

05;06

## Гетеропереходы *p*-GaSe–*n*-рекристаллизованный InSe

© В.Н. Катеринчук, З.Д. Ковалюк, В.М. Каминский

Институт проблем материаловедения НАН Украины, Черновцы

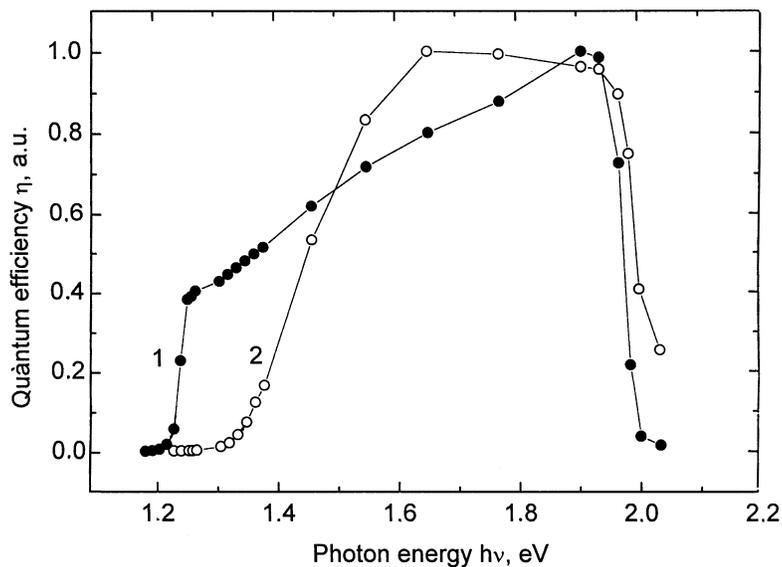
Поступило в Редакцию 16 июня 1999 г.

Исследованы фотоэлектрические свойства гетеропереходов (ГП), изготовленных путем рекристаллизации InSe на подложке GaSe. В спектрах фотоответа ГП наблюдается существенное сужение полосы в сравнении с фотоответом ГП *p*-GaSe–*n*-InSe, полученным без рекристаллизации InSe, которое вызвано образованием твердого раствора  $\text{In}_{0,8}\text{Ga}_{0,2}\text{Se}$ . Из анализа температурных зависимостей вольт-амперных характеристик (ВАХ), полученных ГП, следует, что механизм протекания тока через потенциальный барьер носит туннельно-рекомбинационный характер.

Высокое совершенство и инертность подложек из слоистых материалов, обусловленные особенностями их кристаллического строения, отмечены многими авторами [1–3]. Некоторые из них предложили использовать подложки с ван-дер-ваальсовыми связями слоев, как еще можно назвать слоистые кристаллы, для наращивания других слоистых материалов. При этом сделаны выводы об удовлетворительной степени совершенства наращенных слоев [4]. Представляет интерес рассмотрение процессов, происходящих на границе подобных гетеросистем из слоистых кристаллов. В данной работе в качестве пары полупроводников при формировании ГП использовались *p*-GaSe и *n*-InSe.

ГП готовились путем рекристаллизации селенида индия на поверхности более высокотемпературного селенида галлия по методике [5]. Для этого образцы помещались в вакуумированные кварцевые ампулы. Процесс рекристаллизации осуществлялся в интервале температур 660–680°C. Контакты к образцам формировались путем сплавления чистого индия. Для всех образцов ГП характерным было наличие выпрямления тока и фоточувствительность.

Рекристаллизованный материал исследовался на предмет монокристалличности. Для этого использовалась установка ДРОН-УМ-1 в схеме двукристалльного спектрометра с использованием  $\text{Cu-K}_\alpha$ -излучения.

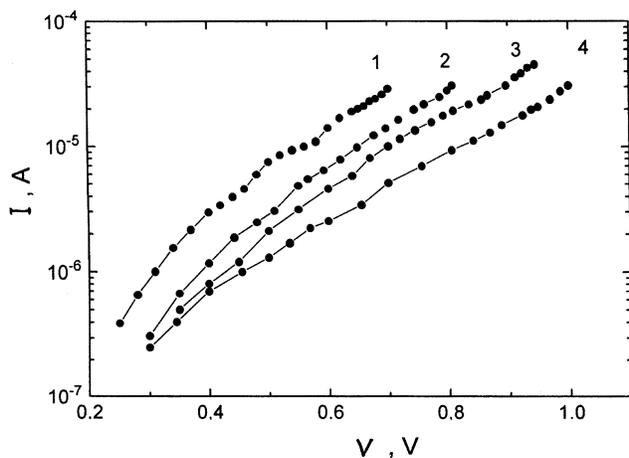


**Рис. 1.** Спектральные зависимости относительной квантовой эффективности гетеропереходов  $p$ -GaSe- $n$ -InSe (1) и  $p$ -GaSe- $n$ -рекристаллизованный InSe (2) при комнатной температуре.

От поверхностного рекристаллизованного слоя получены различные  $00l$  отражения ( $l = 3, 6, 9, \dots$ ) в области дифракционных углов исходного InSe. С предварительно снятых в Си-излучении эпиграмм следует, что исследуемый слой имеет монокристаллическую структуру.

По методу Бонда измерены дифракционные углы отражения  $0012$ , позволившие определить период решетки  $c$  рекристаллизованного слоя —  $24.748 \text{ \AA}$ . Исходный InSe имеет  $c = 24.955 \text{ \AA}$ . Полученное различие может иметь место в случае образования твердого раствора  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}$ . В приближении закона Вегарда  $c_x = c_{\text{InSe}} - (c_{\text{InSe}} - c_{\text{GaSe}}) \cdot x$ , определена величина  $x = 0.2$ . Образование  $\text{In}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{Se}$  подтверждено ниже измерениями спектров фотоответа большого числа образцов ГП.

На рис. 1 показан спектр фотоответа, образованного ГП и ГП, изготовленного методом оптического контакта полупроводников [6]. Из сравнения видно, что образованная рекристаллизованная фаза уже не



**Рис. 2.** Прямые ветви вольт-амперных характеристик гетероперехода  $p$ -GaSe- $n$ -рекристаллизованный InSe при различных температурах: 1 — 300, 2 — 270, 3 — 240, 4 — 210 К.

отвечает исходному InSe. Сдвиг длинноволнового края показанной на рис. 1 полосы fotocувствительности равен приблизительно 0.15 eV и обусловлен образованием твердого раствора  $\text{In}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{Se}$ . Для образцов, полученных при различных режимах формирования ГП, он колеблется от 0.1 до 0.2 eV. Характер полосы также претерпевает изменение. Для ГП, изготовленных методом оптического контакта, характерно возрастание фотоответа при увеличении энергии фотонов. Рост fotocувствительности вызван увеличением коэффициента поглощения света в InSe [7] и приводит к лучшему сборанию и разделению генерированных фотонносителей на барьере ГП. В случае рекристаллизованного InSe квантовая эффективность фототока не зависит от энергии фотонов, что свидетельствует о слабом изменении коэффициента поглощения в этом материале. Такая ситуация может иметь место в случае преобладающего поглощения света поверхностью рекристаллизованной фазы InSe. Для подтверждения последнего факта исследовался механизм протекания тока через барьер ГП. Для этого измерялись прямые ветви ВАХ ГП при различных температурах, которые представлены на рис. 2. В полулогарифмических координатах представленные ВАХ имеют линей-

ный характер, и их можно описать зависимостью  $I = I_0 \exp(AU)$ , где  $A$  — параметр, не зависящий от температуры [8]. Из рисунка хорошо видно практически параллельный сдвиг представленных характеристик. Такая ситуация имеет место в случае туннельно-рекомбинационного механизма протекания тока через барьер ГП [8].

Основываясь на выводах работы [8], можно сделать оценку изменения скорости поверхностной рекомбинации  $S$  по изменению величины туннельно-рекомбинационного тока. По сравнению с ГП, полученными методом оптического контакта полупроводников, поверхностная рекомбинация увеличивается на два порядка. В связи с этим отметим также некоторое снижение величины напряжения холостого хода исследованных ГП при освещении.

## Список литературы

- [1] *Williams R.H., McEvoy A.J.* // J. Vac. Sci. Techn. 1972. V. 2. P. 867.
- [2] *Williams R.H., McEvoy A.J.* // Phys. St. Sol. (a). 1972. V. 12. P. 277.
- [3] *Ананьина Д.Б., Бакуменко В.Л., Курбатов Л.Н., Чишко В.Ф.* // ФТП. 1976. Т. 10. С. 2373.
- [4] *Lang O., Klein A.* // J. Cryst. Growth. 1995. V. 146. P. 439.
- [5] *Алексеев И.В.* // ФТП. 1998. Т. 32. С. 588.
- [6] *Бакуменко В.Л., Чишко В.Ф.* // ФТП. 1977. Т. 11. С. 2000.
- [7] *Landolt-Börnstein.* Numerical Data and Functional Relation-ships in Science and Technology. New Ser. Group III: Crystal and Solid State Physics. V. 17. sv. f / Ed. by O. Madelung. Berlin e. a.: Springer, 1983. 562 p.
- [8] *Милнс А., Фойхт Д.* Гетеропереходы и переходы металл–полупроводник. М.: Мир, 1975. Гл. 2. С. 65.