

06.3; 07; 12

© 1992

ФОТОПЛЕОХРОИЗМ МНОГОСЛОЙНЫХ  $GaP$   
ПОВЕРХНОСТНО-БАРЬЕРНЫХ СТРУКТУРС.Г. Ко н н и к о в, Д. М е л е б а е в, В.Ю. Р у д ь,  
Л.М. Ф е д о р о в

Фоточувствительность структур с потенциальным барьером на полупроводниках  $A^3B^5$  исследуется давно и только в естественном излучении [1, 2]. Поэтому возможности этого класса приборов по отношению к поляризованному излучению в литературе вообще не обсуждались. В данной работе впервые предприняты исследования фоточувствительности поверхностно-барьерных структур металл- $GaP$  в линейно-поляризованном излучении, что может найти применение при создании устройств поляризационной фотоэлектроники. С целью обеспечения фоточувствительности таких структур к линейно-поляризованному свету изучалось наклонное падение излучения на приемную плоскость структур, которое сопровождается возникновением фотоплекроизма [3].

Для исследований использовались многослойные структуры металл- $n-GaP-n^+GaP-n-GaP$ : средний слой  $n^+GaP$  с толщинами 15–20 мкм, выполняющий функции разделительного слоя, изготовлялся методом газофазной эпитаксии [4] на подложке  $n^+GaP$  (100), основной слой  $n-GaP$  с толщинами 15–20 мкм и концентрацией свободных электронов  $n = N_d - N_a = 8 \cdot 10^{15} - 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$  при 300 К создавался методом жидкостной эпитаксии [5]. Полупрозрачный металлический барьерный переход на поверхности основного активного слоя формировался химическим осаждением тонких слоев золота с толщинами 130–140 Å по методике [6, 7]. Полученные структуры обладают высокой фоточувствительностью в области 0.23–0.4 мкм и имеют резкую красную границу в диапазоне  $\lambda > 0.44 \text{ мкм}$ . Используемый химический метод позволяет воспроизводимо получать эксплуатационно надежный полупрозрачный барьерный контакт слой металла ( $Au$ ) на поверхности  $GaP$  с площадями до  $1.2 \text{ см}^2$  [8].

Для изучения поляризационных параметров фоточувствительности структуры крепились на столик Федорова, позволяющий контролировать угол падения  $\theta$  и азимутальный угол  $\varphi$  с точностью не ниже  $\pm 30'$ . Соотношение площадей барьерного контакта и светового пучка выбиралось таким, что вплоть до углов падения  $\theta \approx 80^\circ$  поток излучения не выходил за пределы площади слоя  $Au$ . Фоточувствительность структур в поляризованном излучении измерялась в режиме фототока короткого замыкания и при обратных смещениях ( $U \leq 5 \text{ В}$ ), когда фототок был пропорционален плотности потока падающего излучения.

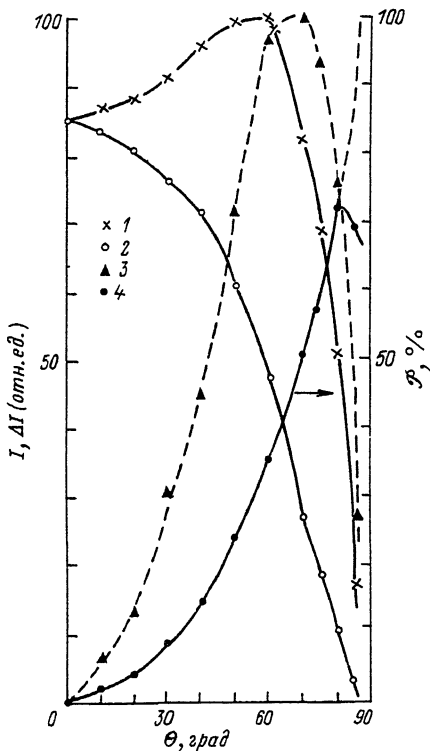


Рис. 1. Зависимости фототоков (1 -  $I''$ , 2 -  $I^\perp$ , 3 -  $\Delta I = I'' - I^\perp$ ) и коэффициента фотополюхризма (4 -  $\mathcal{P} = \frac{\Delta I}{I'' - I^\perp} \cdot 100\%$ ) многослойной структуры из  $GaP$  от угла падения линейно-поляризованного излучения ( $T = 300$  К,  $\lambda = 0.437$  мкм, освещение со стороны барьерного контакта).

Типичные зависимости фототоков обратно смещенной структуры приведены на рис. 1. В исследованной области fotocувствительности 2.2-3.7 эВ при освещении структур линейно-поляризованным излучением, когда электрический вектор световой волны  $\vec{E}$  ориентирован перпендикулярно плоскости падения (ПП), с увеличением угла падения  $\theta$  происходит плавное снижение фототока  $I^\perp$  во всех полученных структурах. Если же освещение структур производилось светом с поляризацией  $\vec{E} //$  ПП фототок  $I''$  с увеличением  $\theta$ , как видно из рис. 1, вначале возрастает, происходит через максимум в окрестности  $\theta \approx 60^\circ$ , а затем начинает резко спадать. Поведение зависимостей  $I''$  и  $I^\perp$  от угла  $\theta$  сходно с аналогичными зависимостями коэффициента отражения от поверхности золота [9]. Поэтому по аналогии можно считать, что и зависимости фототока от угла падения (рис. 1) следуют соотношениям Френеля и обусловлены

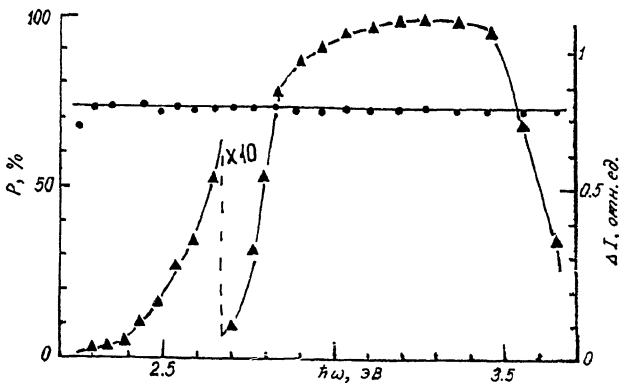


Рис. 2. Спектральные зависимости коэффициента фотоплекроизма (1) и поляризационной разности фототоков (2) для многослойной структуры из  $GaP$  ( $T=300$  К,  $\theta=80^\circ$ ).

зависимостью коэффициента прохождения световой волной границы воздух-приемная плоскость структуры от поляризации излучения. Здесь необходимо подчеркнуть, что возрастание  $I''$  с ростом угла  $\theta$  обусловлено снижением потерь на отражение от поверхности  $Au$  и имеет место только при  $\vec{E} // \text{ПП}$ . Наши исследования показывают, что величина эффекта возрастания  $I''$  связана с качеством поверхности слоя  $Au$  и в лучших структурах отношение  $I_{\theta=60^\circ} / I_{\theta=0^\circ} = 1.3$ . В случае низкого качества поверхности барьерного контакта характер зависимости  $I''(\theta)$  напоминает  $I^\perp(\theta)$ , т. е. эффект увеличения фототока  $I''$  исчезает. Очевидно, что анализ характера экспериментальных зависимостей  $I''(\theta)$  и  $I^\perp(\theta)$  с учетом упомянутых выше закономерностей может быть использован для экспрессного контроля качества осаждения слоев металла на поверхности полупроводника.

Максимальная величина поляризационной разности фототоков  $\Delta I = I'' - I^\perp$  (рис. 1, кривая 3) в полученных структурах  $Au-GaP$  достигается при углах  $\theta \approx 70^\circ$ . При  $\theta = 0^\circ$  в соответствии с правилами отбора для межзонных оптических переходов в  $GaP$  [1] поляризационная разность фототоков  $\Delta I$  и коэффициент фотоплекроизма  $\mathcal{P} = \left( \frac{\Delta I}{I'' + I^\perp} \right) 100\%$  исследованных структур оказываются равными нулю, т. е. фоточувствительность к поляризации отсутствует. С увеличением  $\theta$  коэффициент фотоплекроизма возрастает по закону  $\mathcal{P} \sim \theta^2$  в соответствии с [10]. Максимальное значение  $\theta = 74\%$  достигается при  $\theta = 80^\circ$  и, согласно [10], отвечает характерному для  $GaP$  показателю преломления  $n = 3.2$  [11].

Спектральные зависимости поляризационных параметров для типичной структуры при  $\theta = 80^\circ$  приведены на рис. 2. Главная закономерность этих исследований заключается в том, что во всей области фоточувствительности наблюдается неселективный характер

коэффициента фотоплеохроизма, что отвечает результатам анализа [10]. В широком диапазоне энергий падающих фотонов 2.3–3.7 эВ полученные структуры обладают постоянным значением  $\mathcal{P}$ , которое может экспрессно управляться посредством выбора величины  $\theta$  (рис. 1, кривая 4). Поляризационная разность  $\Delta I$  (рис. 2, кривая 2) имеет спектральный контур, отвечающий характерному для спектральной зависимости фототока этих структур в неполяризованном излучении. Максимальное значение  $\Delta I$  приходится на область фундаментального поглощения  $GaP$  и реализуется для полученных структур в диапазоне 2.9–3.4 эВ. Поскольку максимальная азимутальная фоточувствительность поляриметрического детектора  $\Phi_i \sim \Delta I$  [10], то очевидно, что полученные структуры могут найти применение в качестве фотоанализаторов в диапазоне длин волн 0.36–0.42 мкм. Максимальная величина азимутальной фоточувствительности структур  $Au-GaP$   $\Phi_i = 0.2-0.21$  А/Вт·град при  $T = 300$  К.

В заключение авторы выражают благодарность Ю.В. Жиляеву и Б.В. Царенкову за внимание к работе.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] П а н к о в Ж. Оптические процессы в полупроводниках. М., 1973. 450 с.
- [2] Б у з а н е в а Е.В. Микро-структуры интегральной электроники. М., 1990. 304 с.
- [3] Р у д ь Ю.В., М е д в е д к и н Г.А. // Авт. свид. СССР № 671634. БИ № 41. 1980. С. 291.
- [4] Ж и л я е в Ю.В., С е р г е е в Д.В., П о л е т а е в Н.К., С т а р о б и н е ц С.М., Ф е д о р о в Л.М., М е л е б а е в Д., Д у р д ы м у р а д о в а М.Г. Препринт. ФТИ – 1251. Л., 1988. 15 с.
- [5] М е л е б а е в Д., Ж и л я е в Ю.В., С е р г е е в Д.В., С т а р ц е в О.В., Ф е д о р о в Л.М. Матер. 9-го Междунар. совещ. по фотоэлектрическим и оптическим явлениям в твердых телах. Варна, 1989. С. 123.
- [6] Г о л ь д б е р г Ю.А., Н а с л е д о в Д.Н., Ц а р е н к о в Б.В. // ПТЭ. 1971. В. 3. С. 207–209.
- [7] В и г д о р о в и ч Е.Н., Г о л ь д б е р г Ю.А., Д у р д ы м у р а д о в а М.Г., М е л е б а е в Д., Ц а р е н к о в Б.В. // ФТП. 1991. Т. 25. В. 8. С. 1419–1422.
- [8] Ж и л я е в Ю.В., М е л е б а е в Д., П о л е т а е в Н.К., С е р г е е в Д.В., Ф е д о р о в Л.М. // Тез. докл. 1 Всес. конф. по физическим основам твердотельной электроники. Л., 1989. Т. А. С. 190–191.
- [9] А з з а м Р., Б а ш а р а М. Эллипсометрия и поляризованный свет. М., 1981. 584 с.

[10] M e d v e d k i n G.A., R u d Ya.V., T a i-  
r o v M.A. // Ph.st. sol.(a). 1989. V. 115. N 1.  
P. 11-50.

[11] Физико-химические свойства полупроводниковых веществ (Спра-  
вочник) М., 1979. 339 с.

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

Поступило в Редакцию  
25 мая 1992 г.