

## КОРОТКОВОЛНОВАЯ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПОВЕРХНОСТНО-БАРЬЕРНЫХ СТРУКТУР: ВЛИЯНИЕ ПРОМЕЖУТОЧНОГО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СЛОЯ

Вигдорович Е. Н., Гольдберг Ю. А., Дурдымурадова М. Г.,  
Мелебаев Д., Царенков Б. В.

Изучались спектры фоточувствительности поверхностно-барьерных структур GaP и  $\text{GaP}_{0.4}\text{As}_{0.6}$ , содержащих диэлектрический слой между полупроводником и металлом (толщина слоя варьировалась в пределах 10—100 Å).

Показано, что коротковолновая (соответствующая области сильного собственного поглощения полупроводника) фоточувствительность структур с диэлектрическим слоем толщиной  $\delta=30-60$  Å (этому соответствует коэффициент идеальности структур  $\beta=1.25-1.5$ ) существенно выше, чем у структур с очень тонким ( $\delta \approx 10$  Å) и относительно толстым ( $\delta \approx 100$  Å) диэлектрическими слоями.

1. Как известно, для создания фотоприемников ультрафиолетового излучения (длина волны  $\lambda \leq 400$  нм, энергия фотонов  $h\nu \geq 3.1$  эВ) используются поверхностно-барьерные структуры на основе широкозонных полупроводников АШВ<sup>v</sup>. Однако их фоточувствительность в коротковолновой соответствующей области сильного собственного поглощения полупроводника области спадает с ростом  $h\nu$ , что связано, вероятно, с переходом горячих электронов из полупроводника в металл [1].

Одним из возможных путей увеличения коротковолновой фоточувствительности может быть создание поверхностно-барьерных структур с тонким промежуточным диэлектрическим слоем между полупроводником и металлом. Например, в результате преднамеренного создания промежуточного диэлектрического (обычно окисного) слоя в структуре металл—кремний или металл—арсенид галлия существенно повышается фоточувствительность этих структур в видимой области спектра [2].

В данной работе приведены результаты изучения влияния толщины промежуточного диэлектрического слоя в поверхностно-барьерных структурах GaP и  $\text{GaP}_{0.4}\text{As}_{0.6}$  на их фоточувствительность в ультрафиолетовой области.

2. Исходным материалом для изготовления структур служили ориентированные по кристаллографической плоскости (100) пластинки *n*-GaP ( $n \approx 3 \times 10^{17}$  см<sup>-3</sup>) толщиной 350—400 мкм, изготовленные методом Чохральского, и монокристаллические эпитаксиальные слои *n*- $\text{GaP}_{0.4}\text{As}_{0.6}$  ( $n \approx 7 \cdot 10^{16}$  см<sup>-3</sup>) толщиной 100—150 мкм, выращенные методом газовой фазной эпитаксии на подложке из *n*-GaAs ( $n \approx 6 \cdot 10^{17}$  см<sup>-3</sup>).

На одной стороне пластинки (в случае твердых растворов на подложке) создавался омический контакт вплавлением индия, а на другой стороне — диэлектрический слой и барьерный контакт.

Перед формированием диэлектрического слоя поверхность пластин механически полировалась и затем травилась в смеси HCl+HNO<sub>3</sub> (3 : 1) для структур GaP, в H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O (5 : 1 : 1) для структур  $\text{GaP}_{0.4}\text{As}_{0.6}$  либо в смеси Br<sub>2</sub> (4 %) + CH<sub>3</sub>OH (96 %) с последующей промывкой в метаноле (для структур GaP и  $\text{GaP}_{0.4}\text{As}_{0.6}$ ) в течение 1—2 мин.

Промежуточным диэлектрическим слоем служил собственный окисел полупроводников (ширина запрещенной зоны диэлектрического слоя более 5 эВ [3]). Слой формировался на поверхности GaP и GaP<sub>0.4</sub>As<sub>0.6</sub> путем нагревания структуры на воздухе при температуре 60—100 °C в течение 0.5—2.0 ч [4]. Диэлектрические слои были разной толщины, наибольшая — 100 Å.

Полупрозрачный барьерный контакт создавался химическим осаждением слоя золота при комнатной температуре из водного раствора HAuCl<sub>4</sub> (4 г/л) + HF (100 мл/л) по методике [5, 6]; толщина слоя золота была 100—150 Å. Перед химическим осаждением золота окисленная поверхность полупроводников активировалась в водном растворе PdCl<sub>2</sub> [7].

Площадь барьерного контакта разных структур — 0.05—0.5 см<sup>2</sup>. К барьерному и омическому контактам припаивались серебряные провода.

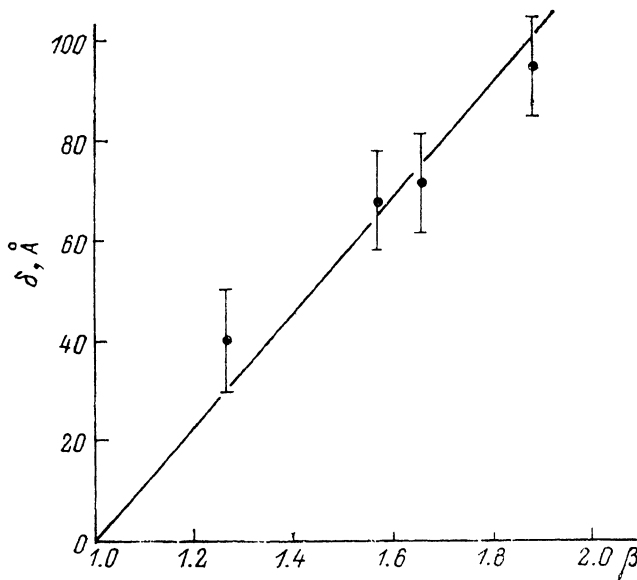


Рис. 1. Зависимость толщины диэлектрического слоя  $\delta$  в структурах GaP от их коэффициента идеальности  $\beta$ .

3. Спектр фототока короткого замыкания  $I_f$  структур измерялся с помощью монохроматора ДМР-4 с кварцевыми призмами: источником света служили лампы СИ 8-200 и ДРТ-375.

Для количественной оценки изменения коротковолновой фоточувствительности будем пользоваться отношением  $I_f^*/I_f^m$ , где  $I_f^*$  — фототок при  $h\nu=4.0$  эВ и  $I_f^m$  — фототок при  $h\nu=h\nu_m$ .

Абсолютное значение квантовой эффективности в видимой и ультрафиолетовой областях определялось с помощью эталонных фотоприемников, откалиброванных в интервале  $h\nu=1.6—5.4$  эВ.

Измерялась также зависимость прямого темнового тока  $I$  от напряжения  $U$ , которая в интервале плотностей токов  $10^{-7}—10^{-2}$  А/см<sup>2</sup> оказалась экспоненциальной:  $I=I_0 \exp(qU/\beta kT)$ ; из этой зависимости определялся коэффициент идеальности структуры  $\beta$ , который зависит от толщины промежуточного диэлектрического слоя [8].

Для того чтобы получить эмпирическую связь толщины диэлектрического слоя  $\delta$  с коэффициентом идеальности  $\beta$ , на нескольких структурах полупроводник—диэлектрический слой до формирования барьерного контакта была измерена толщина диэлектрического слоя эллипсометрическим методом с помощью прибора ЛЭФ-3М, длина волны падающего света 515.4 нм, затем на поверхность диэлектрического слоя был нанесен барьерный контакт и определен коэффициент  $\beta$ . Зависимость  $\delta$  от  $\beta$  оказалась линейной (рис. 1):  $\delta=a(\beta-1)$ , где эмпири-

ческий коэффициент  $a=114 \text{ \AA}$ . Это эмпирическое соотношение служило для определения  $\delta$  и в других структурах по измеренным для них значениям  $\beta$ .

4. Результаты изучения влияния коэффициента идеальности  $\beta$  (толщины промежуточного диэлектрического слоя  $\delta$ ) на коротковолновую фоточувствительность структур GaP (рис. 2) и GaP<sub>0.4</sub>As<sub>0.6</sub> (рис. 3) сводятся к следующему.

С ростом  $\beta$  ( $\delta$ ) вначале происходит относительный подъем коротковолновой фоточувствительности, а затем — спад (рис. 2, в и 3, в).

Наибольшая коротковолновая фоточувствительность для структур GaP соответствует  $\beta=1.25-1.5$  ( $\delta=30-60 \text{ \AA}$ ), и при этом  $I_f^*/I_f^m=0.8-0.9$  (рис. 2, в); для структур GaP<sub>0.4</sub>As<sub>0.6</sub> соответствует  $\beta=1.25-1.5$  ( $\delta=30-60 \text{ \AA}$ ) и при этом  $I_f^*/I_f^m=0.7-0.8$  (рис. 3, в).

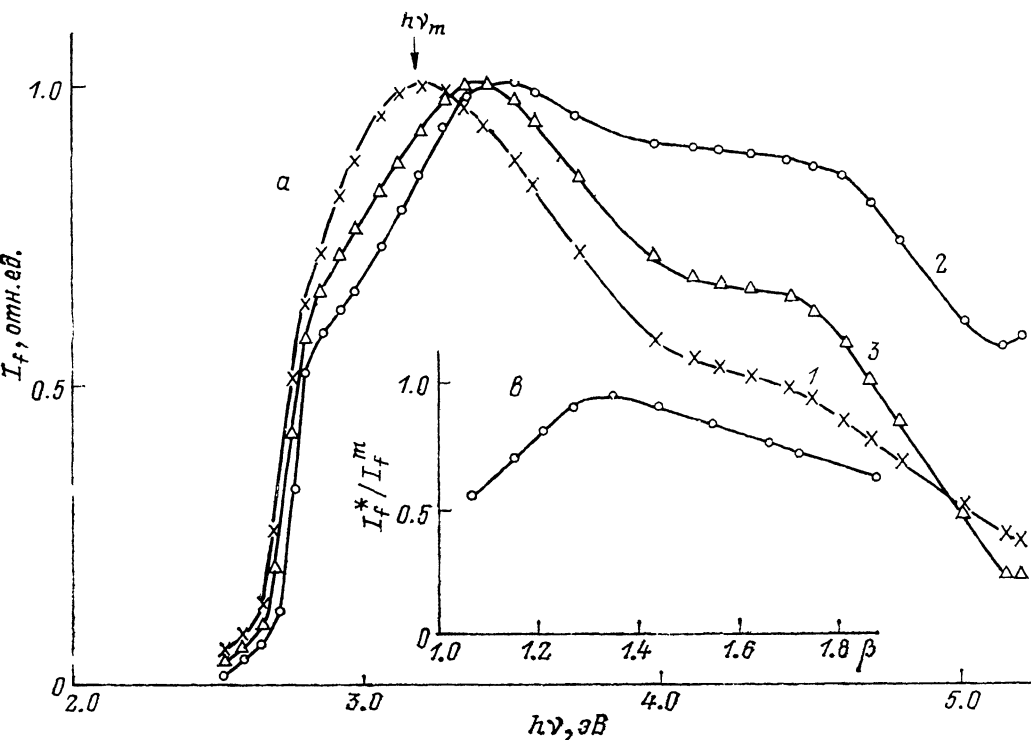


Рис. 2. Спектры фототока поверхностно-барьерных структур Au—n-GaP с разными коэффициентами идеальности  $\beta$  (а) и зависимость  $I_f^*/I_f^m$  от  $\beta$  (б).

$\beta$ : 1 — 1.07, 2 — 1.44, 3 — 1.72. Спектр фототока нормирован на равное число падающих фотонов. Все спектры приведены к одинаковому максимуму. Температура комнатная.

Квантовая эффективность фотоприемников в максимуме спектра для структур с  $\delta=30-60 \text{ \AA}$  не менее 0.4 электрон / фотон.

5. Результаты эксперимента можно интерпретировать следующим образом.

В структурах с очень тонким диэлектрическим слоем ( $\delta \approx 10 \text{ \AA}$ ,  $\beta \approx 1.1$ ) не возникает препятствия для перехода фотодырок из полупроводника в металл, но зато велика вероятность перехода горячих фотоэлектронов из полупроводника в металл, что уменьшает коротковолновую фоточувствительность.

В структурах с относительно толстым диэлектрическим слоем ( $\delta \approx 100 \text{ \AA}$ ,  $\beta \approx 1.9$ ) переход фотодырок в металл затруднен и они накапливаются вблизи границы полупроводник—диэлектрический слой, что приводит к их рекомбинации с фотоэлектронами и, следовательно, к уменьшению коротковолновой фоточувствительности.

В структурах, в которых  $\delta=30-60 \text{ \AA}$  ( $\beta=1.25-1.5$ ), диэлектрический слой достаточно толст, чтобы заметно затруднить переход горячих фотоэлектронов из полупроводника в металл, в то же время слой достаточно тонок, чтобы не

сильно препятствовать переходу фотодырок из полупроводника в металл, относительная коротковолновая фоточувствительность в 1.5—2 раза выше, чем в структурах с очень тонким ( $\delta \approx 10 \text{ \AA}$ ) и относительно толстым ( $\delta \approx 100 \text{ \AA}$ ) диэлектрическими слоями.

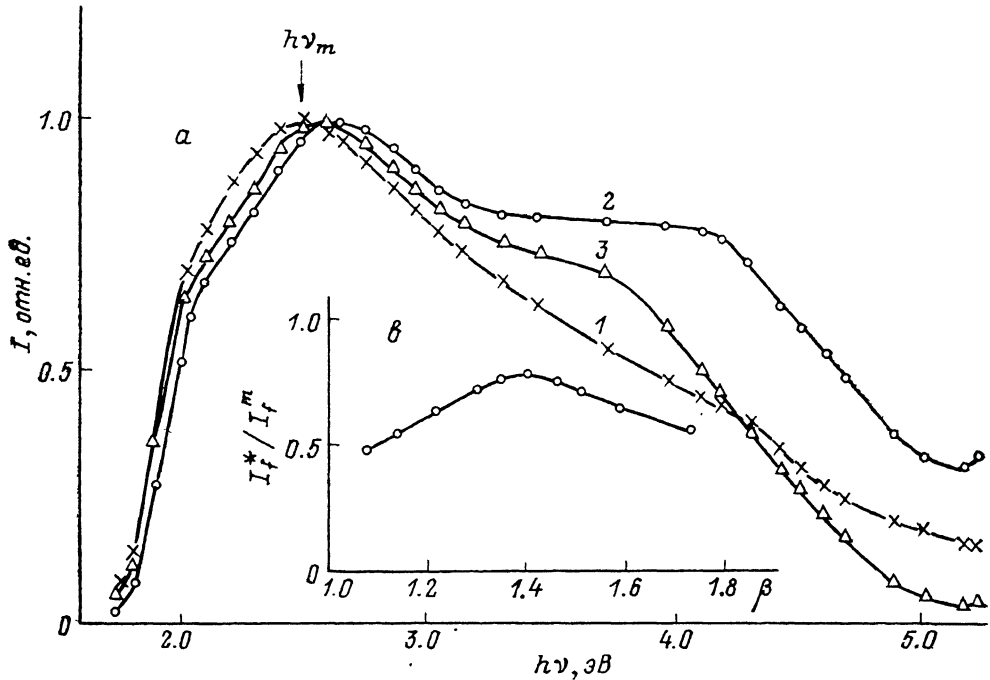


Рис. 3. Спектры фототока поверхностно-барьерных структур  $\text{Au}-n\text{-GaP}_{0.4}\text{As}_{0.6}$  с разными коэффициентами идеальности  $\beta$  (а) и зависимость  $I_f^*/I_f^m$  от  $\beta$  (б).  
 $\beta$ : 1 — 1.08, 2 — 1.40, 3 — 1.73. Спектр фототока нормирован на равное число падающих фотонов. Все спектры приведены к одинаковому максимуму. Температура комнатная.

Таким образом, промежуточный слой диэлектрика толщиной  $\delta \approx 30-60 \text{ \AA}$  между полупроводником и металлом приводит к существенному увеличению коротковолновой фоточувствительности поверхностно-барьерных фотоприемников на основе GaP и  $\text{GaP}_{0.4}\text{As}_{0.6}$ .

Мы благодарны Л. В. Шароновой за эллипсометрические измерения, В. Л. Суханову и Н. В. Забродской за предоставление калиброванных фотоприемников для измерения абсолютного значения квантовой эффективности.

#### Список литературы

- [1] Гольдберг Ю. А., Львова Т. В., Мезрин О. А., Трошков С. И., Царенков Б. В. // ФТП. 1990. Т. 24. В. 10. С. 1835—1840.
- [2] Фаренбрух А., Бьюб Р. Солнечные элементы. М., 1987. 278 с.
- [3] Aspnes D. E., Schwarz B., Studna A. A., Derick L., Koszi L. A. // J. Appl. Phys. 1977. V. 48. N 8. P. 3510—3513.
- [4] Гаев Я., Гольдберг Ю. А., Дурдымурадова М. Г., Мелебаев Д. // Тез. докл. I Всес. конф. по физическим основам твердотельной электроники. Л., 1989. Т. А. С. 156—157.
- [5] Гольдберг Ю. А., Наследов Д. Н., Царенков Б. В. // ПТЭ. 1971. № 3. С. 207—209.
- [6] Берклиев А., Гольдберг Ю. А., Мелебаев Д., Царенков Б. В. // ФТП. 1976. Т. 10. В. 8. С. 1532—1534.
- [7] Гольдберг Ю. А., Львова Т. В., Царенков Б. В. // ПТЭ. 1976. № 4. С. 212—214.
- [8] Card H. C., Rhoderick E. H. // J. Phys. D: Appl. Phys. 1971. V. 4. P. 1589—1601.