

06.3; 07

© 1993

СЕЛЕКТИВНЫЙ ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В СТРУКТУРАХ *Au-n-GaAs*С.Г. Конников, Г.Д. Мелебаева,
Д. Мелебаев, В.Ю. Рудь,
Ю.В. Рудь, М. Сергинов

Начатые недавно исследования фоточувствительности поверхностно-барьерных структур на основе полупроводников A^3B^5 в линейно-поляризованном излучении ЛПИ привели к обнаружению наведенного фотоплетохроизма, параметры которого указывают на перспективность применения этих материалов в поляризационной фотоэлектронике [1-3]. Указанный цикл исследований характеризуется тем, что освещение структур осуществлялось, как правило, со стороны барьерного контакта, и это позволило, в итоге, реализовать широкополосный режим фотоанализатора. В настоящей работе представлены результаты впервые выполненных экспериментальных исследований поляриметрического эффекта в структурах *Au-n-GaAs*, когда в качестве приемной плоскости используется противоположная барьерному контакту свободная поверхность кристалла арсенида галлия, что дало возможность перейти к узкополосному режиму фотоанализатора без каких-либо изменений в его конструкции.

Поверхностно-барьерные структуры создавались обычным методом химического осаждения тонких слоев палладий-золота (100-150 Å) [4, 5] на зеркально-гладкую поверхность эпитаксиальных слоев *GaAs* с концентрацией свободных электронов $n = 10^{15} - 10^{16} \text{ см}^{-3}$ (10-30 мкм), которые выращивались на подложках (100) полуизолирующего арсенида галлия [6]. Омический и барьерный контакты изготавливались на одной и той же плоскости эпитаксиального слоя. Барьерный контакт формировался в углубленной поверхности эпитаксиального слоя арсенида галлия [7]. После это-

го для выделения длинноволнового фотоэффекта на подложке вытравливалось окно [8], а затем структура снабжалась токовыми выводами (рис. 1) и монтировалась на столике Федорова таким образом, что имелась возможность изменять ориентацию освещаемой плоскости (100) пленки арсенида галлия относительно падающего пучка. Методика поляризационных измерений fotocувствительности аналогична описанной в работе [9]. Типичные экспериментальные результаты измерений fotocувствительности структур $Au-n-GaAs$ в линейно-поляризованном излучении при его наклонном падении со стороны слоя арсенида галлия приведены на рисунках 1-3 и заключаются в следующем.

При освещении полученных структур со стороны $GaAs$ спектральные зависимости фототока короткого замыкания (рис. 1) состоят из доминирующей узкой несимметричной полосы (полная ширина на полувысоте $\delta = 20-24$ мэВ, длинноволновая и коротковолновая ширины полосы $\delta_{дв} = 15-17$ мэВ и $\delta_{кв} = 5-7$ мэВ) с максимумом при $\hbar\omega \approx 1.38$ эВ и протяженной области практически неселективной fotocувствительности при $\hbar\omega \approx 1.44$ эВ. Длинноволновая селективная компонента fotocувствительности при $\hbar\omega \approx 1.38$ эВ обусловлена околосредним фотоактивным поглощением в $GaAs$, а резкий коротковолновый спад при этом вызван началом межзонного поглощения, приводящего к удалению слоя фотогенерированных носителей от активной области структуры и понижению фототока. Смены спада фототока небольшим возрастанием при $\hbar\omega > 1.42$ эВ с выходом на некоторое слабо зависимое от энергии фотонов значение свидетельствует о том, что толщина нестравленного слоя не превышает длину диффузионного смещения фотодырок в $n-GaAs$ и поэтому фототок не спадает до нуля. Следует подчеркнуть, что энергетическое положение ступеньки в спектральной зависимости фототока при $\hbar\omega \approx 1.44$ эВ соответствует ширине запрещенной зоны $GaAs$ и поэтому коротковолновый участок практически неселективного фотоответа структур при указанной геометрии освещения можно связывать с фундаментальным поглощением в арсениде галлия. В таком случае, отсутствие выраженного коротковолнового спада фототока свидетельствует о высокой эффективности процессов фотопреобразования в изученных структурах,

Как видно из рис. 1, при освещении структур линейно-поляризованным излучением со стороны $GaAs$ вдоль нормали (кривая 1), спектральные зависимости фототока не зависят от положения плоскости поляризации, что находится в соответствии с правилами отбора для межзонных оптических переходов в $GaAs$. При отклонении направления падения пучка ЛПИ от нормали фототок структур начинает зависеть от угла φ между электрическим вектором световой волны \vec{E} и плоскостью падения (ПП) излучения по периодическому закону

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

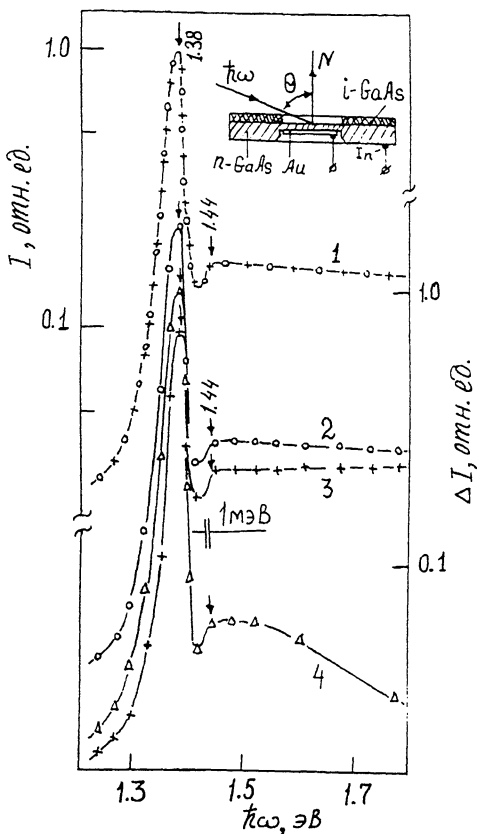


Рис. 1. Спектральные зависимости фототока короткого замыкания (1-3) и поляризационной разности фототока (4) поверхностно-барьерной структуры $Au-n-GaAs$ при освещении со стороны полупроводника линейно-поляризованным излучением ($T = 300\text{ K}$, θ , град: 1 - 0; 2 - 4; 3 - 75. о - $\vec{E} \perp \text{ПП}$. + - $\vec{E} \parallel \text{ПП}$. На вставке указана схема структуры и геометрия ее освещения).

где значки „//” и „ \perp ” отвечают $\vec{E} \parallel \text{ПП}$ и $\vec{E} \perp \text{ПП}$, а $\varphi = 0$ соответствует поляризации $\vec{E} \parallel \text{ПП}$. На рис. 1 (кривые 2, 3) приведен также пример типичных спектральных зависимостей фототока в поляризациях $\vec{E} \parallel \text{ПП}$ и $\vec{E} \perp \text{ПП}$ при угле падения $\theta \approx 75^\circ$. Видно, что во всей исследованной спектральной области имеет место $I^{\parallel} > I^{\perp}$ и поляризационная разность фототоков $\Delta I = I^{\parallel} - I^{\perp}$ сохраняет положительный знак (рис. 1, кривая 4). Оказалось, что аналогичный характер спектральных зависимостей ΔI наблюдается при всех углах падения $0^\circ < \theta < 80^\circ$. При этом, как видно из рис. 1, в спектральных зависимостях фототока при $\theta > 0^\circ$ для обеих поляризаций

сохраняются те же особенности, что и в случае падения ЛПИ на приемную плоскость структур вдоль нормали ($\theta = 0^\circ$). Спектральная зависимость ΔI "тяготеет" к спектральной зависимости I'' , что отражает факт $I'' > I^\perp$.

Если провести сравнение рассмотренных выше результатов с известными для структур на анизотропных полупроводниках [10, 11], то сразу следует обратить внимание на следующее весьма существенное отличие между спектральными зависимостями таких структур в случае их освещения со стороны полупроводника. Из-за дихроизма оптического поглощения в прилегающей к активной области структур толще анизотропного полупроводника знак поляризационной разности фототока в области сильного поглощения меняет знак по отношению к оптическому дихроизму. В рассматриваемом нами случае вследствие отсутствия дихроизма поглощения в $GaAs$ знак ΔI остается положительным и в глубине фундаментального поглощения. Поскольку поляризационная разность фототока играет роль одного из главных параметров при использовании структуры в качестве фотоанализатора, то из селективности спектральной зависимости ΔI при освещении барьеров $Au-n-GaAs$ со стороны полупроводника вытекает и вывод о возможности их использования в качестве поляриметрических фотодетекторов на узкую ($\delta = 20$ мэВ при 300 К) спектральную область. Для управления ее энергетическим положением можно применять как изменение толщины пластины полупроводника с фиксированным атомным составом, так и изменение атомного состава в различных системах твердых растворов из A^3B^5 .

Изменение угла падения ЛПИ на приемную плоскость структур в области энергии фотонов, отвечающей максимуму фоточувствительности, дает возможность управлять значениями поляризационной разности фототока и коэффициента фотополюхризма (рис. 2). Эти зависимости такие же, как и при освещении структур $Au-n-GaAs$ со стороны барьерного слоя золота [1]. Характерные особенности этих зависимостей следующие. При $\theta = 0^\circ$ зависимости $\Delta I(\theta)$ и $\rho(\theta)$ выходят из нуля, что является типичным для фотоактивного поглощения в изотропной среде, которая в данном случае представлена кристаллом $GaAs$. Максимум ΔI достигается вблизи $\theta = 70^\circ$, что отвечает псевдобрюстеровскому углу для $GaAs$ [1]. Коэффициент фотополюхризма ρ , как видно из рис. 2, растет с увеличением угла падения по закону $\rho \sim \theta^2$, достигая $\rho = 45\%$ в окрестности $\theta \approx 75^\circ$.

Как видно из рис. 3, коэффициент фотополюхризма при энергиях фотонов из интервала от 1.12 до 1.39 эВ, включающем и область максимальной фоточувствительности структур $Au-n-GaAs$, остается практически постоянным, что и наблюдалось ранее при освещении таких структур со стороны барьерного контакта во всей области фоточувствительности [1-3]. Переход к освещению поверхностно-барьерной структуры со стороны полупроводника вызывает резкий коротковолновый спад фотополюхризма, когда наступает сильное поглощение значения вследствие начала прямых межзон-

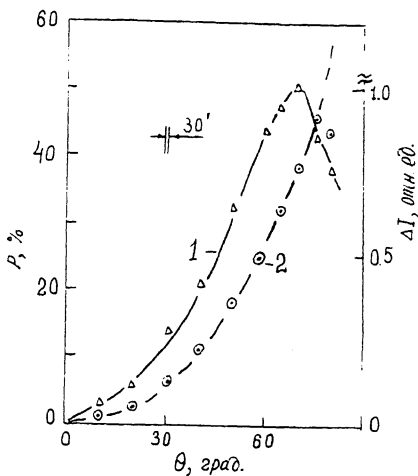


Рис. 2. Зависимости поляризационной разности фототока (1) и коэффициента фотохроизма (2) от угла падения ЛПИ со стороны полупроводника на структуру $Au-n-GaAs$. ($T = 300\text{ K}$, $\lambda = 0.900\text{ мкм}$).

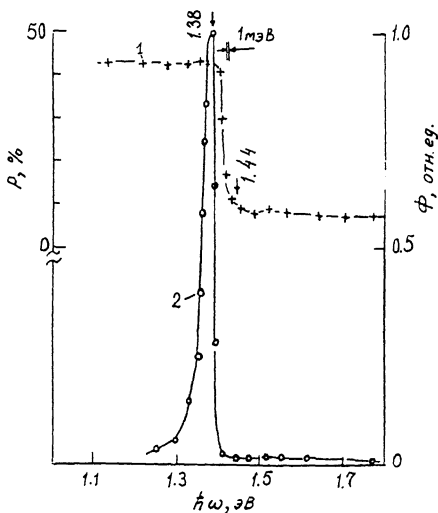


Рис. 3. Спектральные зависимости коэффициента фотохроизма (1) и относительной азимутальной фоточувствительности (2) структуры $Au-n-GaAs$ при освещении ЛПИ со стороны полупроводника. ($T = 300\text{ K}$, $\theta = 75^\circ$).

ных переходов в $GaAs$. Однако, знак коэффициента фотоплетохроизма при этом остается неизменным, что также является существенным отличием от барьерных структур в анизотропных кристаллах с решеткой халькопирита, для которых знак коэффициента фотоплетохроизма в подобном случае всегда инвертирует относительно знака оптического дихроизма, а амплитуда ρ стремится к 100% [10, 11].

Типичная спектральная зависимость максимальной азимутальной фоточувствительности [12] исследованных структур (рис. 3, кривая 2) свидетельствует об их пригодности для применений в качестве селективных поляриметрических фотодетекторов при освещении со стороны полупроводника, либо с учетом результатов 1 широкополосных поляриметрических фотодетекторов при освещении со стороны барьерного контакта. Максимальная азимутальная фоточувствительность таких структур достигает ≈ 3 мА/В.град ($\hbar\omega \approx 1.38$ эВ, $\theta \approx 75^\circ$, $T = 300$ К).

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., Сергинов М. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 12. С. 39-43.
- [2] Конников С.Г., Мелебаев Д., Рудь В.Ю., Федоров Л.М. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 12. С. 11-15.
- [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., Царенков Б.В. // ФТП. 1976. Т. 10. В. 8. С. 1532-1534.
- [5] Мелебаев Д., Беркелиев А., Корнякова О.В., Ильясов У.И. // Тез. докл. II Всес. конф. по фотоэлектрическим явлениям в полупроводниках. Ашхабад. 1991. С. 328.
- [6] Ataev J., Berkeliev A., Durdumiradova M.G., Mелебаев D. // 3-rd Conference on Physics and Technology of GaAs and other III-V Semiconductors Tatraska Lomnica. 1988. P. 160-163.
- [7] Гольдберг Ю.А., Дурдымурадова М.Г., Мелебаев Д., Царенков Б.В. // Тез. докл. У Всес. конф. по физическим процессам в полупроводниковых гетероструктурах. Калуга. 1990. С. 143-144.
- [8] Мелебаева Г.Д., Мелебаев Д., Агаев Я., Гольдберг Ю.А., Попов И.В., Сергинов М. // Тез. докл. II Всес. конф. по фотоэлектрическим явлениям в полупроводниках. Ашхабад. 1991. С. 200-201.

- [9] Абдурахимов А.А., Рудь Ю.В., Скорюкин В.Е., Ундалов Ю.К. // ЖПС. 1982. Т. 37. В. 3. С. 463-466.
- [10] Рудь Ю.В. // Изв. вузов. Физика. 1986. В. 8. С. 68-83.
- [11] Рудь Ю.В., Масагутова Р.В. // ФТП. 1980. Т. 14. С. 731-735.
- [12] Medvedkin G.A., Rud Yu.V., Tairov M.A. // Ph. St. Gol. (a). 1989. V. 115. N. 1. P. 11-50.

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

Поступило в Редакцию
5 января 1993 г.