угла падения ЛПИ ($T = 300$ К, $x_s = 0.55$, $h\omega = 2.9$ эВ).

точувствительности изученных структур к положению электрического вектора световой волны \vec{E} относительно плоскости падения (ПП) при углах падения $\theta \neq 0^\circ$ для обоих типов структур угловые зависимости главных поляризационных параметров – коэффициент фотопоглощения

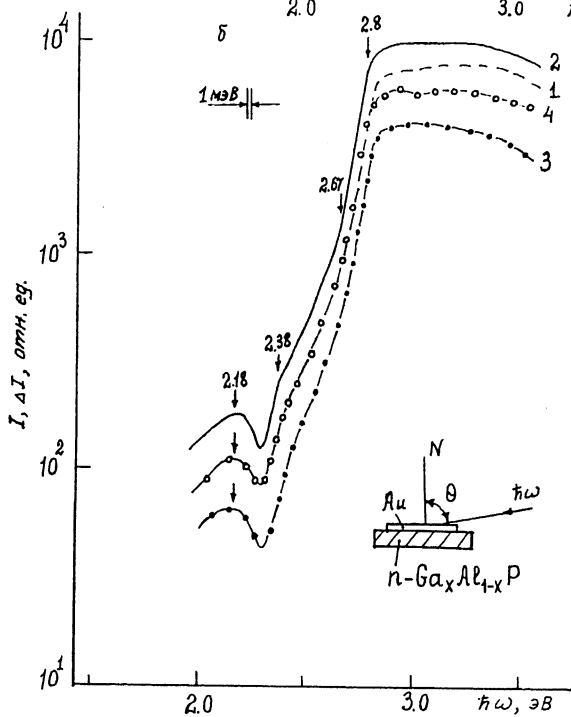
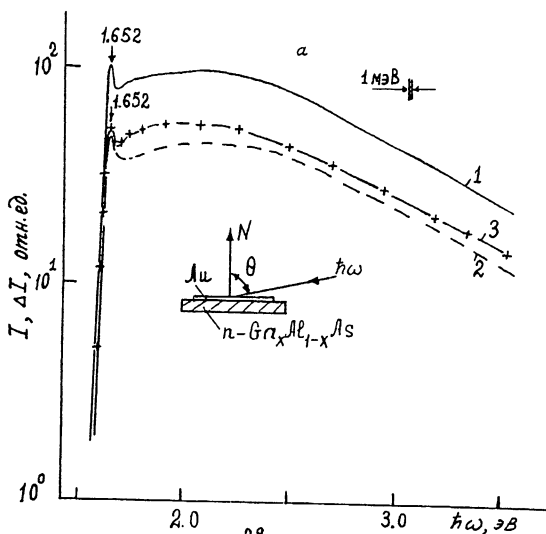
$$P = \left(\frac{I'' - I^\perp}{I'' + I^\perp} \right) \cdot 100\%$$

при поляризационной разности фототока короткого замыкания $\Delta I = I'' - I^\perp$ оказались подобными.¹ Как только угол падения становится отличным от нуля, коэффициент фотопоглощения также перестает быть равным нулю и растет по квадратичному закону $P \sim \theta^2$ (рис. 1, а и б, кривые 1). Следовательно, контролируя величину θ , можно плавно изменять значение P . Так, на углах $\theta \approx 75^\circ$ в случае структуры на основе $Ga_{1-x}Al_xAs$ $P \approx 45\%$, тогда как для $Ga_{1-x}Al_xP$ $P \approx 39\%$. В области поляризационной фоточувствительности фототок при фиксированном значении угла падения изменяется в зависимости от азимутального угла φ между \vec{E} и ПП по закону

$$I_\varphi = I'' \cos^2 \varphi + I^\perp \sin^2 \varphi$$

Поляризационная разность фототока, как следует из рис. 1, а и б (кривые 2), достигает максимальных значений вблизи $\theta \approx 60^\circ$,

¹ Знаками „||” и „⊥” указаны поляризации $\vec{E} \parallel \text{ПП}$ и $\vec{E} \perp \text{ПП}$.



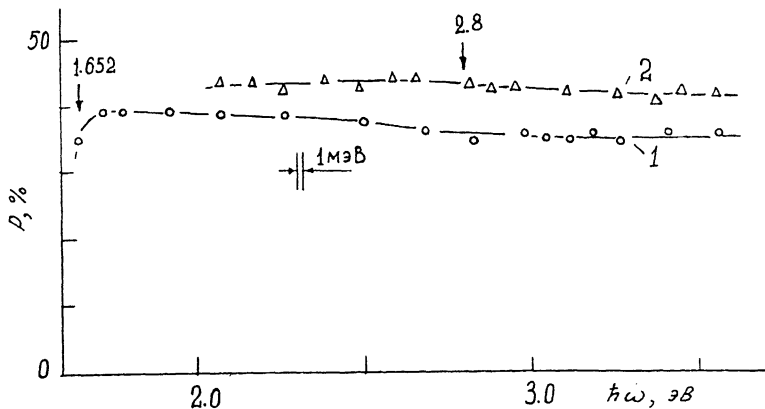


Рис. 3. Спектральные зависимости коэффициента фотохроизма для структур $Au-Ga_{1-x}Al_xAs$ (1) и $Au-Ga_{1-x}Al_xP$ (2) ($T = 300$ K, $\theta = 75^\circ$).

что находится в согласии с результатами анализа прохождения световой волной границы воздух-слой золота [13, 14].

Типичные спектральные зависимости fotocувствительности в линейно-поляризованном излучении (ЛПИ) для полученных структур приводятся на рис. 2, а и б. При наклонном падении ЛПИ на приемную плоскость структуры $Au-n-Ga_{1-x}Al_xAs$ в области поляризационной fotocувствительности для обеих поляризаций длинноволновый край I экспоненциальный, ему отвечает высокая крутизна $S = d(\ln I)/d(\hbar\omega) 75 \text{ эВ}^{-1}$, что отвечает прямым оптическим переходам в твердом растворе данной системы. Проявление узкого пика при $\hbar\omega \approx 1.652 \text{ эВ}$ ($T = 300$ K) может, вероятно, свидетельствовать об экситонном характере краевого поглощения. В глубине фундаментального поглощения, как следует из рис. 2, а, для обеих поляризаций при $\hbar\omega > 2.2 \text{ эВ}$ происходит спад fotocувствительности, обусловленный, по-видимому, рекомбинационными процессами. Поляризационная разность фототока, как видно из рис. 2, а (кривая 3), во всей области fotocувствительности имеет по-

Рис. 2. а) Спектральные зависимости фототока (1 - $\vec{E} // \text{ПП}$, 2 - $\vec{E} \perp \text{ПП}$) и поляризационной разности фототоков (3) для структуры $Au-Ga_{1-x}Al_xAs$ при $T = 300$ K ($x_s = 0.17$, $\theta = 75^\circ$). На вставке представлена схема эксперимента. б) Спектральные зависимости фототока (1 - естественное излучение, 2 - $\vec{E} // \text{ПП}$, 3 - $\vec{E} \perp \text{ПП}$) и поляризационной разности фототоков (4) для структуры $Au-Ga_{1-x}Al_xP$ при $T = 300$ K ($x_s = 0.55$, $\theta = 75^\circ$). На вставке представлена схема эксперимента.

стоянный знак $\Delta I > 0$, а ее спектральный контур близок к спектральным зависимостям I'' и I^\perp .

Для $Ga_{1-x}Al_xP$ поверхностно-барьерных структур фоточувствительность в естественном и линейно-поляризованном излучении доминирует в коротковолновой области $\hbar\omega > 2.8$ эВ (рис. 2, б). Четкая ступенька при $\hbar\omega \approx 2.8$ эВ может быть приписана наступлению прямых межзонных оптических переходов. Экспоненциальный рост фототока в диапазоне энергий фотонов 2.67–2.8 эВ описывается более низким значением крутизны $S \approx 14$ эВ⁻¹, а длинноволновый спад фоточувствительности содержит ряд четких изломов и пик при $\hbar\omega \approx 2.18$ эВ (рис. 2, б), связанных, вероятно, с особенностями электронного спектра твердого раствора. Закономерности поляризационных параметров фоточувствительности структуры $Au-n-Ga_{1-x}Al_xP$ в целом такие же, что и в предыдущем случае. Следовательно, поляризационная фоточувствительность, в основном, определяется углом падения излучения на приемную плоскость структур.

Спектральные зависимости коэффициента фотоплетохроизма обоих типов структур приводятся на рис. 3. Главной их закономерностью является широкий спектральный диапазон при слабом изменении величины P в случае $\theta = const$. Характерно также, что для структур на основе $Ga_{1-x}Al_xP$ значение P оказывается практически одинаковым как в области сильного, так и в области слабого фотоактивного поглощения при $\hbar\omega < 2.5$ эВ.

Для исследованных структур получены следующие максимальные значения азимутальной фоточувствительности: $Au-n-Ga_{1-x}Al_xAs$ – 65 мА/Вт·град и $Au-n-Ga_{1-x}Al_xP$ – 55 мА/Вт·град при 300 К и $\theta \approx 75^\circ$.

В заключение укажем, что результаты впервые выполненных поляризационных исследований поверхностно-барьерных структур на основе твердых растворов $Ga_{1-x}Al_xAs$ и $Ga_{1-x}Al_xP$ указывают на возможность их применения в широкополосных фотоанализаторах линейно-поляризованного излучения.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Алферов Ж.И., Гарбузов Д.З. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1973. Т. 37. В. 3. С. 651–658.
- [2] Беркелиев А., Гольдберг Ю.А., Данилова Т.Н., Именков А.Н., Мелебаев Д., Царенков Б.В., Яковлев Ю.П. // ФТП. 1976. Т. 10. В. 12. С. 2352–2360.
- [3] Алферов Ж.И., Арутюнов Е.Н., Мишурный В.А., Портной Е.Л., Пятаев В.З. // Письма в ЖТФ. 1977. Т. 3. В. 17. С. 890–893.
- [4] Беркелиев А., Гольдберг Ю.А., Именков А.Н., Мелебаев Д., Царенков Б.В. // ФТП. 1978. Т. 12. В. 1. С. 96–101.

- [5] Диасс П., Мишурный В.А., Портной Е.Л., Рывкин Б.С., Смирницкий В.Б. // Письма в ЖТФ. 1977. Т. 3. В. 14. С. 712-715.
- [6] Аннаева А.Р., Беркелиев А., Гольдберг Ю.А., Мелебаев Д., Царенков Б.В. // Изв. АН ТССР. Сер. ФТХ и ГН. 1978. № 5. С. 22-25.
- [7] Рудь Ю.В. // Изв. вузов. Физика. 1986. № 8. С. 62-83.
- [8] Berkeliev A., Durdimuradova M.G., Cornikova O.V., Melebaev D., // Pap 9-th. Int. Conf. Cryst. Growth., Sendai., Japan. 20-25 Aug. 1989. 22a. С. 15. P. 107.
- [9] Melebaev D., Durdimuradova M.G., Berkeliev A., Cornikova O.V. / Crystal Properties and Preparation Trans. Tech. Publ. Switserland, Germany, -UK-USA. 1991. V. 32-34. P. 573-575.
- [10] Беркелиев А., Мелебаев Д. // Изв. АН ТССР. Сер. ФТХ и ГН. 1976. № 5. С. 33-39.
- [11] Беркелиев А., Гольдберг Ю.А., Мелебаев Д., Царенков Б.В. // ФТП. 1976. Т. 10. В. 8. С. 1532-1534.
- [12] Конников С.Г., Мелебаев Д., Рудь Ю.В., Сергинов М. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 12. С. 39-42.
- [13] Конников С.Г., Мелебаев Д., Рудь Ю.В., Федоров Л.М. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 12. С. 11-15.
- [14] Беркелиев А., Капитонова Л.М., Мелебаев Д., Рудь В.Ю., Сергинов М., Тилевов С. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 15. С. 50-53.

Физико-технический
институт им А.Ф. Иоффе
РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию
29 декабря 1992 г.