

06.3; 07; 12

© 1992

ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНО-БАРЬЕРНЫХ СТРУКТУР Ni - p - $GaAs$

С.Г. Конников, Г.Д. Мелебаева,
 Д. Мелебаев, В.Ю. Рудь,
 М. Сергинов

Недавно было установлено, что при наклонном падении линейно-поляризованного излучения на поверхностно-барьерные структуры, полученные осаждением слоев золота на поверхность изотропных полупроводников A^3B^5 возникает наведенный фотоплекроизм [1-3]. Эти результаты продемонстрировали возможность применения структур с потенциальным барьером в изотропной среде в качестве высокочувствительных фотоанализаторов линейно-поляризованного излучения. В настоящей работе с целью выяснения роли природы металла на фотоплекроизм впервые предприняты поляризационные исследования фоточувствительности поверхностно-барьерных структур, представляющих собой контакт слоев никеля с поверхностью арсенида галлия.

Однослойные и двухслойные поверхностно-барьерные структуры создавались последовательным химическим осаждением слоев никеля или золота [4] либо никель-золота [5, 8] на поверхности эпитаксиальных слоев арсенида галлия p -типа проводимости с концентрацией свободных электронов $n = 10^{15} - 10^{17} \text{ см}^{-3}$ при 300 К. Эпитаксиальные слои выращивались методом жидкостной эпитаксии [6, 7] на подложках из p^+ - $GaAs$ ($p^+ = 2 \cdot 10^{16} - 3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$), ориентированных в плоскости (100). Достаточно устойчивые барьерные контакты слоев Ni толщиной 160-250 Å оказались фоточувствительными [8], обнаруживали высокую адгезию к поверхности эпитаксиальных слоев $GaAs$ и были зеркально-гладкими при высокой оптической однородности по площади $\sim 10 \text{ мм}^2$. Для возможности сопоставления результатов и получения выводов относительно роли отражения от металлов барьерного контакта на поверхность $GaAs$ наносили слой Ni или Au , либо слой Ni покрывали затем слоем Au . Результаты электрических и фотоэлектрических исследований свойств таких структур показали, что в зависимости от совершенства межфазной границы металл-полупроводник высота потенциального барьера (φ_B) структур Ni - p - $GaAs$ ($n = N_d - N_a = 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$) изменяется от 0.71 до 0.92 эВ (300 К).

Все поверхностно-барьерные структуры в естественном излучении при освещении через полупрозрачный барьерный контакт обнаруживают широкополосный фотоответ с токовой фоточувствительностью по отношению к интенсивности излучения $S_I = 0.12 \text{ А/Вт}$ (Ni - p - $GaAs$), $S_I = 0.15 \text{ А/Вт}$ (Au - Ni - p - $GaAs$) и $S_I = 0.14 \text{ А/Вт}$ (Au - p -

GaAs) при $T = 300$ К. Исследование в линейно-поляризованном излучении показывают, что поляризационная фоточувствительность наступает только при наклонном падении излучения на приемную плоскость структур. Зависимости коэффициента фотоплеохроизма $\mathcal{P} = \frac{I'' - I^\perp}{I'' + I^\perp} \cdot 100\%$, фототоков в поляризациях $\vec{E} // \text{ПП}$ и $\vec{E} \perp \text{ПП}$, а также поляризационной разности фототоков $\Delta I = I'' - I^\perp$ ¹ для типичной поверхностно-барьерной структуры Ni-p-GaAs от угла падения излучения θ приведены на рис. 1. Видно, что фототок I'' с ростом $\theta > 0^\circ$ вначале увеличивается, проходит через максимум при $\theta \approx 70^\circ$, а затем обнаруживает резкий спад. В то же время можно видеть, что фототок I^\perp с ростом θ непрерывно понижается. Эти закономерности в изменении фототоков в общем согласуются с характером аналогичных зависимостей коэффициентов отражения R'' и R^\perp , которые подчиняются соотношениям Френеля [9]. Наблюдаемое отношение $I''_{70^\circ}/I''_{0^\circ} = 1.46$ может быть отнесено на счет

устранения потерь на отражение при достижении псевдобрюстеровского угла для поляризации $\vec{E} // \text{ПП}$. Было установлено, что указанное отношение фототоков характерно для наиболее совершенных среди изученных слоев никеля. При ухудшении качества поверхности слоя это отношение обычно падает настолько, что для плохой поверхности никеля зависимость становится такой же, как для I^\perp . Поляризационная разность фототоков, как следует из рис. 1, появляется при $\theta > 0^\circ$ и становится максимальной в окрестности $\theta \approx 75-80^\circ$. Этот угол θ_{max} обеспечивает максимальную поляризационную фоточувствительность при использовании структур Ni-p-GaAs в качестве поляриметрических фотодетекторов. Коэффициент фотоплеохроизма, как видно из рис. 1, следует квадратичной зависимости $\mathcal{P} \sim \theta^2$, как и в случае структур с барьерным контактом из золота [2]. Так, при $\theta \approx 85^\circ$ наведенный фотоплеохроизм для барьера из Ni достигает $\sim 67\%$, что близко к сообщаемому в работе [2] значению для золота.

На рис. 2. представлены также типичные результаты измерений зависимостей I'' , I^\perp , \mathcal{P} , ΔI для нескольких структур, в которых на поверхность слоя из Ni был нанесен дополнительно слой Au или на поверхность GaAs наносился только слой Au . Видно, что характер представленных здесь характеристик в общем такой же, что и для структур с однослойным барьерным контактом из Ni . Имеющиеся различия только количественного характера и касаются в основном величин отношения $\Delta I/\Delta I_{\text{max}}$, угла θ_{max} и коэффициента \mathcal{P} при фиксированном значении θ (см. таблицу). Эти различия определяются, в первую очередь, величиной токовой фоточувствительности S_I и совершенством наружной поверхности слоя

¹ - Фототоки короткого замыкания I'' и I^\perp отвечают ориентации электрического вектора световой волны E параллельной или перпендикулярной плоскости падения (ПП) излучения на приемную плоскость структур.

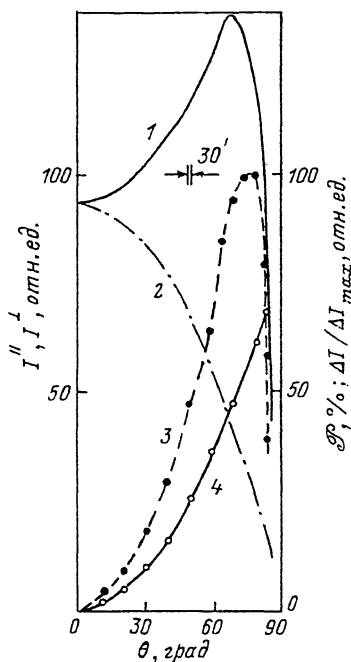


Рис. 1. Зависимости фототоков (1 - $\vec{E} // \text{ПП}$, 2 - $\vec{E} \perp \text{ПП}$), их поляризационной разности (3) и коэффициента фотоплеохризма (4) для структур Ni-p-GaAs при $T = 300 \text{ K}$ ($\lambda = 0.87 \text{ мкм}$).

барьерного металла. Очевидно, что анализ этих параметров может быть использован для экспрессного контроля оптического качества слоя металла, формирующего границу со средой, из которой излучение падает на структуру.

Типичные спектральные зависимости поляриметрических характеристик ΔI и P для структур металл-p-GaAs представлены на рис. 3. Спектральный контур поляризационной разности фототока оказался нечувствительным к тому, какой металл (Ni или Au) образует границу структуры с воздухом. Он полностью определялся электронным спектром GaAs , тогда как величина ΔI отражает качество потенциального барьера. Коэффициент наведенного фотоплеохризма во всей спектральной области фоточувствительности исследованных структур, как и для других барьеров этого типа [1-3], оказывается практически постоянным, причем его величина легко контролируется посредством управления значением $0^\circ < \theta < 90^\circ$.

Таким образом, полученные поляриметрические параметры однослойных и двухслойных структур металл-GaAs свидетельствуют о возможностях экспрессного перехода от известного для этих барьеров поляризационно-нечувствительного режима фотопреобразователя ($\theta = 0^\circ$) к режиму поляриметрического широкополосного фото-

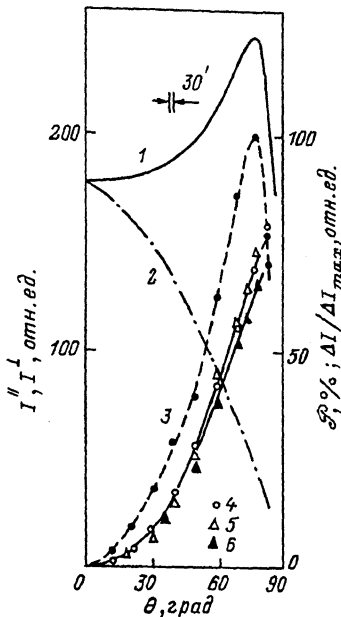


Рис. 2. Зависимости поляризационных параметров структур $Au-Ni$ - $p-GaAs$ (1-5) и Au - $p-GaAs$ (6) при $T = 300$ К. (I'' - 1, I^I - 2, $\Delta I/\Delta I_{max}$ - 3, ρ - 4-6 N образца: 1-4 - 2, 5 - 1, 6 - 3 $\lambda = 0.87$ мкм).

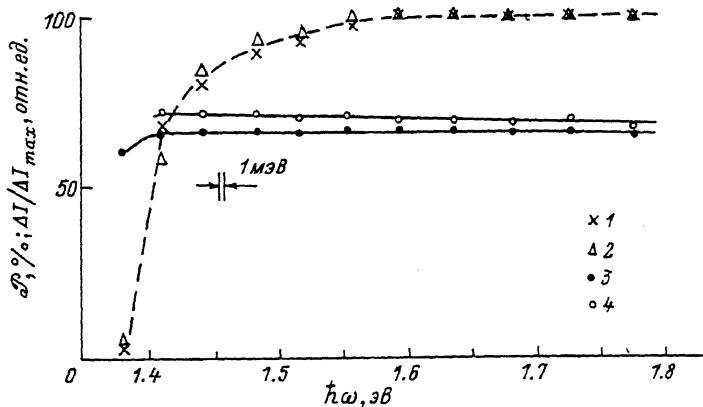


Рис. 3. Спектральные зависимости поляризационной разности фототока (1, 2) и коэффициента фотохроизма (3, 4) структур Ni - $p-GaAs$ (2, 4) и $Au-Ni$ - $p-GaAs$ (1, 3) при $T = 300$ К (освещение со стороны барьерного контакта; θ , град: 1, 3 - 75, 2, 4 - 80).

Поляриметрические характеристики структуры металл- $GaAs$ ($T = 300\text{ K}$)

Барьерный контакт	$d_c, \text{ \AA}$	$S_{I_0}, \text{ A/Вт}$	$\theta_{max}, \text{ град}$	$\Delta I/\Delta I_{max}$	$\rho, \%$ ($\theta = 80^\circ$)	$\Phi_I,$ A/Вт, град ($h\nu = 1.5 \text{ эВ}$)
Ni	130-180	0.12	77	1.46	61	0.15
Ni-Au*	160-220	0.16	75-78	1.46	68-74	0.22
Au	100-150	0.11	70	1.30	64	0.14
Au [2]	100-150	0.08	68	-	62	0.12

* Вначале на поверхность $GaAs$ осаждается слой Ni ($d_c \approx 100-120 \text{ \AA}$), затем слой Au ($d_c \approx 60-100 \text{ \AA}$).

преобразования ($\theta > 0^\circ$), величина азимутальной фоточувствительности которого задается углом падения линейно-поляризованного излучения.

В заключение авторы выражают благодарность Б.В. Царенкову и В.Е. Челнокову за внимание к работе.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Конников С.Г., Мелебаев Д., Рудь В.Ю., Федоров Л.М. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 12. С. 11-15.
- [2] Конников С.Г., Мелебаев Д., Рудь В.Ю., Сергинов М. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 12. С. 39-43.
- [3] 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.
- [4] Беркелиев А., Гольдберг Ю.А., Мелебаев Д. // Изв. АН СССР. сер. ФТХ и ГН. 1975. № 6. С. 44-49.
- [5] Беркелиев А., Гольдберг Ю.А., Мелебаев Д., Царенков Б.В. // ФТП. 1976. Т. 10. В. 8. С. 1532-1534.
- [6] Беркелиев А., Мелебаев Д. // Изв. АН СССР. Сер. ФТХ и ГН. 1976. № 5. С. 33-39.
- [7] Ataev J., Berkeliev A., Durdimiradova M.G., Mелебаев D. // 3rd Conference on Physics and Technology of CaAs and other III-V Semiconductors. Tatranska Lomnica, CSSR, 1988. P. 160-163.
- [8] Мелебаева Г.Д., Мелебаев Д., Агаев Я., Гольдберг Ю.А., Попов И.В., Сергинов М. // Тез. докл. 11 Всес. конф. по фотоэлектрическим явлениям в полупроводниках. Ашхабад. 1991. С. 200-201.
- [9] Ландсберг Г.С. Оптика. М., 1976. 926 с.

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

Поступило в Редакцию
2 декабря 1992 г.