

Исследование влияния сильного электрического поля на электропроводность монокристалла $MnGaInS_4:Eu$

© О.Б. Тагиев, Т.Ш. Гашимова, И.М. Аскеров

Институт физики Академии наук Азербайджана,
370143 Баку, Азербайджан

(Получена 19 июня 1997 г. Принята к печати 23 декабря 1997 г.)

Приводятся результаты исследования влияния сильного электрического поля на электрические свойства монокристаллов $MnGaInS_4:Eu$. Соединение получено методом Бриджмена и представляет собой плоскопараллельные слоистые пластинки. На основе проведенных исследований определены следующие параметры: концентрация ловушечных уровней $10^{13} \div 10^{14} \text{ см}^{-3}$, энергия активации $0.70 \div 0.50 \text{ эВ}$. Установлено, что в сильных электрических полях возрастание электропроводности $MnGaInS_4:Eu$ происходит в основном за счет роста концентрации носителей тока с ростом электрического поля.

В работе приводятся результаты исследования влияния сильного электрического поля на электрические свойства монокристаллов $MnGaInS_4:Eu$. Соединение получено методом Бриджмена и является слоистым кристаллом. Установлено, что $MnGaInS_4:Eu$ кристаллизуется в структуре однопакетного политипа $ZnIn_2S_4$ с параметрами кристаллической решетки $a = 3.80$, $c = 12.15 \text{ \AA}$, $z = 1$ (число формульных единиц в элементарной ячейке), пространственная группа $R\bar{3}m1$ [1,2]. Некоторые спектральные свойства монокристаллов $MnGaInS_4$ приведены в работе [3].

Для измерений использовали образцы типа "сэндвич": $In-MnGaInS_4:Eu-In$. Вольт-амперные характеристики (ВАХ) в интервале температур $280 \div 370 \text{ К}$ приведены на рис. 1. На экспериментальных зависимостях можно выделить характерные участки $I \sim V$, $I \sim V^2$, $I \sim V^n$ с $n > 2$. Такие зависимости говорят о том, что основную роль в токопрохождении играют токи, ограниченные пространственным зарядом (ТОПЗ). Кроме того установлено, что на зависимости плотности тока (j) от межэлектродных расстояний (L) для квадратичной области ($I \sim V^2$) выполняется следующая закономерность $j \sim L^{-3}$ [4]. Участок быстрого нарастания тока ($I \sim V^n$, $n > 2$) может быть связан с предельным заполнением ловушек моноэнергетического уровня прилипания. Поэтому для данного соединения используется модель, содержащая один уровень прилипания или систему близко расположенных уровней. Поскольку напряжению предельного заполнения ловушек предшествует квадратичный участок, можно заключить, что уровни прилипания расположены выше уровня Ферми. По напряжению, соответствующему предельному заполнению ловушек, можно оценить концентрацию ловушек [5], которая лежит в пределах $10^{13} \div 10^{14} \text{ см}^{-3}$.

ВАХ, измеренные при различных температурах, дают возможность определить глубину залегания моноэнергетических уровней E_t , которая связана с напряжением перехода V_{1-2} от омического участка к "ловушечному" квадратичному ($I \sim V^2$) формулой [5]

$$V_{1-2}^{-1} \sim \exp[(E_t - E_c)/kT]. \quad (1)$$

Энергия активации, определенная из рис. 2, равна 0.80 эВ . Температурная зависимость напряжения V_{1-2}

указывает, что кристаллы $MnGaInS_4:Eu$ являются сильно компенсированными полупроводниками [5].

В сильных электрических полях до $F = 4 \cdot 10^4 \text{ В/см}$ в интервале температур $T = 293 \div 400 \text{ К}$ измерена электропроводность σ . Было найдено, что закон Ома в исследованных образцах выполняется при полях примерно до $5 \cdot 10^3 \text{ В/см}$. Начиная с $F \approx 7 \cdot 10^3 \text{ В/см}$ наблюдается рост σ с возрастанием напряженности электрического поля.

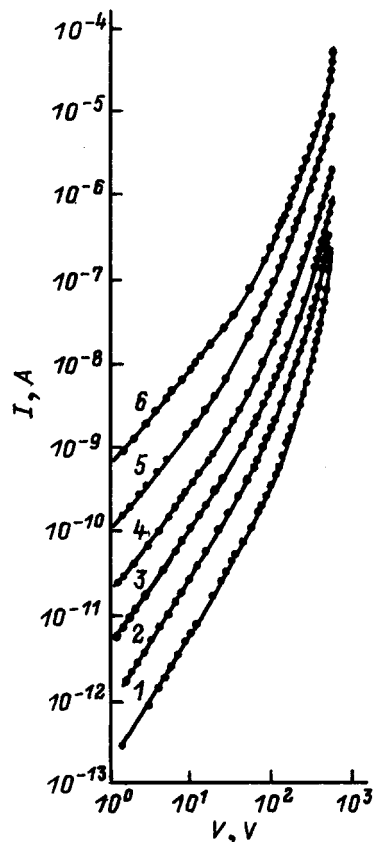


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика структур $In-MnGaInS_4:Eu-In$ при температуре $T, \text{ К}$: 1 — 284, 2 — 300, 3 — 314, 4 — 329, 5 — 350, 6 — 369.

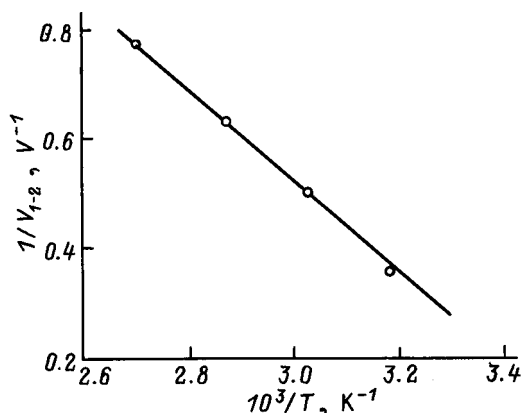


Рис. 2. Температурная зависимость обратного значения переходного напряжения $1/V_{1-2}$.

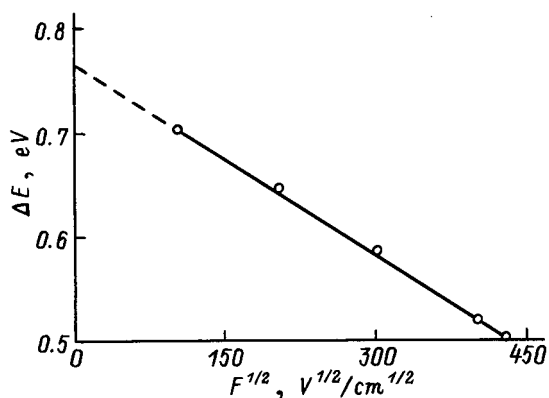


Рис. 3. Зависимость энергии активации проводимости ΔE монокристалла $MnGaInS_4:Eu$ от квадратного корня из значения напряженности электрического поля \sqrt{F} .

Известно, что в большинстве полупроводников наблюдается выполнение закона Френкеля [6,7]:

$$\sigma = \sigma_0 \exp \beta \sqrt{F}, \quad (2)$$

где $\sigma_0 = A \exp(-\Delta E_0/2kT)$ — проводимость в слабых полях, β — коэффициент Френкеля.

Подставляя в формулу Френкеля (2) выражение для σ_0 , получаем

$$\begin{aligned} \sigma &= A \exp \left[-\frac{\Delta E_0}{2kT} \right] \exp \beta \sqrt{F} \\ &= A \exp \left[-\frac{1}{kT} \left(\Delta E_0 - 2e \sqrt{\frac{eF}{\epsilon}} \right) \right]. \end{aligned}$$

Если обозначить

$$\Delta E(F) = \Delta E_0 - 2e \sqrt{eF/\epsilon}, \quad (3)$$

то

$$\sigma = A \exp[-\Delta E(F)/2kT], \quad (4)$$

где $\Delta E(F)$ — зависимость энергии активации от электрического поля.

Зависимость энергии активации ΔE от квадратного корня из напряженности электрического поля \sqrt{F} представлена на рис. 3. Из рисунка видно, что, согласно выражению (3), ΔE линейно уменьшается с ростом \sqrt{F} . Экстраполяцией прямой $\Delta E = f(\sqrt{F})$ к оси $\sqrt{F} \rightarrow 0$ определена энергия активации $\Delta E_0 = 0.77$ эВ в слабом электрическом поле.

Итак, влияние сильного электрического поля на электропроводность лучше всего выражается законом Френкеля. Электрон, связанный с локальным уровнем, находится по отношению к зоне проводимости в потенциальной яме. Как отмечено выше, высота потенциальной ямы при наличии сильного электрического поля уменьшается на величину, определяемую выражением (3).

Таким образом, соответствие наших данных с теорией Френкеля подтверждает, что в сильных электрических полях возрастание электропроводности $MnGaInS_4:Eu$ происходит в основном за счет роста концентрации носителей тока с увеличением электрического поля.

Список литературы

- [1] Э.Н. Нагаев. *Физика магнитных полупроводников* (М., Наука, 1979).
- [2] С. Batistoni, L. Gastaldi, G. Mattogno, M.G. Simeone, S. Viticoli. *Sol. St. Commun.*, **61**, N 1, 43 (1987).
- [3] Н.Н. Нифтиев, А.Г. Рустамов, О.Б. Тагиев. *ФТП*, **27**, вып. 3, 386 (1993).
- [4] А. Милнс. *Примеси с глубокими уровнями в полупроводниках* (М., Мир, 1977).
- [5] Н.С. Грушко, Л.А. Герасименко, Т.И. Гоглидзе. В сб.: *Физика полупроводников и диэлектриков* (Кишинев, Штиинца, 1992) с. 83.
- [6] Я.И. Френкель. *ЖЭТФ*, **8**, вып. 12, 1292 (1938).
- [7] Б.Г. Тагиев, О.Б. Тагиев, Н.Н. Мусаева. *ФТП*, **29**, вып. 8, 1403 (1995).

Редактор Л.В. Шаронова

The influence of a high electric field on the conduction of $MnGaInS_4:Eu$

O.B. Tagiev, T.Sh. Gashimova, I.M. Askerov

Azerbaijan Institute of Physics,
370143 Baku, Azerbaijan