



**ИЗУЧЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ  
НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ БАРЬЕРОВ ШОТТКИ АУ-ПАЛЛАДИЙ-N-GAP**

**L. Boudjemila<sup>1</sup>, В.Ю. Рудь<sup>2,3</sup>, Д. Мелебаев<sup>4</sup>, В.В. Давыдов<sup>5</sup>, М. Шамухаммедова<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>*University of science and technology Houari Boumediene Bab Ezzouar  
Algiers, 16111, Algeria*

<sup>2</sup>*Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии  
Московская область, р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, владение 5, 143050, Россия*

<sup>3</sup>*ФТИ им. А.Ф. Иоффе,*

*г. Санкт-Петербург, Политехническая, 26, 195251 Россия*

<sup>4</sup>*Туркменский государственный университет им. Махтумкули*

*г. Ашхабад, пр-т Сапармурата Туркменбаши, 31 Туркменистан*

<sup>5</sup>*Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого*

*ул. Политехническая 29, Санкт-Петербург, 195251, Россия*

**e-mail: lariessai21@gmail.com**

Барьеры Шоттки (БШ) на основе фосфида галлия (GaP) давно привлекают внимание исследователей как перспективные структуры для разработки различного рода радиационно-стойких электронных и фотоэлектрических приборов, в том числе высокотемпературных приборов, приборов высокочастотной силовой электроники, ультрафиолетовой (УФ) фотоэлектроники и солнечной энергетики [1-5] и т.д.

Для создания фотоприемников коротковолнового (УФ) излучения перспективны структуры металл (m)-полупроводник (s) с барьером Шоттки на основе фосфида галлия. Они просты и дешевы в изготовлении, надежны в эксплуатации, поскольку GaP-хорошо освоенный промышленностью широкозонный полупроводник. Высокая фоточувствительность прибора в УФ области спектра обеспечивается большим значением пороговой энергии прямых оптических переходов GaP ( $E_g=2.8$  эВ, 300 К). Фоточувствительность (ФЧ) структур металл – GaP с барьером Шоттки в УФ области ( $h\nu=3.1-6.0$  эВ) спектра изучена лучше, чем в видимой области ( $h\nu=1.5-3.1$  эВ) спектра. Исследование видимой области спектра структур металл-GaP позволяет получить важную информацию о фундаментальных параметрах барьера Шоттки и параметрах зонной структуры фосфида галлия. Такие исследования дают возможность связать оптические свойства полупроводников с фотоэлектрическими характеристиками фотодиодов Шоттки.

Настоящая работа посвящена исследованию фотоэлектрических свойств поверхностно-барьерных (ПБ) структур Au-палладий-n-GaP в видимой области спектра под действием как естественного, так и поляризованного излучения, с целью получения новых данных о высоте барьера, зонной структуре GaP и межфазной границе раздела металл-полупроводник .

Объектом исследования служили наноструктурированные структуры Au-палладий-n-GaP. Исходным материалом для изготовления структур служили ориентированные в кристаллографической плоскости (100) пластинки n-GaP [ $n=(0.1-5) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ , 300 К] толщиной

350-400 мкм, вирощені методом Чохральського. На одній поверхні GaP створювався омический контакт 97% In+3% Te. На другій поверхні спочатку формувалася проміжний тунельно-прозорий палладієвий шар (Pd) товщиною 20-30 Å, потім створювався бар'єрний контакт нанослою золота (Au) товщиною 100-120 Å. Проміжний шар Pd і бар'єрний контакт (БК) створювалися хімічним методом [6,7]. Перед хімічної металізацією поверхню n-GaP оброблялася в бромметиловому травителі 4% Br<sub>2</sub>+96% CH<sub>3</sub>OH [8-9]. Між напівпровідником (GaP) і металом (Au) тонкий шар Pd виконує функцію бар'єра для запобігання дифузії Au в бік GaP, і сприяє покращенню якості межі розділу метал-напівпровідник. Електрофізичні параметри і межі розділу в m-s-структурах стабільно зберігаються впродовж довгих років. Площа бар'єрного контакту (S) для отриманих БШ становила 0.1-1.0 см<sup>2</sup>.

К омическому і бар'єрному контактам припаивалися токоотводи з срібла з діаметром 0.05 мм, після чого вимірювалися вольт-фарадні (C-U) і вольт-амперні (I-U) характеристики, а також спектри фототоку короткого замикання  $I_{f0}=f(h\nu)$ . Всі вимірювання були виконані при кімнатній температурі (300 К).

Основні результати поляризаційних досліджень фоточувствителі, виконаних на ПБ структурах Au-Pd-n-GaP, представлені на рисунках 1 і 2. Головні закономірності поляризаційних вимірювань фототоку складають наступне. При падінні ЛПІ випромінювання ( $\Theta \neq 0^\circ$ ) з боку Au в досліджуваних структурах виникає широкополосний наведений фотоплекроїзм, т.е. в досліджуваній області спектра фототок структур виявляє залежність від азимутального кута  $\phi$  між електричним вектором світлової хвилі E і площиною падіння (ПП).

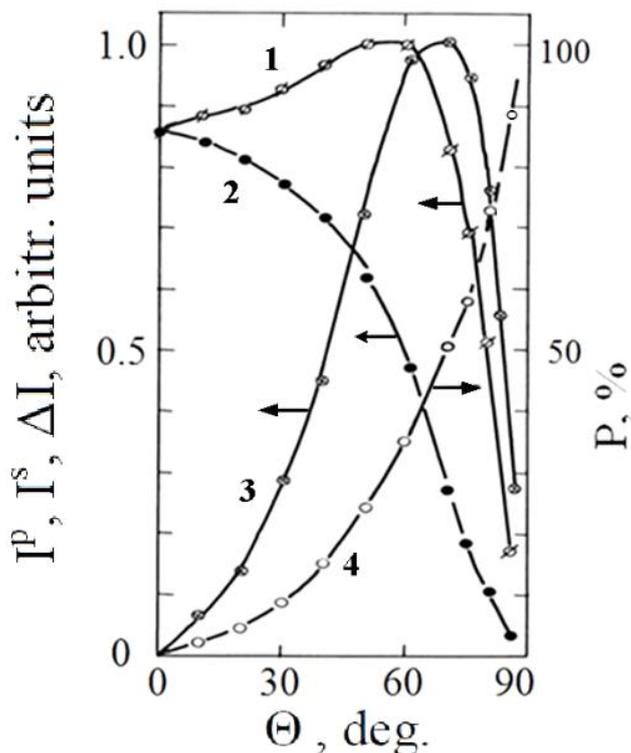


Рисунок 1. Залежності фототоку (1- $I_p$ , 2- $I_s$ , 3- $\Delta I=I_p - I_s$ ) і коефіцієнт фотоплекроїзму (4-P) багаторівневих структур (Au-Pd-n-GaP) від кута падіння ЛПІ ( $T=300K$ ,  $\lambda=0,437$  мкм).

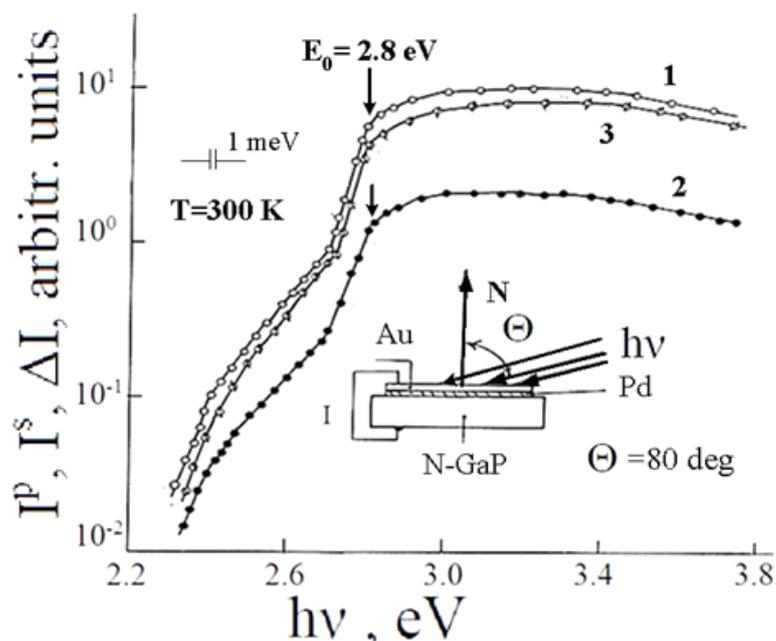


Рисунок 2. Спектральные зависимости фототока (1,3) поляризационных разности фототока (2) для структур Au-Pd-n-GaP угол падения  $\Theta=80^\circ$ .

На рис. 1 приведены зависимости фототоков (1 -  $I_p$ , 2 -  $I_s$ , 3 -  $\Delta I = I_p - I_s$ ) и коэффициента фотополюхризма [ $4 - P = (\Delta I / I_p + I_s) \cdot 100\%$ ] от угла падения излучения  $\Theta$  на приемную плоскость структур (фототок  $I_p$  и  $I_s$  отвечает освещению структур, когда  $E$  параллелен или перпендикулярен ПП). Например, если освещение структур производилось светом с поляризацией  $\vec{E}$ //ПП фототок  $I_p$  с увеличением  $\Theta$ , как видно из рис. 1, в начале возрастает, проходит через максимум в окрестности  $\Theta \approx 60^\circ$ , а затем начинает резко спадать.

Здесь необходимо подчеркнуть, что возрастание  $I_p$  с ростом угла  $\Theta$  обусловлено снижением потерь на отражение от поверхности Au и имеет место только при  $E$ //ПП. Наши исследования показывают, что величина эффекта возрастания  $I_p$  связана с качеством границы раздела и поверхности слоя Au, и в лучших структурах отношение  $I_{\Theta=60^\circ} / I_{\Theta=0^\circ} = 1.3$ . В случае низкого качества структур зависимость  $I_p(\Theta)$  напоминает  $I_s(\Theta)$  (рис. 1) и рис. 2 ( $I_s$ -кривая 2), т.е. эффект увеличения фототока  $I_p$  исчезает. Очевидно, что анализ характера экспериментальных зависимостей  $I_p(\Theta)$  и  $I_s(\Theta)$  с учетом упомянутых выше закономерностей может быть использован для экспертного контроля качества осаждения слоя металла на поверхность полупроводника и качества границы раздела металл-полупроводник [10,12].

Спектральная зависимость наведенного фотополюхризма в типичных ПБ структурах при углах падения  $\Theta=80^\circ$  приведена на рис.2. Длинноволновый край фототока как  $I_p$  так и  $I_s$  для структур Au-Pd-n-GaP отражает особенности зонной структуры GaP. С использованием зависимостей поляризационного фототока  $I_p$  от  $h\nu$  и  $I_s$  от  $h\nu$  по известной методике [13] определены  $E_g$  и  $E_0$  для GaP.

Измеренная величина наведенного фотополюхризма  $P$  зависит от угла падения  $\Theta$ , и с его увеличением растет по квадратичному закону  $P \sim \Theta^2$ . Поляризационный фототок во всех исследованных структурах подчиняется обобщенному закону Малюса и экспериментальные

результаты согласуются с результатом теоретического рассмотрения явления наведенного фотоплекроизма[13].

Исследуя фоточувствительность наноструктурированных структур типа Au-Pd-n-GaP в видимой области спектра можно получить важную информацию о параметрах потенциального барьера, зонной структуры полупроводника. Таким образом, промежуточный нанослой Pd (палладий) между GaP и Au толщиной 20-30 Å, создает в наноструктуре Au-Pd-n-GaP специфические свойства, имеющие важное научно-практическое значение.

#### **Литература:**

1. Nannichi V., Pearson G.L. Properties of GaP Schottky barrier diodes at elevated temperatures. Solid-State Electron.–Vol.12, №5. -pp.341-348.1969.
2. Гуткин А.А., Дмитриев М.В., Наследов. Фоточувствительность поверхностно-барьерных диодов Au-n-GaP в области спектра 1.4-5.2 эВ. // ФТП. – –Том.6, вып.3. -С.502-508. 1972..
3. Мелебаев Д. Гигантская фоточувствительность Au-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Fe)-n-GaP наноструктур в УФ области спектра . Инженерный журнал «Нанотехнология» Россия, Москва, №2(38). с.106-109. 2014..
4. Мелебаев Д. Фотоприемники УФ-излучения на основе наноструктур Au-окисел-GaP. Тр. Междунар. науч.-технч. конф. “Нанотехнологии функциональных материалов”. –Россия, г.Санкт-Петербург. -С.114-115. -2010.
5. Добровольский Ю.Г. Фотодиоды на основе GaP с повышенной чувствительностью в коротковольновой области УФ-спектра. Технология и конструирование в электронной аппаратуре. - №5. -С.31-34. 2012.
6. Беркелиев А., Гольдберг Ю.А., Мелебаев Д., Царенков Б.В. Фотоприемник видимого и ультрафиолетового излучения на основе GaAs<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub> поверхностно-барьерных структур. ФТП, - Т.10, вып.8, -С.1532-1534. -1976.
7. Konnikov S.G., Rud V.Yu., Rud Yu.V., Melebaev D., Berkeliev A., Serginov M. and Tilevov S. Photopleochroism of GaP<sub>x</sub>As<sub>1-x</sub> Surface-Barrier Structures. Jpn. J. Appl. Phys. –Vol.32, №3, - р.515-517.1993.
8. Мелебаев Д., Мелебаева Г.Д., Рудь В.Ю., Рудь Ю.В. Фоточувствительность и иопределение высоты барьеров Шоттки в структурах Au-n-GaAs. ЖТФ. —Т.78. Вып.1. –С.137-142. 2008.
9. Конников С.Т., Мелебаев Д., Рудь Ю.В. Поляриметрический эффект в GaP<sub>x</sub>As<sub>1-x</sub> поверхностно-барьерных структурах. ФТП, -. –Т.27, Вып.5, -С.757-761. 1993.
10. Fowler R.H. The analysis of Photoelectric Sensitivity curves for clean metals at various temperatures. // Phys. Rev. - Vol.38, №1, -p.45-56. 1931.
11. Spitzer W.G., Mead C.A. Conduction Band Minima of Ga(As<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub>). Phys. Rev. - -Vol.133, №3A, -p.A872-A875. 1964.
12. Беркелиев А., Гольдберг Ю.А.. Именков А.Н., Мелебаев Д., Розыева М.Х. Фотоэлектрический метод определения параметров варизонных полупроводников. // Изв. АН ТССР. Сер. ФТХ и ГН. -№1, -С.8-14.1986.
13. Кесаманлы Ф.П., Рудь Ю.В., Рудь В.Ю. Наведенный фотоплекроизм в полупроводниках. // ФТП, 33. 5. С. 514-535.1999.