

06.3; 07

© 1993

ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА р-п-СТРУКТУР  
ИЗ ФОСФИДА ГАЛЛИЯ

А. М а м е д о в, Д. М е л е б а е в,  
Н. Н а з а р о в, В.Ю. Р у д ь,  
Ю.В. Р у д ь, М.А. Т а и р о в,  
С. Т и л е в о в

Фотоэлектрические явления в р-п-структурах на основе фосфида галлия до сих пор исследовались только в естественном излучении, и по этой причине в литературе вопрос относительно их применения в качестве поляриметрических фотодетекторов еще не обсуждался [1]. В настоящей работе представлены результаты изучения наведенного фотоплекроизма, возникающего при наклонном падении линейно-поляризованного излучения (ЛПИ) на приемную плоскость GaP р-п-структур.

р-п-GaP структуры создавались методом жидкостной эпитаксии при охлаждении раствора-расплава по методике [2]. Подложкой служили кристаллы п-GaP, легированные теллуром с концентрацией электронов  $(3-5) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$  (300 К) и ориентированные по кристаллографической плоскости (111). Эпитаксиальный р-п-переход изготовлялся следующим образом: вначале на подложку толщиной  $\sim 350$  мкм наращивался легированный Те до концентрации электронов  $(4-6) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  слой п-GaP толщиной 10-15 мкм, затем на него наращивался легированный Zn до концентрации дырок  $(6-9) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$  слой р-GaP толщиной 1-3 мкм. Омические контакты изготавливались сплавлением сплава  $\text{In} : \text{Zn} = 95 : 5$  на поверхности слоя р-типа и индия на поверхность подложки п-типа. Площадь эпитаксиального р-п-перехода у разных структур составляла 0,4-1,0 см<sup>2</sup>. Максимальное значение фотоэдс при освещении р-п-структур со стороны р-области неразложенным светом от вольфрамовой лампы накапливания (P=24 Вт) обычно достигало 1,27 В, а токовая фоточувствительность при  $\lambda = 0,50$  мкм  $\approx 23$  мА/Вт. Плотность темнового тока при обратном смещении  $V = 1,0$  В составляет  $\approx 10^{-9}$  А/см<sup>2</sup>.

Для исследования поляризационных свойств р-п-перехода освещение структур производилось со стороны зеркально-гладкой поверхности слоя GaP р-типа. Структуры монтировались на столике Федорова, что позволяло изменять в процессе поляризационных измерений азимутальный угол  $\varphi$  между электрическим вектором световой волны  $\vec{E}$  и плоскостью падения (ПП) и угол падения  $\theta$  ЛПИ на выбранную приемную плоскость структуры в диапазоне 0-180° с точностью около 30' [3].

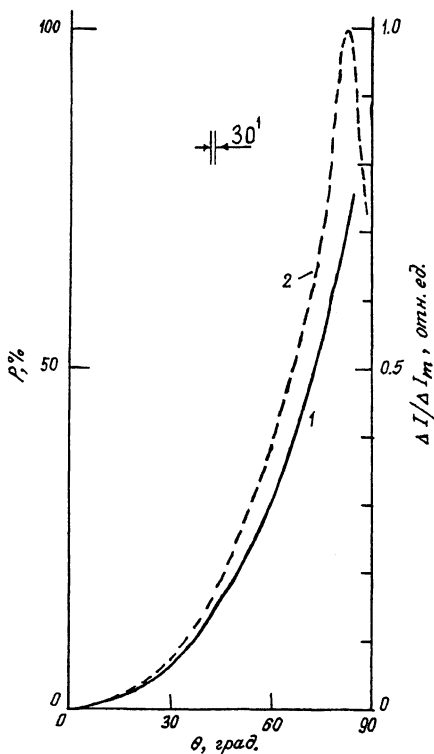


Рис. 1. Зависимости коэффициента фотохроизма (1) и поляризационной разности фототока (2) от угла падения излучения на приемную плоскость р-п-GaP ( $T=300$  К, освещение со стороны области р-типа проводимости,  $\lambda = 0.50$  мкм).

Типичные экспериментальные результаты выполненных измерений суммированы на рис. 1-3 и сводятся к следующему.

Как только направление падения ЛПИ отклоняется от нормали к приемной плоскости р-типа проводимости, появляются отличные от нуля поляризационная разность фототока  $\Delta I = I'' - I^{\perp}$  и коэффициент фотохроизма  $\rho = \left( \frac{\Delta I}{I'' + I^{\perp}} \right) \cdot 100\%$ . Наблюдаемая угловая зависимость  $\Delta I$  определяется увеличением  $I''$  и понижением  $I^{\perp}$  с ростом  $\theta$  в результате изменения амплитудных коэффициентов прохождения различно поляризованных световых волн сквозь границу воздух-поверхность плоскости р-типа проводимости

<sup>1</sup>Значками "||" и "⊥" обозначены фототоки, отвечающие поляризациями  $\vec{E} // \text{ПП}$  и  $\vec{E} \perp \text{ПП}$  соответственно.

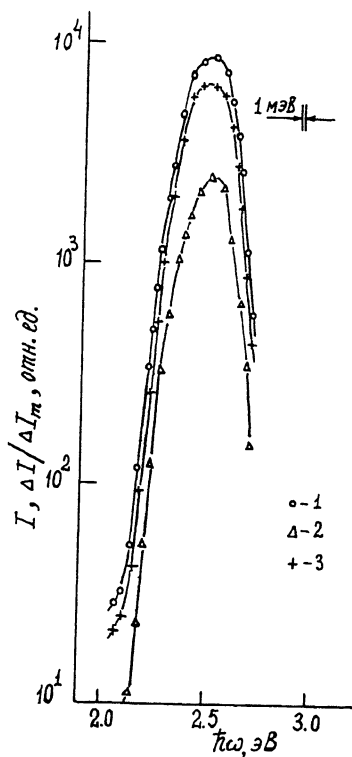


Рис. 2. Спектральные зависимости фототока короткого замыкания (1 -  $\vec{E} \parallel \text{ПП}$ , 2 -  $\vec{E} \perp \text{ПП}$ ) и поляризационной разности фототока (3) при наклонном падении излучения на приемную плоскость р-р- $\text{GaP}$  ( $T=300 \text{ K}$ , освещение со стороны области р-типа проводимости,  $\theta = 80^\circ$ ).

в соответствии с известными соотношениями Френеля [4]. Как видно из рис. 1 (кривая 2), максимальное значение  $\Delta I$  достигается при  $\theta \approx 80^\circ$ , когда излучение с поляризацией  $\vec{E} \parallel \text{ПП}$  практически полностью поглощается в слое р- $\text{GaP}$ , тогда как излучение в поляризации  $\vec{E} \perp \text{ПП}$  отражается. Коэффициент фотоплеохроизма в зависимости от угла падения при его изменении в диапазоне  $0-85^\circ$  следует квадратичному закону и при  $\theta = 80^\circ$  достигает  $\sim 70-74\%$  для разных структур. Следует отметить, что достигнутые здесь значения коэффициента наведенного фотоплеохроизма оказываются близкими к характерным величинам коэффициента естественного фотоплеохроизма в фоточувствительных структурах на основе кристаллов с максимальной величиной естественной тетрагональной деформации решетки халькопирита [5, 6].

На рис. 2 приведены типичные спектральные зависимости фототока короткого замыкания р-р- $\text{GaP}$  структур для двух поляризаций при наклонном падении излучения. Поляризационные индикатрисы

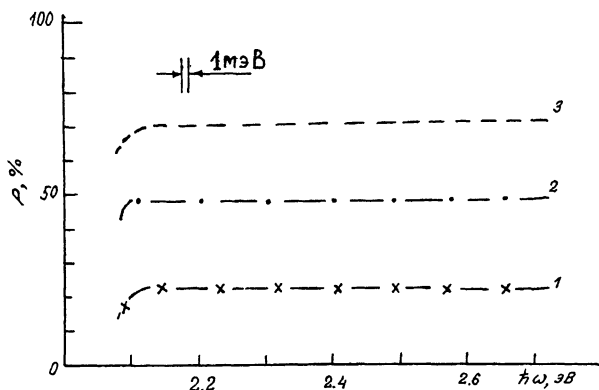


Рис. 3. Спектральные зависимости коэффициента фотоплетохроизма при различных углах падения излучения на приемную плоскость р-п- $GaP$  ( $T=300$  К, освещение со стороны области р-типа проводимости;  $\theta$ , град: 1 - 50, 2 - 70, 3 - 80).

$I_{\varphi}$  в области поляризационной фоточувствительности исследованных структур подчиняются закону

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

причем  $\varphi = 0^{\circ}$  в поляризации  $\vec{E} \parallel \text{ПП}$ . Как видно из рис. 2, во всей спектральной области фоточувствительности сохраняется соотношение  $I'' > I^{\perp}$ , спектральная зависимость поляризационной разности  $\Delta I (\hbar\omega)''$  „прижимается“ к кривой  $I'' (\hbar\omega)$ , что и должно быть в случае высоких значений  $\rho$ . Из рис. 2 также видно соответствие спектральных контуров  $I''$  и  $I^{\perp}$ , что типично для случая, когда поляризационная фоточувствительность определяется только наведенным фотоплетохроизмом вследствие отсутствия естественного фотоплетохроизма. Длинноволновый край спектральных зависимостей фототока р-п- $GaP$  в координатах  $\sqrt{I''(I^{\perp})} - \hbar\omega$  спрямляется, что отвечает непрямым межзонным переходам в  $GaP$  [7, 8]. Для изученных структур при  $\hbar\omega > 2.5$  эВ оказывается выраженным коротковолновый спад фототока (рис. 2). Его можно связать с тем, что вследствие увеличения коэффициента поглощения с ростом  $\hbar\omega > 2.5$  эВ область фотогенерации неравновесных носителей заряда локализуется у освещаемой поверхности и все более удаляется от фотоактивной области р-п-перехода. Можно полагать, что при  $\hbar\omega > 2.6$  эВ область фотогенерации уже отстоит от активной области структур на расстояния, которые превышают длину диффузионного смещения фотоэлектронов, вызывая в конечном счете  $I \rightarrow 0$  (рис. 2).

Спектральная зависимость коэффициента фотоплетохроизма р-п- $GaP$  структур при разных углах падения имеет неселективный

характер во всей области фоточувствительности (рис. 3). Контроль угла падения ЛПИ на приемную плоскость позволяет экспрессно управлять величиной коэффициента фотоплетохроизма от 0 до 70 %, не затрагивая его спектральный диапазон.

Здесь уместно выделить еще одно существенное отличие наведенного фотоплетохроизма от естественного. Для р-п-переходов в анизотропных веществах глубина залегания слоя объемного заряда от освещаемой плоскости контролирует не только величину, но даже и знак коэффициента естественного фотоплетохроизма, обеспечивая рост его амплитуды до предельной величины 100 % [5, 6]. В рассматриваемом здесь примере, как следует из рис. 3, удаление области фотогенерации от активной области, сопровождающееся одинаковым коротковолновым спадом  $I''$  и  $I^\perp$ , практически не влияет на величину  $\rho$ . Причина такого различия состоит в том, что в анизотропном полупроводнике глубина поглощения излучения определяется не только энергией фотонов, но и их поляризацией. В результате этого с повышением энергии фотонов выше некоторого значения фототок для сильно поглощаемого излучения становится ниже, чем для слабо поглощаемого, что и вызывает инверсию знака коэффициента естественного фотоплетохроизма относительно знака оптического дихроизма [5]. В рассматриваемом случае наведенного фотоплетохроизма в изотропной среде GaP анизотропия фоточувствительность формируется границей воздух-полупроводник, тогда как глубина поглощения, а, следовательно, и фототоки  $I''$  и  $I^\perp$  вообще не зависят от поляризации падающего излучения ( $\vec{E} \parallel \text{ПП}$  и  $\vec{E} \perp \text{ПП}$ ).

Таким образом, контролируя угол падения ЛПИ на приемную зеркально-гладкую плоскость р-п-структур из GaP, можно осуществить экспрессный переход от известного для таких структур поляризационно нечувствительного режима фотопреобразования [1] к поляриметрическому [5], при котором в области углов падения  $\approx 80^\circ$  коэффициент фотоплетохроизма достигает значений  $\approx 70\%$ . С учетом спектральной зависимости фототока таких структур максимальное значение азимутальной фоточувствительности  $\Phi_I \approx \approx 32 \text{ мА/Вт} \cdot \text{град}$  достигается в окрестности  $\hbar\omega \approx 2.5 \text{ эВ}$ . Следовательно, р-п-структуры на основе фосфида галлия могут найти применение в новой для них области - поляризационной фотоэлектронике.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Полупроводниковые фотоприемники. Анисимова И.Д., Викулин И.М., Зайтов Ф.А., Курмашев Ш.Д./Под ред. В.И. Стафеева. М., 1984. 216 с.
- [2] Melbaev V.D., Durdumradova M.G., Berkeliev A., Cornikova O.V. // Crystal Properties and Preparation. Trans. Tech. Publications, Switzerland-Germany-UK-USA. 1991. V. 32-34. P. 573-575.

- [3] Конников С.Г., Мелебаев Д., Рудь В.Ю., Федоров Л.М. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 12. С. 11-15.
- [4] Ландсберг Г.С. Оптика. М., 1976. 926 с.
- [5] Рудь Ю.В. // Изв. вузов. Физика. 1986. Т. 29. В. 8. С. 68-83.
- [6] Рудь Ю.В., Скорюкин В.Е. // ФТП. 1983. Т. 17. В. 3. С. 426-430.
- [7] Уханов Ю.И. Оптические свойства полупроводников / Под ред. В.М. Тучкевича. М., 1977. 366 с.
- [8] Пихтин А.Н. Физические основы квантовой электроники и оптоэлектроники. М., 1983. 304 с.

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

Поступило в Редакцию  
13 января 1993 г.