

УДК 621.315

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОБЛУЧЕНИЯ $\alpha$ -ЧАСТИЦАМИ НА ФОТОПРОВОДИМОСТЬ ПОЛУИЗОЛИРУЮЩЕГО GaAs

Г. Е. Зардас<sup>1</sup>, Ч. И. Симеонидис<sup>1</sup>, П. К. Эвфимиу<sup>1</sup>, И. Чех<sup>2</sup>, В. С. Вавилов

*Представлены результаты измерений фотопроводимости полуизолирующего GaAs (нелегированного, а также легированного Cr) при низкой температуре до и после облучения  $\alpha$ -частицами. В спектрах фотопроводимости наблюдался основной максимум при энергии фотонов, соответствующей энергии запрещенной зоны  $E_g$ , и побочный максимум при энергии, меньшей величины  $E_g$  для нелегированного материала. После облучения  $\alpha$ -частицами фототок уменьшался. Падение фотопроводимости составляло от 45% до 80%. Отжиг образцов не приводил к заметному восстановлению проводимости.*

Несмотря на значительные усилия, предпринятые для понимания природы, стабильности и энергетического спектра локальных центров, образующихся под действием частиц высоких энергий в GaAs и создаваемых на его основе структурах [1 – 4], многие вопросы в этой области остаются неясными и требуют дальнейшего исследования.

Хорошо известно, что взаимодействие точечных дефектов, образующихся при облучении частицами, может приводить к различным изменениям в энергетическом спектре, которые наблюдаются в эксперименте. Простым методом образования дефектов в образце является облучение  $\alpha$ -частицами. В настоящей работе исследуется влияние

<sup>1</sup>Афинский университет, Физический факультет, кафедра физики твердого тела.

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт технической физики, Венгерская академия наук, Будапешт.

2.84-МэВ  $\alpha$ -частиц на свойства  $GaAs$  (нелегированного и легированного  $Cr$ ) путем измерения спектров фотопроводимости образцов при различных температурах от 200 до 300 К.

Исследовались три образца полуизолирующего  $GaAs$ : (1) нелегированный  $GaAs$  ( $\rho = 3.44 \cdot 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ ); (2) слабо легированный хромом  $GaAs$  ( $\rho = 3.44 \cdot 10^7 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ ) и (3) сильно легированный хромом  $GaAs$  ( $\rho = 1.235 \cdot 10^7 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ ). На освещаемую поверхность образцов были напылены два почти прозрачных золотых контакта, расположенных на расстоянии 50 мкм. В остальном экспериментальная методика была аналогична применявшейся ранее в [4]. Длина пробега  $\alpha$ -частиц в направлении нормали к освещаемой поверхности образцов равнялась 6.4 мкм. Были измерены спектры  $I_p$  при температурах 200, 225, 250, 275 и 300 К до облучения. После этого мы облучали каждый образец при 200 К  $\alpha$ -частицами с энергией 2.85 МэВ в течение более 43 час, а затем измеряли спектры. Доза излучения составляла от  $8.53 \cdot 10^{12}$  до  $9.6 \cdot 10^{12}$  частиц/см<sup>2</sup>. После этого мы отжигали каждый образец в течение 30 мин при указанных выше температурах, измеряли при каждой температуре  $I_p$ , а затем охлаждали его до 200 К и снова измеряли  $I_p$ .

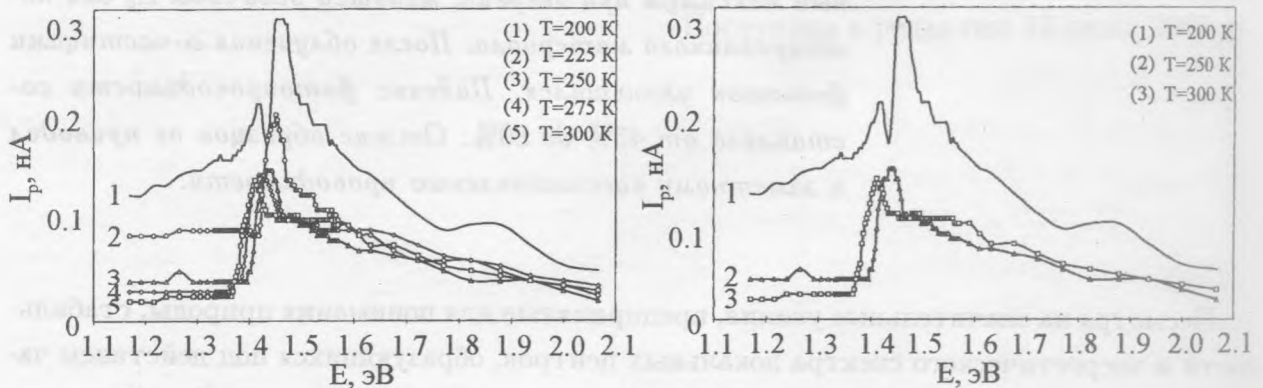


Рис. 1. Зависимости тока фотопроводимости образца N 1 от энергии фотонов при пяти различных температурах до облучения.

Рис. 2. Зависимости тока фотопроводимости образца N 1 от энергии фотонов при трех различных температурах до облучения.

а) Образец N 1: полуизолирующий нелегированный  $GaAs$ . Спектры  $I_p$  при различных температурах до облучения представлены на рис. 1. При всех температурах мы наблюдали основной максимум при энергии фотонов, равной ширине запрещенной зоны

при данной температуре. Кроме того, как и в работе [4] для  $GaAs$  с низким удельным сопротивлением, в ряде случаев наблюдался более слабый максимум при энергии, меньшей ширины запрещенной зоны при 200 К. При понижении температуры фототок  $I_p$  возрастал. Как и в [5], возрастание происходило в основном в максимумах спектра. Возможно, что это возрастание вызвано увеличением энергии термической активации сечения захвата дырок центром, управляющим временем жизни [6]. С другой стороны, ранее увеличение  $I_p$  объяснялось фотогенерацией новых комплексных дефектов или фотоиндуцированными переходами некоторых комплексных дефектов, отличных от EL2, из основного в метастабильное состояние [7]. Аналогичный результат наблюдался при высоких температурах для  $GaAs$  с низким удельным сопротивлением [4]. Для того, чтобы лучше различить основные особенности спектров, на рис. 2 приведены спектры только для трех температур. Видно, что второй слабый максимум при энергии 1.4 эВ появляется в спектре только при  $T = 200$  К.

На рис. 3 приведены спектры фототока при температурах 200 и 300 К до и после облучения образца  $\alpha$ -частицами при 200 К. Видно, что форма спектра после облучения такая же, как и до облучения, но фототок в максимумах уменьшается почти на 50%. Заметим, что в случае  $GaAs$  с малым удельным сопротивлением [4] фототок возрастал после облучения. Наблюдавшееся уменьшение фототока может быть вызвано образованием комплексных дефектов в образце в результате облучения. Это предположение подтверждается тем фактом, что отжиг образца приводит лишь к небольшому восстановлению фотопроводимости. После облучения слабый максимум почти сравнивается по амплитуде с основным. Это может быть вызвано собранным пространственным зарядом после облучения [2], а также тем фактом, что облучение влияет только на рассеяние на ионизованных примесях.

На рис. 4 приведены спектры фототока до облучения, после облучения в течение 43 час 10 мин и после 30-мин изохронного отжига при различных температурах до 300 К. Образец облучался при 200 К. Было обнаружено, что отжиг при температуре до 300 К вызывал лишь небольшое восстановление фотопроводимости. Это вызвано тем, что  $\alpha$ -частицы создают не точечные дефекты, а либо локальные неоднородности, либо кластеры дефектов [7].

б) Образец N 2: Полуизолирующий  $GaAs$  слабо легированный  $Cr$ . Спектры  $I_p$  для различных температур приведены на рис. 5. В отличие от спектра образца N 1 при 200 К, при всех температурах был виден лишь основной максимум при энергии фотонов, равной энергии запрещенной зоны. Фототок  $I_p$  был значительно выше, чем для образ-

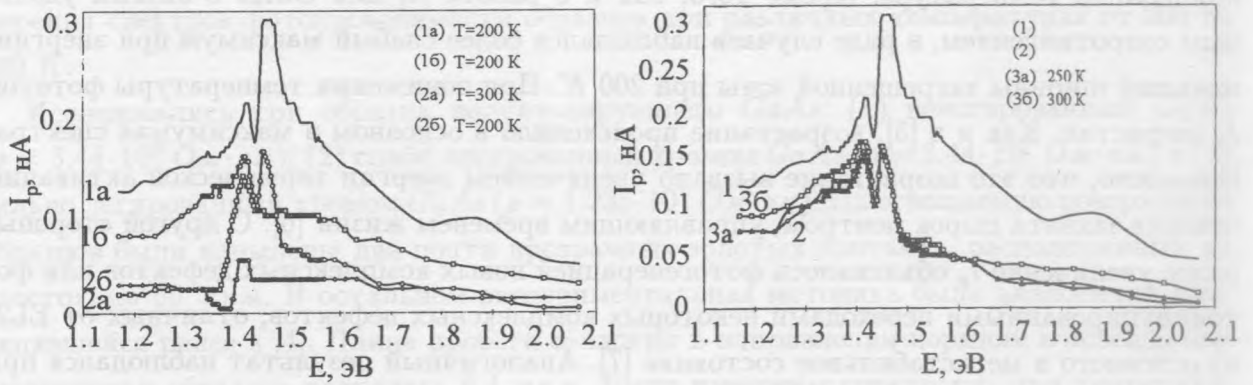


Рис. 3. Зависимости тока фотопроводимости образца N 1 от энергии фотонов при двух различных температурах (а) до и (б) после облучения.

Рис. 4. Зависимости тока фотопроводимости образца N 1 от энергии фотонов (1) до облучения, (2) после облучения и (3а, 3б) после 30-мин отжига при различных температурах. Измерения выполнены для облучения при 200 К.

ца N 1 и, в отличие от первого случая, возрастал при повышении температуры. Это может быть вызвано уровнями Cr (лежащими от 0.22 до 0.72 эВ) и влиянием на них собственных уровней EL2 [9].

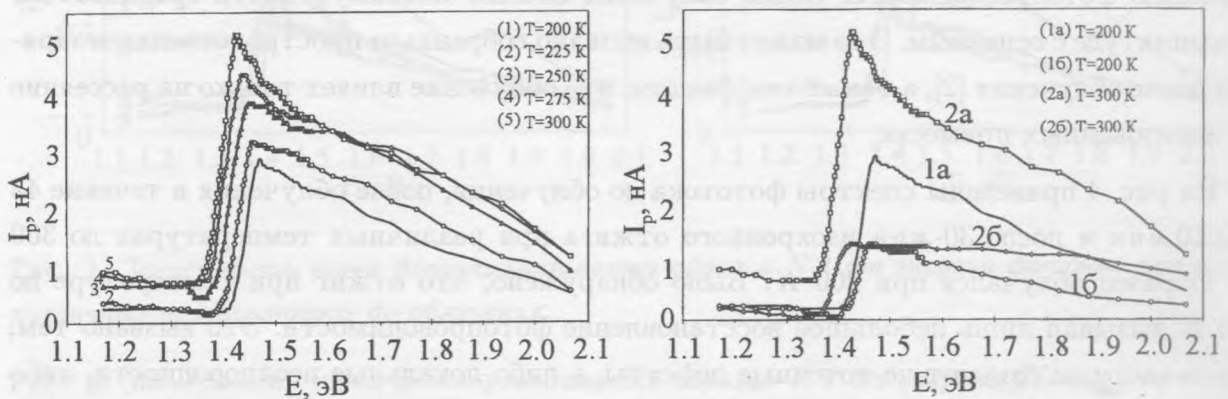


Рис. 5. Зависимости тока фотопроводимости образца N 2 от энергии фотонов при различных температурах до облучения.

Рис. 6. Зависимости тока фотопроводимости образца N 2 от энергии фотонов при двух различных температурах (а) до и (б) после облучения.



На рис. 6 приведены спектры фотопроводимости для температур 200 и 300 К до облучения и после облучения  $\alpha$ -частицами при 200 К в течение 47 час 40 мин. Как и в случае (а), спектр после облучения имеет такую же форму, как и до облучения, но уменьшение фототока сильнее, чем в случае (а). При  $T = 300$  К оно составляет около 90%. Изохронный 30-мин отжиг образца при различных температурах до 300 К и измерения, выполненные для облучения при 200 К, не показали восстановления фотопроводимости образца.

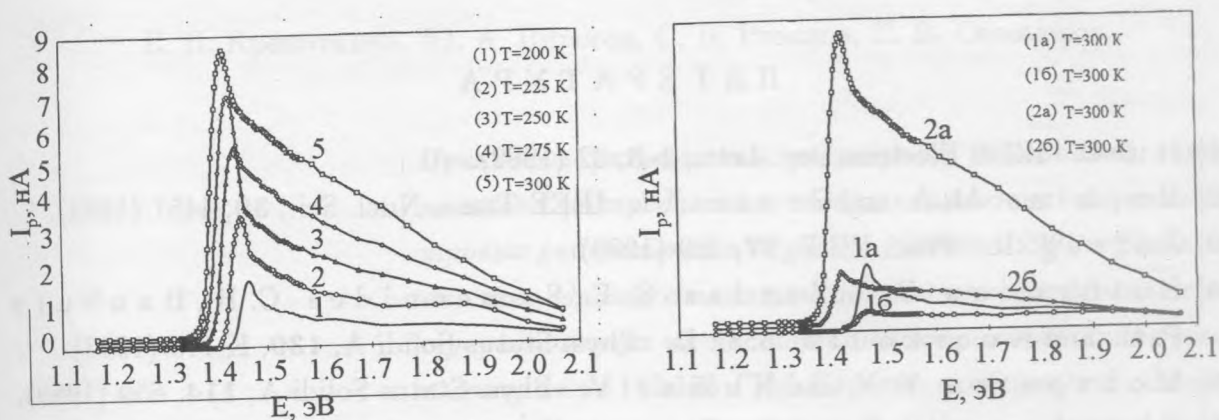


Рис. 7. Зависимости тока фотопроводимости образца N 3 от энергии фотонов при различных температурах до облучения.

Рис. 8. Зависимости тока фотопроводимости образца N 3 от энергии фотонов при двух различных температурах (а) до и (б) после облучения.

в) Образец N 3: Полуизолирующий GaAs сильно легированный Cr. Спектры  $I_p$ , измеренные при разных температурах до облучения, представлены на рис. 7. Они имеют те же характеристики, что и спектры в случае (в). Фототок  $I_p$  возрастает при повышении температуры, но пиковые значения тока выше, чем в случае (б) из-за более высокой концентрации Cr.

На рис. 8 представлены спектры фототока при температурах 200 и 300 К до облучения и после облучения  $\alpha$ -частицами при 200 К в течение 48 час 15 мин. Видно, что форма спектра после облучения прежняя, но уменьшение фототока после облучения сильнее, чем в случае (б). Как и в случае (б), изохронный 30-мин отжиг образца при различных температурах до 300 К и измерения, выполненные для облучения при 200 К, не показали восстановления фотопроводимости образца.

Следует отметить, что хотя  $GaAs$  с высоким удельным сопротивлением (как в настоящей работе), так же как и  $GaAs$  с низким удельным сопротивлением (как в [4]), облучались  $\alpha$ -частицами от одного источника и примерно одинаковыми дозами, восстановление фотопроводимости для  $GaAs$  с высоким удельным сопротивлением было очень малым, а для  $GaAs$  с низким удельным сопротивлением оно было значительным.

Работа поддержана Национальным Комитетом Технологического развития и Департаментом Международных отношений Венгрии, а также Генеральным Секретариатом Исследований и Технологии Греции.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] Hu C. IEEE Electron Dev. Lett., **1-3**, 32 (1982).
- [2] Hopkins M. A. and Srouf J. I. IEEE Trans. Nucl. Sci., **30**, 4457 (1983).
- [3] Zuleeg R. Proc. IEEE, **77**, 389 (1989).
- [4] Euthymiou P. C., Zardas G. E., Symeonides C. H., Banbury P. C., and Kourkouta S. C. D. Phys. Status Solidi A, **139**, K 113 (1993).
- [5] Mohapatra Y. N. and Kumar V. Phys. Status Solidi A, **114**, 659 (1989).
- [6] Theodorou D. E. and Queisser H. J. Phys. Rev. B, **27**, 7786 (1983).
- [7] Desnica U. V. and Santic B. J. Appl. Phys., **67**, 1408 (1990).
- [8] Nakajima K., Hirohata T., Can H., and Misushima Y. Electron. Lett., **28**, 2046 (1990).
- [9] Mittonneau A., Martin G. M., Mircea A., and Pons D. Rev. Phys. Appl., **14**, 53 (1979).

Поступила в редакцию 15 января 2000 г.