

06;07;12

©1995

ГИБРИДНАЯ ИЗОТИПНАЯ ГЕТЕРОСТРУКТУРА p -InP- p -InGaAs С ДИОДОМ ШОТТКИ КАК ДЕТЕКТОР БЛИЖНЕГО ИК ИЗЛУЧЕНИЯ И ВОДОРОДА

*С.В.Слободчиков, Е.В.Руссу, Х.М.Салихов,
М.М.Мередов, А.И.Язлыева*

В течение ряда лет разрабатывались и были предложены различные виды диодных структур для создания фотоприемников ближнего ИК диапазона в интервале длин волн 0.8–1.6 мкм. Из соединений $A^{III}B^V$ для коротковолнового участка этого диапазона применялись GaAs, InP, тройные и четверные твердые растворы, а для длинноволнового — главным образом твердый раствор InGaAs. С использованием этого раствора разрабатывались фотодетекторы на основе диодов Шоттки [1], гетероструктур [2], лавинные фотодиоды [3]. Необходимость в создании фотоприемников этого диапазона в большей степени определялась разработками эффективных систем волоконно-оптической связи для диапазона волн 1.4–1.6 мкм. На протяжении ряда лет продолжают исследования диодных структур различного типа для детектирования водорода и водородосодержащих газов. В частности, на основе предложенного нами метода по применению фотоэффекта для решения этой задачи были опробованы диодные структуры на основе InP, InGaAs, Si [4–6].

В настоящем сообщении мы приводим некоторые результаты работ по созданию и исследованию гибридной структуры с использованием изотипной гетероструктуры p -InP- p -In_{0.53}Ga_{0.47}As и диода Шоттки для возможного использования для детектирования как ближнего ИК излучения, так и водорода.

Изотипная гетероструктура выращивалась на подложке ($p = 10^{18} \text{ см}^{-3}$) методом газофазной эпитаксии в хлоридной системе In-HCe-GaAs-H₂. На буферный слой p -InP ($p = 10^{17} \text{ см}^{-3}$) наращивался слой p -In_{0.53}Ga_{0.47}As толщиной ~ 1.5 мкм с концентрацией дырок $p = 3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и их подвижностью $\simeq 100 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ и далее осаждался слой p -InP толщиной ~ 1 мкм и концентрацией дырок $p = 1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Барьерный контакт к этому слою создавался осаждением палладия в вакууме $\sim 1 \cdot 10^{-5}$ Тор, и его площадь и толщина

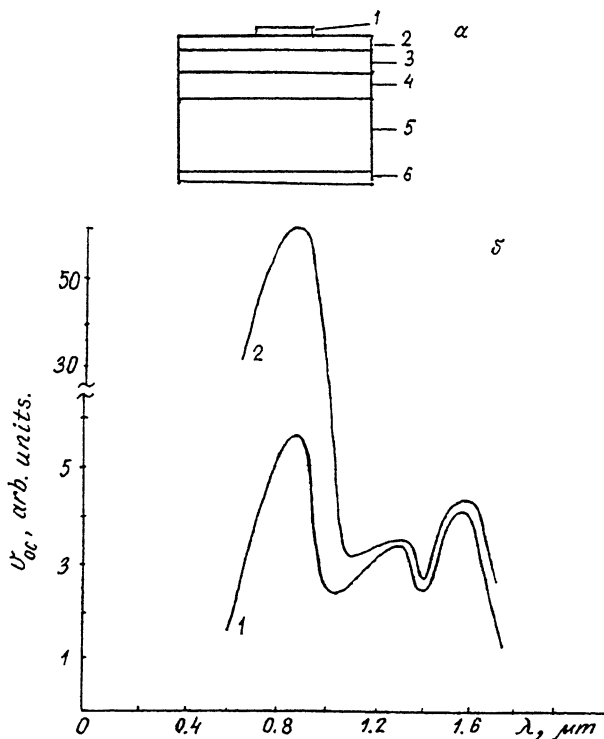


Рис. 1. Схема гибридной структуры — изотипный $p\text{-InP}$ – $p\text{-InGaAs}$ гетеропереход с диодом Шоттки Pd – $p\text{-InP}$ (а): 1 — Pd , 2 — $p\text{-InP}$, 3 — $p\text{-In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$, 4 — буферный слой $p\text{-InP}$, 5 — подложка $p\text{-InP}$, 6 — омический контакт $\text{Ag} + 5\%\text{Zn}$. Спектральная фотоэдс гибридной структуры (б): 1 — без воздействия газовой среды с водородом, 2 — под импульсным действием воздушной газовой среды с 0.5ptH_2 .

составляли соответственно $7.8 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2$ и 400 \AA . Омический контакт со стороны подложки к $p\text{-InP}$ создавался вакуумным осаждением сплава $\text{Ag} + 5\%\text{Zn}$ с последующим вплавлением при температуре 420°C . Схема структуры представлена на рис. 1, а.

Были проведены измерения спектральной фотоэдс холостого хода и влияния на нее газовой смеси с водородом, тока короткого замыкания I_{sc} в зависимости от приложенного смещения. На рис. 1, б представлены кривые спектрального распределения фотоэдс гибридной структуры и изменение его под импульсным действием воздушной газовой смеси с содержанием 0.5ptH_2 . Коротковолновая часть спектральной кривой с $\lambda_{\text{max}} = 0.90 \text{ мкм}$ определяется вкладом фотоэдс

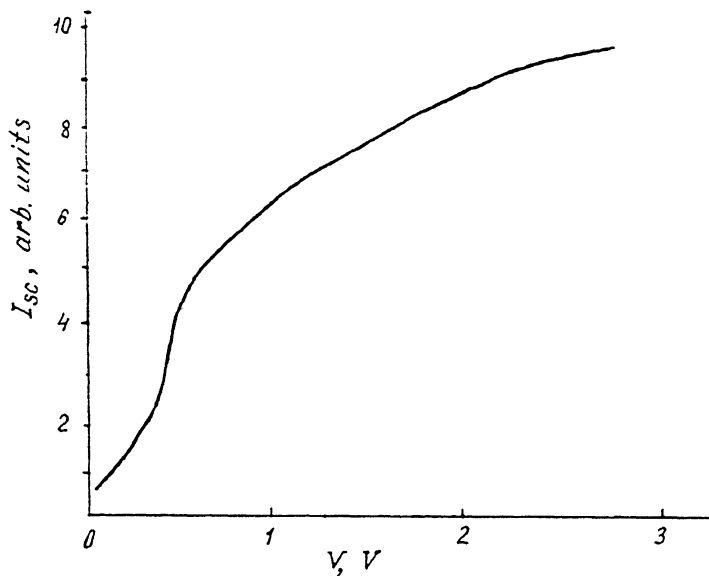


Рис. 2. Зависимость фототока от обратного смещения (+ на Pd).

диода Шоттки Pd-p-InP; более длинноволновая содержит основной максимум при $\lambda_{\max} = 1.55 \mu\text{м}$ и дополнительный при $\lambda_{\max} = 1.35 \mu\text{м}$, которые связаны с межзонными переходами в InGaAs и переходами InP-InGaAs с разделением электронно-дырочных пар на гетерогранице. Основное изменение (увеличение) фотоэдс под влиянием H_2 приходится, как и следовало ожидать, на область фотоответа диода Шоттки с $\lambda_{\max} = 0.90 \mu\text{м}$ и составляет 7–10 раз. Уменьшение обратного тока структуры (+ на Pd) составляло при этом 5–7 раз. Поскольку, как известно,

$$V_{oc} \approx \frac{nkT}{q} \ln \left(\frac{I_{sc}}{I_0} + 1 \right), \quad (1)$$

где n — коэффициент неидеальности, I_0 — темновой ток насыщения, то можно предположить, что, помимо снижения темнового тока I_0 вследствие роста барьера Шоттки $\varphi_b = \frac{nkT}{q} \ln \left(\frac{A^* T^2}{I_0} \right)$, дополнительный вклад вносит I_{sc} , определяемый неосновными носителями, электронами. Возрастание V_{oc} под действием H_2 практически безынерционно, спад же достигал ~ 3 мин, а время релаксации обратного темнового тока могло составлять, в зависимости от приложенного смещения, до 10 мин. Данные о причинах и механизме такой релаксации будут опубликованы позднее.

Фоточувствительность в обоих основных максимумах не очень сильно различается между собой, составляя в отдельных образцах при $\lambda_{\max}^{0.90}$ порядка $6 \cdot 10^{-2} A/W$ и $\lambda_{\max}^{1.55} - (2-4) \cdot 10^{-2} A/W$. Измерения зависимости тока короткого замыкания I_{sc} при освещении монохроматическим светом с $\lambda_{\max} = 1.55 \text{ мкм}$ от обратного смещения показали наличие усиления фототока (рис. 2), достигающее, например, при 3 В величины $G = 30$. Эффект усиления наблюдался также в [7]. Лишь очень слабое усиление имело место при освещении монохроматическим светом с $\lambda_{\max} = 0.90 \text{ мкм}$. Предварительные оценки показывают, что усиление фототока в данной гетероструктуре может быть связано либо с модуляцией светом высоты барьера у гетерограницы, либо с "пролетным" эффектом, когда время жизни τ_p существенно превышает время пролета t , либо и с тем и другим вместе. Изменение проводимости при освещении с учетом обоих эффектов, полагая, что дырочная компонента вносит основной вклад в фототок, может быть представлено [8]

$$\Delta\sigma = q\mu^* \Delta p - q^2 \frac{\Delta\psi}{kT} \exp\left(-\frac{q\psi}{kT}\right), \quad (2)$$

где ψ — высота моделируемого барьера у гетерограницы, а $\mu^* = \mu_0 \exp\left(-\frac{q\psi}{kT}\right)$. Тогда коэффициент усиления

$$G = (1 + B) \frac{\tau_p}{t}, \quad \text{где} \quad B = \frac{\Delta\mu^*/\mu^*}{\Delta p/p}, \quad (3)$$

учитывает влияние модуляции барьера на величину усиления. Крутой рост G на рис. 2 до $V = 1 \text{ В}$ можно связать с модуляцией высоты барьера, т. е. $B \gg 0$; данные работы [7] также могут быть согласованы с этим выводом. В нашем случае при $V > 1 \text{ В}$ в связи с уменьшением времени пролета все возрастающий вклад вносит "пролетный" эффект. Поскольку уровень шумов, как показали измерения, с ростом смещения оставался постоянным, то чувствительность структуры как фотодетектора в режиме усиления в интервале длин волн 1.4–1.6 мкм возросла более чем на порядок величины. Хотя пороговая чувствительность при детектировании как водорода при $\lambda_{\max} = 0.90 \text{ мкм}$, так и ИК излучения в интервале 1.4–1.6 мкм важна в обоих случаях, следует, однако, отметить, что для решения первой задачи во многих практических применениях требования могут быть менее жесткими. В таких случаях нет необходимости измерять предельно низкие концентрации газа. В решении же практических задач, связанных с регистрацией ИК излучения 1.4–1.6 мкм, предельная пороговая чувствительность

имеет решающее значение. Для повышения эффективности детектирования, безусловно, необходима оптимизация конструкции как в отношении толщины слоя палладия, так и толщины и электрических характеристик слоев $p\text{-InP}$ и $p\text{-In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$. Исследованные гибридные структуры на основе изотипных $p\text{-InP}$ - $p\text{-InGaAs}$ гетеропереходов с барьером Шоттки с палладиевым контактом представляют интерес для решения двойкой задачи — детектирования водорода и ближнего ИК излучения.

Список литературы

- [1] Kim J.-H., Li S.S., Figeroa L., Carruthers T.F., Wagner R.S. // *Electron Lett.* 1988. V. 24. N 17. P. 1067.
- [2] Chandrasekhar S., Campbell J.C., Dentai A.G., Toyner C.H., Qua G.J., Cuanck A.H., Feuer M.D. // *Electron Lett.* 1988. V. 24. N 23. P. 1443.
- [3] Gershoni D., Temkin H., Panish M.B. // *Appl. Phys. Lett.* 1988. V. 53. N 14. P. 1294.
- [4] Ковалевская Г.Г., Кратена Л., Мередов М.М., Маринова А.М., Слободчиков С.В. // *Письма в ЖТФ.* 1989. Т. 15. В. 12. С. 55.
- [5] Слободчиков С.В., Ковалевская Г.Г., Мередов М.М., Пенцов А.В., Руссу Е.В., Салихов Х.М. // *Письма в ЖТФ.* 1991. Т. 17. В. 15. С. 1.
- [6] Ковалевская Г.Г., Мередов М.М., Руссу Е.В., Салихов Х.М., Слободчиков С.В. // *ЖТФ.* 1993. Т. 63. В. 2. С. 185.
- [7] Takeda J., Takigawa S., Kondo M., Sasaki A. // *Jap. J. Appl. Phys.* 1984. V. 23. N 1. Part I. P. 84.
- [8] Petritz R.L. // *Phys. Rev.* 1956. V. 104. P. 1508.

Поступило в Редакцию
30 июня 1995 г.
