

Сравнение температурных зависимостей квантовой эффективности фотоэлектропреобразования $p-n$ -структур и диодов Шоттки на основе GaAs

© Ю.А. Гольдберг, О.В. Константинов, В.М. Лантратов, О.И. Оболенский, Т.В. Петелина, Е.А. Поссе, М.З. Шварц

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, 194021 Санкт-Петербург, Россия

(Получена 9 декабря 1998 г. Принята к печати 15 декабря 1998 г.)

Проведено сравнение температурных зависимостей квантовой эффективности фотоэлектропреобразования $p-n$ - и $m-s$ -структур на основе GaAs. В области энергий фотонов порядка ширины запрещенной зоны температурные зависимости $p-n$ - и $m-s$ -структур подобны. В области энергий фотонов, больших ширины запрещенной зоны, квантовая эффективность $p-n$ -структур от температуры не зависит, в то время как квантовая эффективность $m-s$ -структур проявляет сильную температурную зависимость. Дано качественное объяснение этому явлению.

1. В настоящее время полупроводниковые приборы на основе GaAs широко используются в качестве детекторов излучения, причем в видимой области спектра наибольшее распространение получили приборы на основе $p-n$ -структур (см., например, [1]), а в ультрафиолетовой области — диоды Шоттки ($m-s$ -структуры) (см., например, [2]).

В работе [3] изучалась температурная зависимость квантовой эффективности фотоэлектропреобразования диодов Шоттки на основе GaAs с целью определения механизма фототока в этих структурах. Было обнаружено возрастание фототока с ростом температуры. Это явление было объяснено наличием несовершенств в приповерхностном слое. Совместный анализ температурных и полевых зависимостей квантовой эффективности таких структур, представленный в работе [4], позволил сделать вывод о том, что эти несовершенства проявляются только в фотоэлектрических свойствах структур и не могут быть идентифицированы ни как мелкие, ни как глубокие примесные уровни (заряженные или нет). В электрическом поле слоя объемного заряда они становятся ловушками и захватывают одновременно фотоэлектроны и фотодырки. Зависимость квантовой эффективности фотоэлектропреобразования от температуры описывается в рамках активационной модели: с ростом температуры часть носителей высвобождается из ловушек и дает вклад в фототок.

Настоящая работа продолжает эти исследования. Ее цель состоит в сравнении температурных зависимостей квантовой эффективности $p-n$ - и $m-s$ -фотодетекторов на основе GaAs. Это сравнение показало, что, когда энергия фотона $h\nu$ больше ширины запрещенной зоны E_g , фототок в $p-n$ -структурах на основе GaAs не проявляет температурной зависимости. Таким образом, можно заключить, что в фоточувствительном слое вблизи $p-n$ -перехода отсутствуют ловушки фотоносителей, тогда как в $m-s$ -структурах их концентрация очень велика.

2. Исследуемые солнечные элементы в виде $p-n$ -структур на основе GaAs имели следующую структуру: n -GaAs(подложка)–брегговский рефлектор– n -GaAs– p -GaAs– p -AlGaAs. Они изготавливались методом газовой эпитаксии из металлоорганических соединений (МОС-гидридной эпитаксии) при пониженном давлении в горизонтальном реакторе [5]. Слои GaAs n - и p -типа проводимости создавались путем легирования донорами и акцепторами из силана и Sr_2Mg и имели соответственно толщины $d = 1.6$, 0.4 мкм и концентрации носителей заряда $n = 10^{15} \text{ см}^{-3}$, $p = 10^{19} \text{ см}^{-3}$ при температуре $T = 300 \text{ К}$. Слой $p\text{-Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ представлял собой оптическое окно и имел толщину $d = 0.05$ мкм. Брегговский рефлектор состоял из 12 пар слоев AlAs/GaAs. Площадь освещаемой поверхности составляла 0.1258 см^2 . На рис. 1 представлен спектр квантовой эффективности фотоэлектропреобразования (γ) этих $p-n$ -структур в интервале $h\nu = 1.35 \div 3.65 \text{ эВ}$.

Диоды Шоттки имели структуру n^+ -GaAs(подложка)– n -GaAs–Ni [3]. Подложка n^+ -GaAs имела толщину 200 мкм и была легирована до концентрации электронов $\sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ($T = 300 \text{ К}$), слой n -GaAs имел толщину ~ 10 мкм и концентрацию электронов 10^{15} см^{-3} . Барьерный контакт создавался химическим осаждением никеля на эпитаксиальный n -слой. Площадь освещаемой поверхности составляла 0.06 см^2 . На рис. 2 представлен спектр квантовой эффективности фотоэлектропреобразования (γ) $m-s$ -структур в интервале $h\nu = 1 \div 5 \text{ эВ}$.

Предметом исследования была температурная зависимость квантовой эффективности $p-n$ - и $m-s$ -структур на основе GaAs в температурном интервале $T = 80 \div 360 \text{ К}$ и в интервале энергий фотонов $h\nu = 1 \div 5 \text{ эВ}$. Измерения проводились в режиме фототока короткого замыкания, квантовая эффективность определялась по стандартной формуле $\gamma = I h\nu / P$, где I — фототок (А), P — поток падающего света (Вт), $h\nu$ — энергия падающих фотонов (эВ).

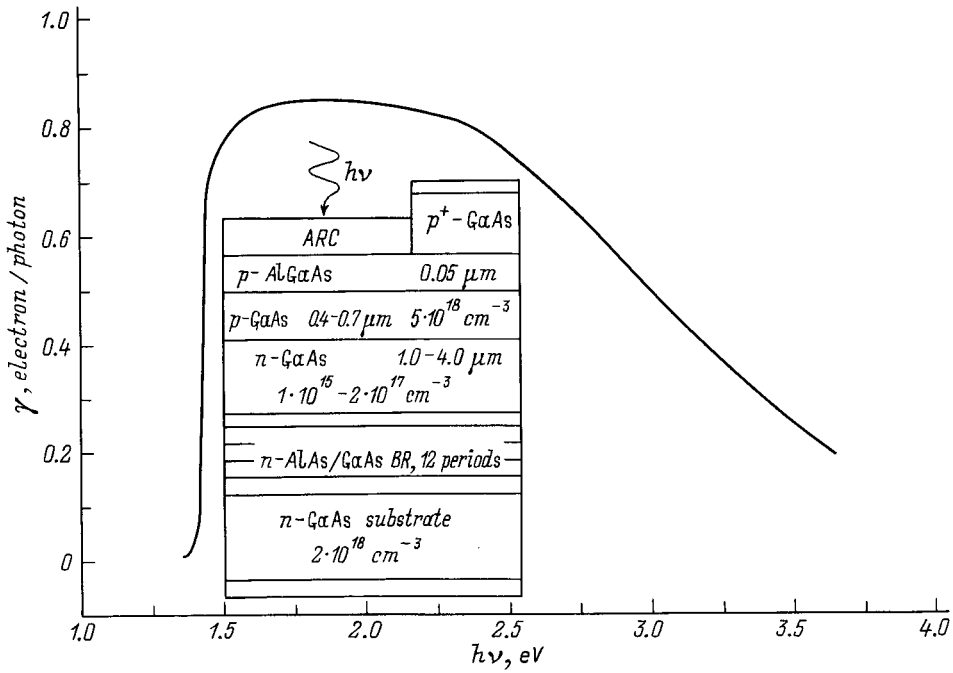


Рис. 1. Зависимость квантовой эффективности фотоэлектропреобразования $p-n$ -структур на основе GaAs от энергии фотонов. BR — брэгговский отражатель, ARC — антиотражающее покрытие.

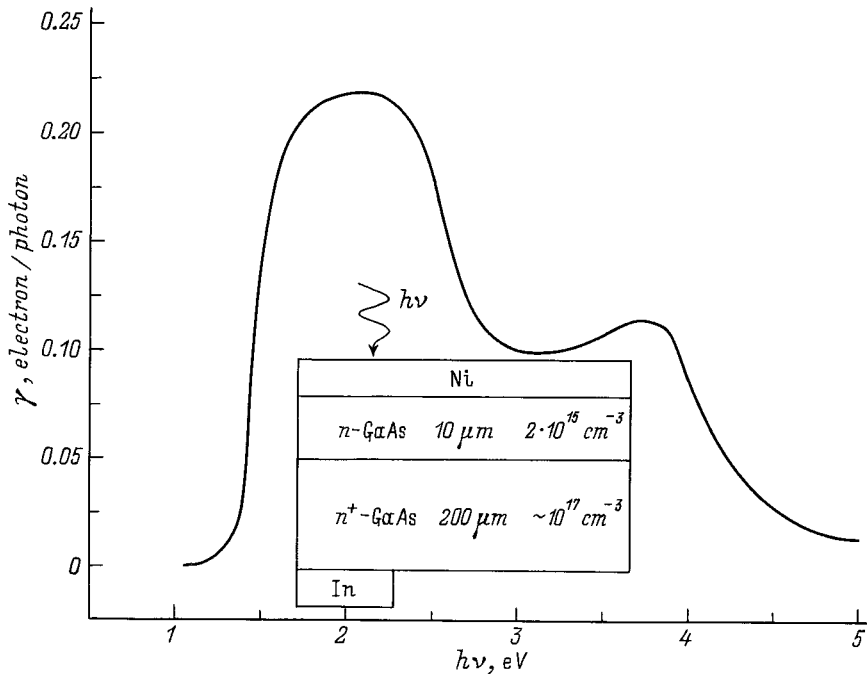


Рис. 2. Зависимость квантовой эффективности фотоэлектропреобразования $m-s$ -структур на основе GaAs от энергии фотонов.

3. Результаты проведенных экспериментов представлены на рис. 3 и 4 и сводятся к следующему.

3.1. В области энергий фотонов $h\nu$, меньших ширины запрещенной зоны E_g (для GaAs $E_g = 1.425$ и 1.5 эВ при 300 и 100 К соответственно), температурные зависимости квантовой эффективности γ для $p-n$ - и

$m-s$ -структур подобны. С ростом температуры квантовая эффективность возрастает, что связано с уменьшением ширины запрещенной зоны E_g и ростом коэффициента поглощения света.

Отметим, что фоточувствительность $m-s$ -структур возникает при меньших энергиях фотонов (1.33 эВ), чем

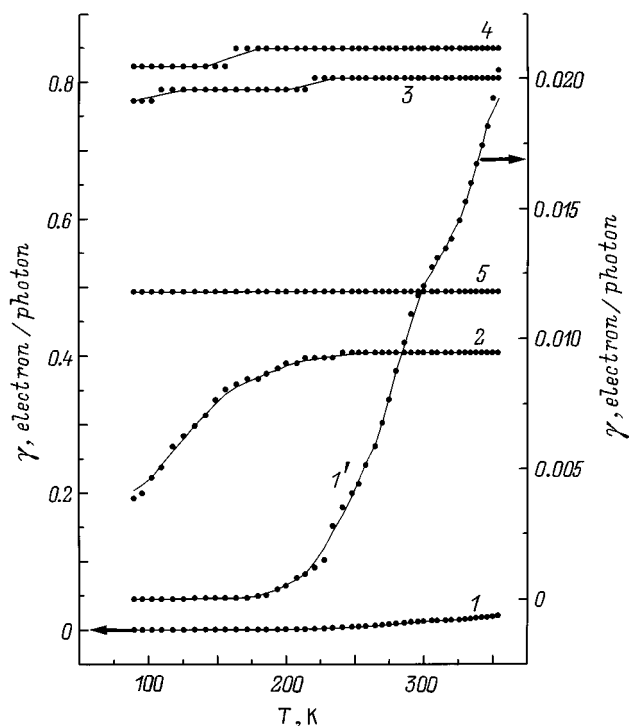


Рис. 3. Зависимость квантовой эффективности фотоэлектропреобразования $p-n$ -структур на основе GaAs от температуры для нескольких энергий фотонов $h\nu$, эВ: 1, 1' — 1.36, 2 — 1.42, 3 — 1.54, 4 — 1.77, 5 — 3.00. 1' — правая шкала, остальные — левая.

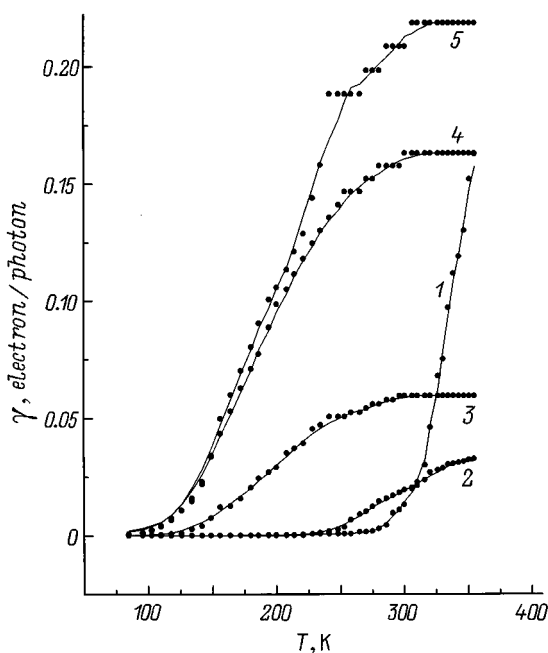


Рис. 4. Зависимость квантовой эффективности фотоэлектропреобразования $m-s$ -структур на основе GaAs от температуры для нескольких энергий фотонов $h\nu$, эВ: 1 — 1.33, 2 — 1.36, 3 — 1.42, 4 — 1.54, 5 — 1.77.

у $p-n$ -структур (1.36 эВ), что объясняется наличием "фаулеровского" участка фоточувствительности у $m-s$ -структур (эмиссия электронов из металла и переход их в полупроводник).

3.2. В области энергий фотонов $h\nu$, близких к ширине запрещенной зоны, для обоих типов структур при низких температурах, когда $E_g > h\nu$, квантовая эффективность существенно возрастает с ростом температуры. При высоких температурах, когда $E_g \approx h\nu$ и $E_g < h\nu$, квантовая эффективность практически постоянна.

3.3. В области энергий фотонов $h\nu$, больших ширины запрещенной зоны E_g , температурные зависимости квантовой эффективности γ для $p-n$ - и $m-s$ -структур существенно различны.

В случае $p-n$ -структур квантовая эффективность γ практически не зависит от температуры. В случае $m-s$ -структур квантовая эффективность возрастает с ростом температуры. При высоких энергиях фотонов и высокой температуре зависимость $\gamma = \gamma(T)$ имеет тенденцию к насыщению.

В области $h\nu > 2.5$ эВ фоточувствительность $p-n$ -структур падает, что связано с сильным поглощением света вблизи поверхности. Вместе с тем, фоточувствительность $m-s$ -структур наблюдается даже при очень высоких энергиях фотонов ($h\nu \approx 5$ эВ).

4. Главное отличие в температурных зависимостях квантовой эффективности $p-n$ структур и диодов Шоттки на основе GaAs заключается в том, что в области собственного поглощения полупроводника квантовая эффективность не зависит от температуры в случае $p-n$ -структур и возрастает в случае диодов Шоттки.

Мы предполагаем, что это различие связано с несовершенствами, которые всегда имеют место в приповерхностной области полупроводника. В слое объемного заряда, т.е. в присутствии электрического поля, эти несовершенства могут проявлять себя как ловушки носителей заряда, способные захватывать и электроны, и дырки. С ростом температуры носители заряда могут высвобождаться и вносить вклад в фототок.

Поскольку в диодах Шоттки слой объемного заряда находится в приповерхностной области, этот эффект характерен именно для диодов Шоттки. В $p-n$ -структурах слой объемного заряда находится в глубине кристалла, и влияние приповерхностных ловушек невелико. Поэтому квантовая эффективность практически не зависит от температуры.

Таким образом, $p-n$ -структуры на основе GaAs имеют более высокую температурную стабильность по сравнению с $m-s$ -структурами, в то время как диоды Шоттки имеют более высокую фоточувствительность в коротковолновой области спектра по сравнению с $p-n$ -структурами.

Список литературы

- [1] V.M. Andreev, V.V. Komin, I.V. Kochnev, V.M. Lantratov, M.Z. Shvarts. *Proc. 1st World Conf. on Photovoltaic Energy Conversation* (Hawaii, 1994) p. 1824.
- [2] Yu.A. Goldberg, O.V. Konstantinov, E.A. Posse, B.V. Tsarenkov. *Sensors and Actuators*, **A58**, 121 (1997).
- [3] Ю.А. Гольдберг, О.В. Константинов, О.И. Оболенский, Е.А. Поссе, Б.В. Царенков. *ФТП*, **31**, 563 (1997).
- [4] Yu.A. Goldberg, O.V. Konstantinov, O.I. Obolensky, T.V. Petelina, E.A. Posse. *J. Phys.: Condens. Matter*, **10** (2) (1999).
- [5] M.Z. Shvarts, O.I. Chosta, I.V. Kochnev, V.M. Lantratov. *Proc. 5th European Space Power Conf. (ESASP-416)* (Tarragona, 1998) p. 513.

Редактор Л.В. Шаронова

The comparison of temperature dependencies of photoeffect quantum efficiency of GaAs $p-n$ structures and Schottky diodes

Yu.A. Goldberg, O.V. Konstantinov, V.M. Lantratov, O.I. Obolensky, T.V. Petelina, E.A. Posse, M.Z. Shvarts

A.F. Ioffe Physicotechnical Institute,
Russian Academy of Sciences,
194223 St. Petersburg, Russia

Abstract The comparison of temperature dependencies of photoeffect quantum efficiency of GaAs $p-n$ and $m-s$ structures is reported. In the photon energy range near the band gap the temperature dependencies of $p-n$ and $m-s$ structures are similar. In the photon energy range above the band gap, the quantum efficiency of the $p-n$ structures does not depend on temperature while the quantum efficiency of $m-s$ structures shows a strong temperature dependence. The qualitative explanation of this phenomenon is given.

E-mail: oleg@rpro.ioffe.rssi.ru