

## ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИИ НА СПЕКТРЫ ГАШЕНИЯ ФОТОПРОВОДИМОСТИ В СИЛЬНОКОМПЕНСИРОВАННОМ КРЕМНИИ

*Ташкентский государственный технический университет им. А.Р. Беруни,  
ул. Университетская, 2, г. Ташкент, 700095, Узбекистан*

В спектральной зависимости фотопроевдимости, при одновременном освещении монохроматическим и интегральным светом, для образцов  $\text{Si}\langle\text{B},\text{Mn}\rangle$  со степенью компенсации  $K \geq 0,9$ , начиная с энергии монохроматического света  $h\nu = 0,42$  эВ наблюдается резкое уменьшение фототока, то есть инфракрасное гашение фотопроевдимости (ИКГ ФП). Максимальное гашение имеет место при  $h\nu = 0,62$  эВ, при этом фототок уменьшается на 4 – 5 порядка. Это свидетельствует о том, что ответственным центром за гашение ФП является марганец в междоузельном состоянии  $\text{Mn}^{++}$  с электронной конфигурацией  $3d^5 4s^0$  и уровнем  $E_c - 0,5$  эВ, полученном в результате компенсации мелкими акцепторами бора.

Авторы [1, 2] объясняют ИКГ ФП следующим образом. При низкой температуре большинство уровней марганца оказываются дважды ионизированными, а все уровни рекомбинации  $N_r$  и бора  $N_b$  заняты электронами. При освещении таких образцов светом с  $h\nu \geq 0,62$  эВ или собственным электроны попадают на уровни марганца прямо или через зону проводимости, а дырки собираются в максимумах валентной зоны и частично захватываются на уровни  $N_r$  и  $N_b$ . Так как  $N_r < N_{\text{Mn}}$ , а уровни прилипания  $N_b$  достаточно мелкие, то при  $T \geq 77$  К в максимумах валентной зоны собирается много дырок, и квазиуровень Ферми  $F_h$  приближается к уровню протекания  $E_h$ ; между локализованными дырками и дырками, участвующими в проводимости, устанавливается динамическое равновесие при данной температуре, что определяет величину ФП, которая имеет активационный характер.

ИКГ ФП происходит из-за перехода электрона с уровня марганца в зону проводимости и дальнейшего его захвата на уровень рекомбинации  $N_r$ , который затем захватывает дырку.

Исследования тензoeffекта в сильнокомпенсированном  $\text{Si}\langle\text{B},\text{Mn}\rangle$  в состоянии ИК гашения фотопроевдимости позволяют определить характер изменения и барический коэффициент смещения глубокого уровня марганца.

Данная работа посвящена изучению влияния одноосно упругого сжатия на спектры ИКГ ФП сильнокомпенсированного  $\text{Si}\langle\text{B},\text{Mn}\rangle$ . В качестве исходного материала использован промышленный кремний марки КДБ–10 с удельным сопротивлением 10 Ом·см,  $p$ -типа проводимости, в который марганец вводился диффузионным путем из газовой фазы в интервале температур 1000 – 1150°С. Получена партия образцов  $\text{Si}\langle\text{B},\text{Mn}\rangle$  с удельными сопротивлениями  $10^2 - 10^5$  Ом·см  $p$  и  $n$ -типа проводимости.

Для исследований выбраны сильнокомпенсированные образцы  $\text{Si}\langle\text{B},\text{Mn}\rangle$  с одинаковыми удельными сопротивлениями и концентрациями марганца, имеющие форму параллелепипеда размерами  $4 \times 1 \times 1$  мм с кристаллографическими направлениями [111], [110] и [100] вдоль большого ребра. Направления сжатия  $X$  и тока  $I$  были параллельны большому ребру, то есть выполнялись условия сжатия  $\{I \parallel X \parallel [111]\}$ ,  $\{I \parallel X \parallel [110]\}$  и  $\{I \parallel X \parallel [100]\}$ .

Результаты исследования при условии сжатия  $\{I \parallel X \parallel [100]\}$  приведены на рис. 1. До начала гашения по мере роста величины сжатия фототок линейно возрастает, что обусловлено уменьшением ширины запрещенной зоны кремния. На участке гашения с ростом сжатия спектры ИКГ ФП смещаются в сторону больших длин волн (кривые 2, 3).

Смещение начала гашения фототока в сторону больших длин волн свидетельствует об уменьшении энергии ионизации глубоких уровней марганца.

Аналогичные исследования при условиях сжатия  $\{I \parallel X \parallel [110]\}$  и  $\{I \parallel X \parallel [111]\}$  дали качественно одинаковую картину, но количественно выразились слабо (рис. 2).

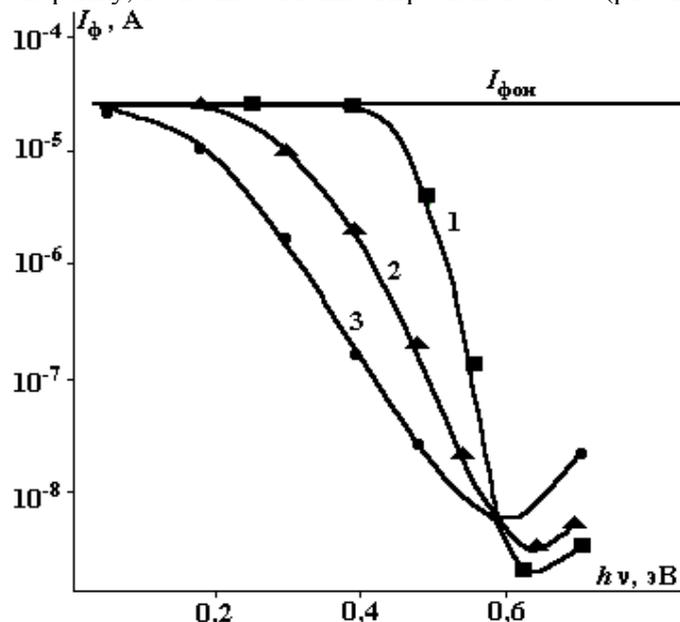


Рис.1. Ифракрасное гашение фотопроводимости при одноосно-упругом сжатии в  $Si\langle B,Mn \rangle$  при условии  $J//X// [100]$ .  $X$ , Па:  
1 –  $10^5$ ; 2 –  $4 \cdot 10^8$ ; 3 –  $8 \cdot 10^8$

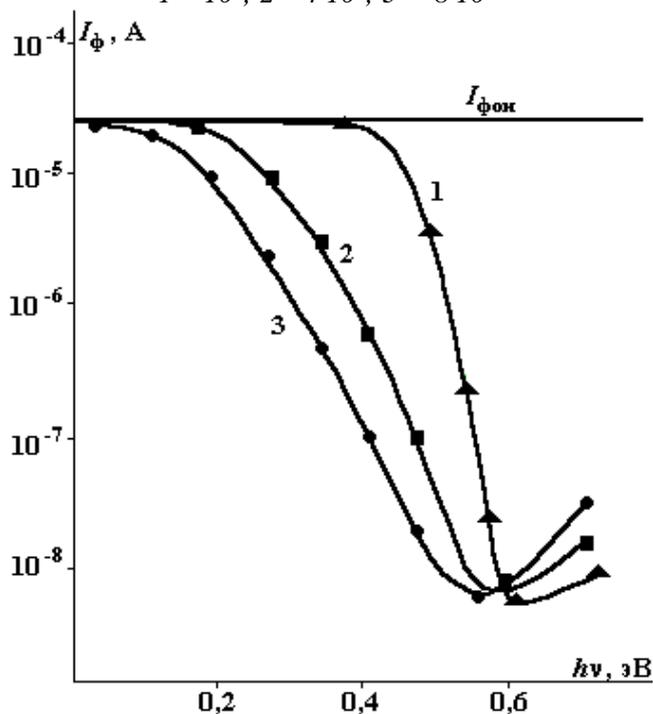


Рис. 2. ИКГ ФП в сильнокомпенсированном  $Si\langle B,Mn \rangle$  при различных условиях сжатия.  
1 –  $J//X// [100]$ ; 2 –  $J//X// [111]$ ; 3 –  $J//X//[110]$

На рис. 3 приведена зависимость энергии начала гашения фотопроводимости  $E_g$  от величины и направления сжатия, которая уменьшается линейно. Из наклона этих кривых определены барические коэффициенты уменьшения энергии ионизации глубокого уровня марганца, ответственного за ИКГ ПФ, для направлений сжатия  $[100]$ ,  $[110]$  и  $[111]$  соответственно:

$$\alpha_{[100]} = 2,25 \cdot 10^{-10} \text{ эВ/Па}; \alpha_{[110]} = 0,3 \cdot 10^{-10} \text{ эВ/Па}; \alpha_{[111]} = 10^{-10} \text{ эВ/Па}.$$

Уменьшение энергии ионизации глубокого уровня является результатом смещения данного уровня и дна зоны проводимости кремния. По данным [3] барические коэффициенты смещения дна

зоны проводимости кремния при одноосном сжатии по оси [100], [110] и [111] соответственно имеют значения:

$$\beta_{[100]} = -4,72 \cdot 10^{-11} \text{ эВ/Па}; \beta_{[110]} = 0,44 \cdot 10^{-11} \text{ эВ/Па}; \beta_{[111]} = -2,0 \cdot 10^{-11} \text{ эВ/Па}.$$

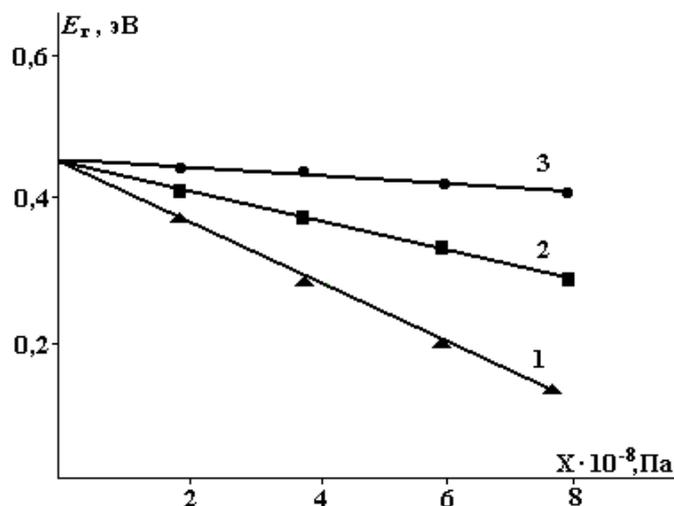


Рис. 3. Зависимость энергии начала гашения фотопроводимости  $E_r$  от величины и направления однородного сжатия: 1 –  $J//X// [100]$ ; 2 –  $J//X// [111]$ ; 3 –  $J//X//[110]$

Существенное отличие барических коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$  свидетельствует о смещении глубокого уровня марганца относительно дна зоны проводимости с заметно большей скоростью. Так как энергия ионизации глубокого уровня марганца уменьшается, а дно зоны проводимости кремния смещается вниз с малой скоростью, то глубокий уровень марганца должен смещаться вверх, в противном случае энергия ионизации глубокого уровня марганца должна увеличиваться.

Таким образом абсолютная скорость смещения вверх глубокого уровня марганца в направлениях сжатия [100], [110] и [111] равны:  $\gamma_{[100]} = \alpha_{[100]} + \beta_{[100]} = 17,8 \cdot 10^{-11} \text{ эВ/Па}$ ,  $\gamma_{[110]} = \alpha_{[110]} + \beta_{[110]} = 3,44 \cdot 10^{-11} \text{ эВ/Па}$ ,  $\gamma_{[111]} = \alpha_{[111]} + \beta_{[111]} = 8 \cdot 10^{-11} \text{ эВ/Па}$ .

Существенное отличие барических коэффициентов  $\gamma_{[100]}$ ,  $\gamma_{[110]}$ ,  $\gamma_{[111]}$  показывает, что ГУ марганца является анизотропным центром в кремнии и его скорость смещения сильно зависит от степени нарушения симметрии кристаллической решетки, которая определяется направлением сжатия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бахадирханов М.К., Турсунов А.А., Хайдаров К. Температурное гашение фотопроводимости в кремнии, компенсированном марганцем // ФТП. 1980. Т. 14. Вып. 5. С. 966–969.
2. Бахадирханов М.К., Турсунов А.А., Азизов К.А., Нигманходжаев С. Инфракрасное гашение фото- и остаточной проводимости в n-Si<Mn> // ФТП. 1980. Т. 14. Вып.11. С. 2247–2251.
3. Полякова А.Л. Деформация полупроводников и полупроводниковых приборов. М., 1981.

Поступила 21.04.03

## Summary

The basis of research of influencing of monaxonically elastic compression on spectra of damping of photoconductivity in Si<B,Mn> is determined the physical gear change of a photocurrent and barometric factor of displacement of a steep level of manganese. In spectral relation of a photo of conductance, at simultaneous illumination by monochromatic and integral light, for is model Si<B,Mn> with a degree of compensation  $K \geq 0,9$  since energy of a homo geneous light the  $h\nu = 0,62 \text{ eV}$ , is watched sharp decreasing of a photo current, the infra-red damping of photoconductivity is observed. It testifies definition volume, that accountable center behind damping photoconductivity is manganese in an interstitial condition  $Mn^{++}$  with the electronic configuration  $3d^5 4s^0$  and level obtained  $E_c - 0,5 \text{ eV}$  as a result of compensation by small-sized acceptors of a boron. Infra-red decreasing photoconductivity descends because of electron transition to a level of manganese in a conduction band and its further acquisition on a level of a recombination  $N_r$ , which one then catches a vacant electron site. The basis of research of influencing of monaxonically elastic compression on spectra of damping of photoconductivity in Si<B,Mn> is determined the physical gear change of a photocurrent and barometric factor of displacement of a steep level of manganese.