

06.3; 07

© 1992

## НАВЕДЕННЫЙ ФОТОПЛЕОХРОИЗМ ГЕТЕРОПЕРЕХОДОВ ITO-A<sup>3</sup>B<sup>5</sup>(GaP, GaP<sub>x</sub>As<sub>1-x</sub>)

С.Г. Конников, Д. Мелебаев,  
В.Ю. Рудь, М. Сергинов,  
С. Тилевов, Ж. Ханов

Открытие фотоплеохроизма, наведенного наклонным падением линейно-поляризованного излучения на приемную плоскость фоточувствительной структуры, позволяет привлекать для создания поляриметрических фотодетекторов любые, а не только анизотропные материалы [1]. Уже первые попытки изучить наведенный фотоплеохроизм структур с потенциальным барьером в изотропных полупроводниках A<sup>3</sup>B<sup>5</sup> показали, что поверхностно-барьерные фотопреобразователи в таких монокристаллах могут использоваться как высокочувствительные фотоанализаторы линейно-поляризованного излучения [2-4]. В данной работе изучаются закономерности наведенного фотоплеохроизма в гетеропереходах, включающих широкозонный окисел ITO и некоторые монокристаллы полупроводников A<sup>3</sup>B<sup>5</sup> и их твердых растворов: GaP и GaP<sub>x</sub>As<sub>1-x</sub>.

Гетеропереходы создавались известным методом магнетронного распыления мишени из индия и олова в окислительной среде, включающей смесь кислорода и аргона. Осаждение пленок ITO производилось на химически полированные плоскости (100) монокристаллов GaP и GaP<sub>x</sub>As<sub>1-x</sub> п-типа проводимости с концентрацией свободных электронов  $\sim 5 \cdot 10^{16}$  см<sup>-3</sup> при T=300 К. Площадь гетерограницы составляла 0.5-1.0 см<sup>2</sup> у разных структур. Пленки обладали высокой прозрачностью (T=95%), имели совершенную зеркальную поверхность при толщинах  $\sim 1$  мкм и отличались высокой адгезией в отношении поверхности использованных подложек. При освещении гетеропереходов со стороны ITO токовая фоточувствительность достигала максимальных величин  $S_i = 0.1$  А/Вт при 300 К. Ме тодика поляризационной фотоэлектрической спектроскопии была аналогичной [3]. Главные закономерности этих исследований заключается в следующем.

Как видно из рис. 1, где приводятся типичные результаты измерений поляризационной разности фототока  $\Delta I = I'' - I^{\perp}$  и коэффициента фотоплеохроизма  $\mathcal{P} = \left( \frac{I'' - I^{\perp}}{I'' + I^{\perp}} \right) \cdot 100\%$  для обоих типов гетеропереходов, поляризационная фоточувствительность начинает возникать при отклонениях направления падения линейно-поляризованного излучения от нормали к освещаемой плоскости, т.е. при углах падения  $\vartheta > 0^\circ$ . Это типичное поведение для фоточувствительных

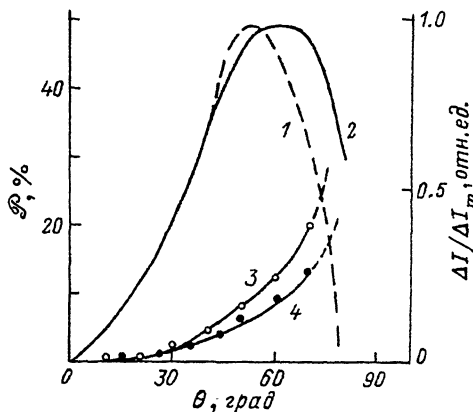


Рис. 1. Зависимости поляризационной разности фототока (1, 2) и коэффициента фотоплекроизма (3, 4) от угла падения линейно-поляризованного излучения на структуры  $\text{ITO-GaP}_x\text{As}_{1-x}$  ( $x \approx 0.4$ : 1, 3) и  $\text{ITO-GaP}$  (2, 4).  $T=300\text{ K}$ :  $\hbar\omega$ , эВ: 1, 3-1.91, 2, 4 - 2.82.

структур на основе изотропной среды, поскольку при  $\theta=0^\circ$  наведенный фотоплекроизм  $\mathcal{P} \equiv 0$ . Как только угол  $\theta$  становится отличным от  $0^\circ$  (рис. 1), в обоих видах гетеропереходов появляется поляризационная разность и фотоплекроизм, отличающиеся от нуля. Угловые зависимости  $\Delta I$  в изученных гетеропереходах являются сходными, достигая максимальных величин вблизи  $\theta = 50-60^\circ$ . Максимум поляризационной разности фототока обусловлен снижением до минимума потерь на отражение для световой волны, поляризованной в плоскости падения излучения ( $\vec{E} // \text{ПП}$ ), а угловая зависимость  $\Delta I$  следует соотношениям Френеля для амплитудных коэффициентов прохождения линейно-поляризованным излучением границы контактирующих сред [5, 6].

Коэффициент фотоплекроизма (рис. 1, кривые 3 и 4) для обоих видов гетеропереходов и во всей области их фоточувствительности возрастает с увеличением угла падения по квадратичному закону  $\mathcal{P} \sim \theta^2$ , как и для структур металл-полупроводник [2-4]. Обращает на себя внимание несовпадение значений  $\mathcal{P}$  в различных типах структур и это обстоятельство может быть обусловлено различиями в эффективных показателях преломления  $n$ , ответственных за величину наведенной фотоэлектрической анизотропии. В соответствии с анализом [7] экспериментальным угловым зависимостям  $\mathcal{P}(\theta)$  можно сопоставить значения  $n \approx 1.4-1.8$ , что близко к значениям показателя преломления для ИТО [8]. Наблюдаемые расхождения в численных значениях  $\mathcal{P}$  при  $\theta = \text{const}$  для гетеропереходов  $\text{ITO-GaP}_x\text{As}_{1-x}$  и  $\text{ITO-GaP}$  в таком случае, вероятно, вызываются также изменениями структурного устройства межфазной гетерограницы.

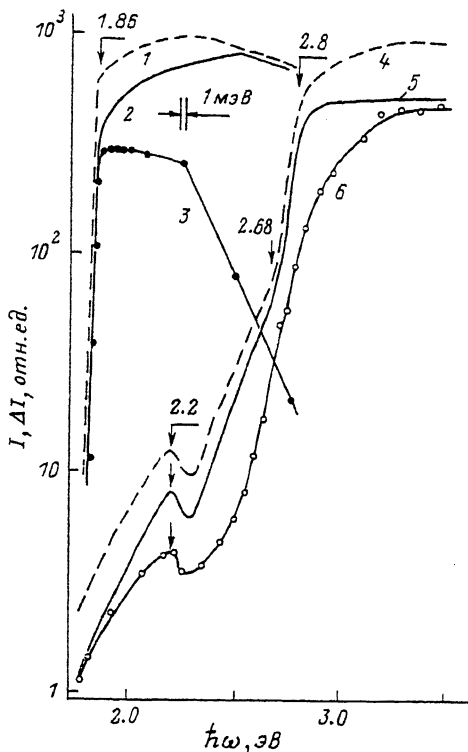


Рис. 2. Спектральные зависимости фототока короткого замыкания (кривые 1 и 4 -  $\vec{E} // \text{ПП}$ , 2 и 5 -  $\vec{E} \perp \text{ПП}$ ) и его поляризационной разности  $\Delta I = I'' - I'$  (3, 6) структур  $\text{ITO} - \text{GaP}_x\text{As}_{1-x}$  ( $x \approx 0.42$ ; 1-3) и  $\text{ITO} - \text{GaP}$  (4-6).  $T=300 \text{ K}$ ;  $\theta$ , град: 1-3 - 75, 4-6 - 80; освещение со стороны ITO.

На рис. 2 представлены типичные спектральные зависимости фоточувствительности типичных гетеропереходов в поляризациях  $\vec{E} // \text{ПП}$  и  $\vec{E} \perp \text{ПП}$  (кривые 1, 2, 4, 5), а также поляризационной разности фототоков (кривые 3 и 6) при 300 К. Для обоих гетеропереходов фоточувствительность во всей спектральной области доминирует в поляризации  $\vec{E} // \text{ПП}$ , вследствие чего знак  $\Delta I$  остается неизменным и положительным во всем спектральном диапазоне фоточувствительности (рис. 2, кривые 3 и 6). Максимум поляризационной разности в гетеропереходах из  $\text{GaP}_x\text{As}_{1-x}$  и  $\text{GaP}$  приходится на область прямых межзонных переходов. Очевидно, что изменение состава твердого раствора может быть использовано для управления спектральным диапазоном поляризационной разности таких гетеропереходов.

Спектральные зависимости коэффициента наведенного фотолеохроизма  $\rho$  при  $\theta = \text{const}$  для типичных гетеропереходов при-

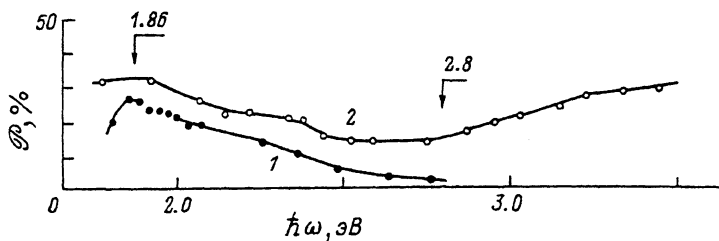


Рис. 3. Спектральные зависимости коэффициента фотоплекроизма структур ИТО- $GaP_xAs_{1-x}$  ( $x \approx 0.42$  (1)) и ИТО- $GaP$  (2) при наклонном падении линейно-поляризованного излучения со стороны ИТО ( $T=300$  К;  $\theta$ , град: 1 - 75, 2 - 80).

водятся на рис. 3. Обращают на себя внимание, во-первых, невысокие максимальные значения  $\mathcal{P} \approx 20\%$ , что оказывается значительно ниже, чем в поверхностно-барьерных структурах на этих же монокристаллах [2-4]. Это снижение определяется, в первую очередь, более низкими значениями  $n$  для ИТО по сравнению с  $Au$ , что соответствует проведенному в [7] анализу. Вторым существенным отличием гетеропереходов на основе ИТО по отношению к поверхностно-барьерным структурам является выраженная спектральная зависимость коэффициента фотоплекроизма в гетеропереходах (рис. 3), тогда как в поверхностно-барьерных структурах поляриметрический фотоэффект имел явно неселективный характер. С учетом результатов [9] можно полагать, что проявление зависимости величины  $\mathcal{P}$  от энергии падающих фотонов (рис. 3) обусловлено наложением на наведенный наклонным падением неселективный фотоплекроизм добавочного селективного фотоплекроизма. Последний может быть обусловлен, например, возможными деформациями на гетерогранице и т.п. Этот вопрос для своего выяснения требует проведения дополнительных исследований с помощью методик поляризационной спектроскопии.

В заключение укажем, что полученные структуры позволяют реализовать максимальную азимутальную фоточувствительность  $\phi_i = 40$  мА/Вт·град при  $T=300$  К в окрестности азимутального угла  $\varphi = 45^\circ$ . Следовательно, наведенный фотоплекроизм полученных гетеропереходов может быть использован для создания фотоанализаторов линейно-поляризованного излучения, спектральный диапазон которых контролируется атомным составом твердых растворов на полупроводниках  $A^3B^5$ . Из сопоставления результатов настоящего сообщения, а также работ [2-4], следует указать, что увеличение фотоплекроизма требует использования в качестве входного окна полупроводников с высокими значениями показателя преломления.

- [1] Рудь Ю.В., Медведкин Г.А. // Авт. свид. СССР № 671634. БИ № 41. 1980. С. 291.
- [2] Конников С.Г., Мелебаев Д., Рудь В.Ю., Федоров Л.М. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 12. С. 11-15.
- [3] Конников С.Г., Мелебаев Д., Рудь В.Ю., Сергинов М. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 12. С. 29-42.
- [4] Беркелиев А., Капитонова Л.М., Мелебаев Д., Рудь В.Ю., Сергинов М., Тилевов С. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 15. С. 50-54.
- [5] Ландсберг Г.С. Оптика. М., 1976. 926 с.
- [6] Аззам Р., Башара М. Эллипсометрия и поляризованный свет. М., 1981. 584 с.
- [7] Medvedkin G.A., Rud Yu.V. // Ph. St. Sol. (a). 1981. V. 67. N 1. P. 333-337.
- [8] Стриха В. И., Кильчицкая С.С. Солнечные элементы на основе контакта металл - проводник. С.-Петербург. 1992. 136 с.
- [9] Абдурахимов А.А., Рудь Ю.В., Скорюкин В.Е. // ЖПС. 1982..Т. 37. № 3. С. 463-466.

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

Поступило в Редакцию  
30 ноября 1992 г.