

Влияние сильного электрического поля на электропроводность монокристаллов MnGa_2S_4 , MnIn_2S_4 и MnGaInS_4

© Н.Н. Нифтиев, О.Б. Тагиев*

Азербайджанский государственный педагогический университет,
Az-1000 Баку, Азербайджан

* Институт физики Национальной академии наук Азербайджана,
Az-1143 Баку, Азербайджан

(Получена 16 декабря 2008 г. Принята к печати 31 января 2009 г.)

Приводятся результаты исследования влияния сильного электрического поля на электропроводность монокристаллов MnGa_2S_4 , MnIn_2S_4 и MnGaInS_4 . Определены энергии активации в сильном и слабом электрических полях. Установлено, что уменьшение энергии активации с ростом внешнего напряжения связано с уменьшением высоты потенциальной ямы, в которой электрон находится.

PACS: 72.80.Ga, 73.20.Nb

Тройные халькогенидные соединения обладают комплексом исключительно важных свойств и находят широкое применение в различных областях новой техники. В этом плане вызывает интерес группа тройных соединений типа $\text{A}^{\text{II}}\text{B}_2^{\text{III}}\text{X}_4^{\text{VI}}$ (A^{II} — Mn, Fe, Ni, Co; B^{III} — Ga, In; X^{II} — S, Se, Te) [1–14]. Эти соединения перспективны для создания на их основе лазеров, модуляторов света, фотодетекторов и других функциональных устройств, управляемых магнитным полем.

Монокристаллы MnGa_2S_4 , MnIn_2S_4 и MnGaInS_4 относятся к классу соединений типа $\text{A}^{\text{II}}\text{B}_2^{\text{III}}\text{X}_4^{\text{VI}}$, и некоторые их физические свойства изучались в работах [6–11]. В [7] исследованы вольт-амперные характеристики (ВАХ) монокристаллов MnGa_2S_4 и MnIn_2S_4 , работы [8,9] посвящены изучению термостимулированных токов в монокристаллах MnIn_2S_4 и MnGaInS_4 .

В настоящей работе приводятся результаты исследования влияния сильного электрического поля на электропроводность монокристаллов MnGa_2S_4 , MnIn_2S_4 и MnGaInS_4 .

Монокристаллы MnGa_2S_4 и MnIn_2S_4 были получены методом химических транспортных реакций. Рентгеноструктурные исследования показали, что MnGa_2S_4 кристаллизуется в пространственной группе $I4$ (параметры решетки: $a = 5.46 \text{ \AA}$, $c = 10.50 \text{ \AA}$, $c/a = 1.92$ [15]), а MnIn_2S_4 обладает кубической структурой, пространственная группа $Fd3m$ (параметр решетки $a = 10.71 \text{ \AA}$ [1]). Монокристаллы MnGaInS_4 получены методом Бриджмена и являются слоистыми кристаллами. Установлено, что MnGaInS_4 кристаллизуется в структуре однопакетного политаипа ZnIn_2S_4 с параметрами кристаллической решетки $a = 3.80 \text{ \AA}$, $c = 12.17 \text{ \AA}$, $z = 1$, пространственная группа $P3m1$ [16]. Для измерения электропроводности контакты к образцам создавались вплавлением индия на противоположные поверхности пластины.

На рис. 1–3 приведены температурные зависимости электропроводности $\sigma(T)$ монокристаллов MnGa_2S_4 , MnIn_2S_4 и MnGaInS_4 в разных электрических полях. Ранее [6,7] нами для этих монокристаллов были ис-

следованы ВАХ и выявлены различные участки. Для всех монокристаллов кривые 1 взяты из омического участка ВАХ (слабое поле), кривые 2, 3 соответствуют неомическим областям ВАХ (сильному электрическому полю). Видно, что для монокристаллов MnGa_2S_4 и MnGaInS_4 аппроксимация проводимости зависимостью $\sigma \propto \exp(10^3/T)$ дает в логарифмических координатах две прямые с различными наклонами (рис. 1, а, 3, а). Определены энергии активации носителей тока по наклонам прямых. Найденные значения энергии активации для монокристаллов MnGa_2S_4 и MnGaInS_4 соответственно равны: $E_1 = 0.44 \text{ эВ}$, $E_2 = 1.04 \text{ эВ}$ (поле $3.5 \cdot 10^4 \text{ В/см}$) и $E_1 = 0.46 \text{ эВ}$, $E_2 = 0.67 \text{ эВ}$ (поле $3.6 \cdot 10^4 \text{ В/см}$). Для монокристаллов MnIn_2S_4 аппроксимация зависимостью $\sigma \propto \exp(10^3/T)$ (рис. 2, а) в логарифмических координатах в двух случаях дает прямые, имеющие одинаковые наклоны (зависимости 1 и 2). Зависимость 3 состоит из двух участков с различными наклонами. Энергии активации носителей тока в монокристаллах MnIn_2S_4 , определенные по наклонам прямых на двух участках, соответственно равны: $E_1 = 0.38 \text{ эВ}$, $E_2 = 0.45 \text{ эВ}$ ($4.3 \cdot 10^4 \text{ В/см}$). Следует отметить, что найденные значения энергии активации для монокристаллов MnIn_2S_4 и MnGaInS_4 согласуются с определенными из термостимулированных токов [8,9]. Из рис. 1–3 видно, что определенные из температурных зависимостей электропроводности монокристаллов MnGa_2S_4 , MnIn_2S_4 и MnGaInS_4 на аналогичных активационных высокотемпературных участках энергии активации с ростом внешнего напряжения уменьшаются. Согласно [17–19], уменьшение энергии активации с ростом внешнего напряжения можно представить как

$$\Delta E(F) = \Delta E_0 - 2e\sqrt{\frac{eF}{\epsilon}}, \quad (1)$$

а электропроводность как

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

где $\Delta E(F)$ — зависимость энергии активации от электрического поля. Для монокристаллов MnGa_2S_4 ,

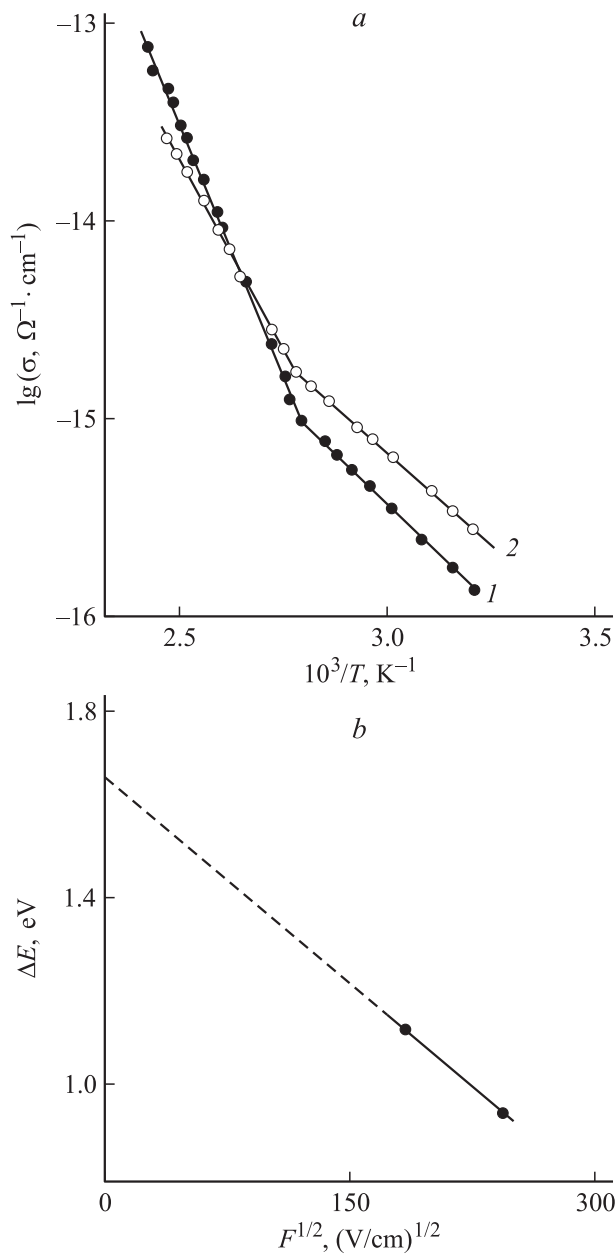


Рис. 1. *a* — температурные зависимости электропроводности монокристаллов $MnGa_2S_4$ в электрических полях $F = 3.5 \cdot 10^4$ (1) и $6 \cdot 10^4 \text{ В/см}$ (2). *b* — зависимости ΔE от \sqrt{F} , определенные из высокотемпературной части $\lg \sigma = f(1/T)$ монокристаллов $MnGa_2S_4$.

$MnIn_2S_4$ и $MnGaInS_4$ зависимости энергии активации ΔE от квадратного корня из напряженности электрического поля \sqrt{F} представлены на рис. 1, *b*–3, *b*. Из рисунков видно, что, согласно выражению (1), ΔE линейно уменьшается с ростом \sqrt{F} . Экстраполяцией прямой $\Delta E = f(F)$ к оси $\sqrt{F} \rightarrow 0$ определена энергия активации ΔE_0 в слабом электрическом поле. Значения энергии активации ΔE_0 в слабом электрическом поле для монокристаллов $MnGa_2S_4$, $MnIn_2S_4$ и $MnGaInS_4$ соответственно равны 1.66, 0.59, 0.78 эВ.

Влияние сильного электрического поля на электропроводность связано с тем, что электрон, связанный с локальным уровнем, находится по отношению к зоне проводимости в потенциальной яме и высота потенциальной ямы при наличии сильного электрического поля уменьшается на величину, определяемую выражением (1) [19].

Таким образом, исследовано влияние сильного электрического поля на электропроводность монокристаллов $MnGa_2S_4$, $MnIn_2S_4$ и $MnGaInS_4$. Определена энергия активации в сильном и слабом электрических полях. Установлено, что уменьшение энергии активации с ростом

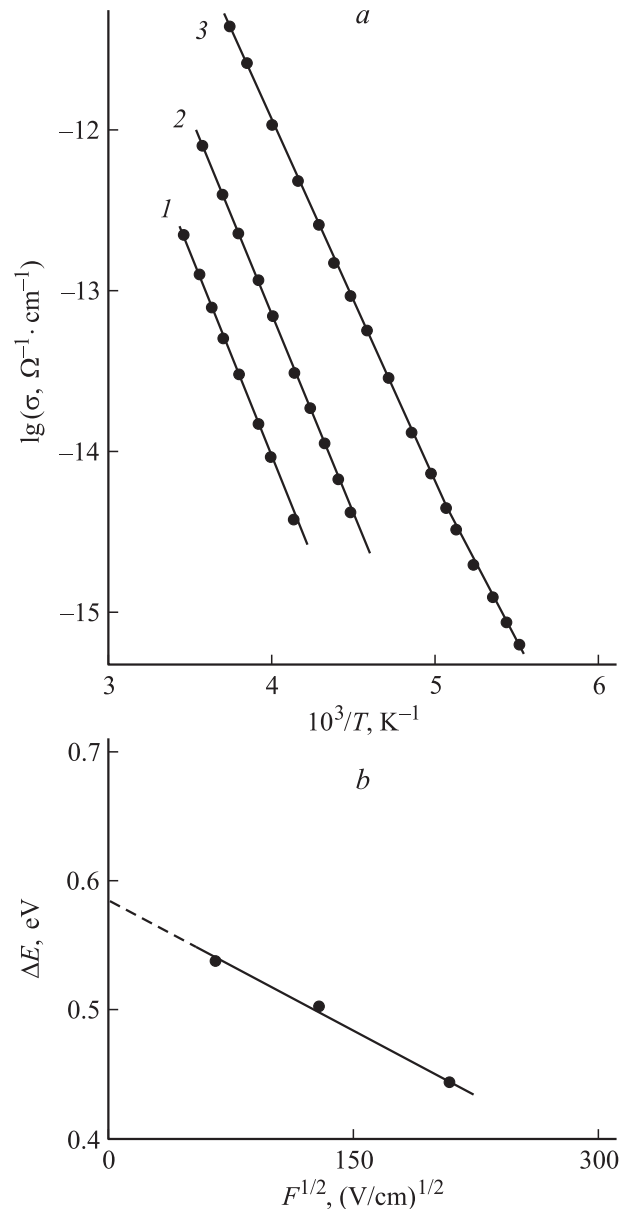


Рис. 2. *a* — температурные зависимости электропроводности монокристаллов $MnIn_2S_4$ в электрических полях $F = 4.3 \cdot 10^3$ (1), $1.7 \cdot 10^4$ (2), $4.3 \cdot 10^4 \text{ В/см}$ (3). *b* — зависимости ΔE от \sqrt{F} , определенные из $\lg \sigma = f(1/T)$ в монокристаллах $MnIn_2S_4$.

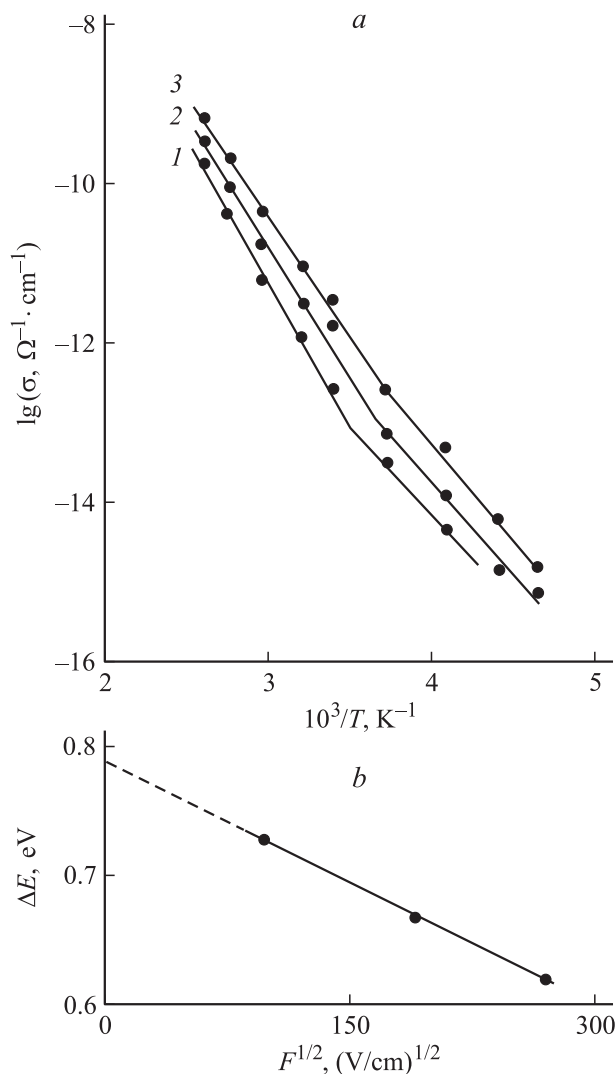


Рис. 3. *a* — температурные зависимости электропроводности монокристаллов MnGaInS_4 в электрических полях $9.1 \cdot 10^3$ (1), $3.6 \cdot 10^4$ (2), $7.3 \cdot 10^4$ В/см (3). *b* — зависимости ΔE от \sqrt{F} , определенные из высокотемпературной части $\lg \sigma = f(1/T)$ монокристаллов $\text{MnGaIn}_2\text{S}_4$.

внешнего напряжения связано с уменьшением высоты потенциальной ямы, в которой находится электрон.

Список литературы

- [1] Т. Kanomata, Н. Ido, Т. Kaneko. J. Phys. Soc. Jpn., **34**, 554 (1973).
- [2] Б.К. Бабаева. В сб.: *Тройные полупроводники и их применение* (Кишинев, Штиинца, 1976) с. 96.
- [3] Р.Н. Бекимбетов, Г.А. Медведкин, В.Д. Прочухан и др. Письма ЖТФ, **13**, 1040 (1987).
- [4] G.A. Medvedkin, Yu.V. Rud, M.A. Tairov. Phys. Status Solidi A, **3**, 289 (1989).
- [5] Г.К. Аверкиева, Р.Н. Бекимбетов, Н.Н. Константинова и др. Неорг. матер., **24**, 591 (1988).

- [6] Н.Н. Нифтиев, О.Б. Тагиев, А.Г. Рустамов. ФТП, **27**, 386 (1993).
- [7] Н.Н. Нифтиев, О.Б. Тагиев. ФТП, **38**, 164 (2004).
- [8] Н.Н. Нифтиев. ФТП, **36**, 836 (2002).
- [9] Н.Н. Нифтиев, О.Б. Тагиев. Неорг. матер., **38**, 686 (2003).
- [10] N.N. Niftiyev. Intermetallics, **11**, 975 (2003).
- [11] Н.Н. Нифтиев, О.Б. Тагиев. Письма ЖТФ, **29** (10), 49 (2003).
- [12] Н.Н. Нифтиев, М.А. Алиджанов, О.Б. Тагиев, Ф.М. Мамедов, М.Б. Мурадов. ФТП, **38**, 550 (2004).
- [13] C. Xiangying, Z.Zhongjic, Z. Xingfa, L. Jianwei, Q. Yilai. J. Cryst. Growth, **277**, 524 (2005).
- [14] T. Torres, V. Sagredo, L. De Chalbaud, G. Attolini, F. Bolzoni. Phys. B: Condens. Matter, **384**, 100 (2006).
- [15] R. Rimet, C. Schelenker. J. Phys., **43**, 1759 (1982).
- [16] C. Battistoni, L. Gastaldi, G. Mattagno, M.G. Simeone, S. Viticoli. Sol. St. Commun., **61**, 43 (1987).
- [17] Я.И. Френкель. ЖЭТФ, **8**, 1292 (1938).
- [18] Б.Г. Тагиев, О.Б. Тагиев, Н.Н. Мусаева. ФТП, **29**, 1403 (1995).
- [19] О.Б. Тагиев, Т.Ш. Гашимова, И.А. Аскеров. ФТП, **32**, 701 (1998).

Редактор Л.В. Шаронова

Influence of a high electric field on conductivity of MnGa_2S_4 , MnIn_2S_4 , MnGaInS_4 single crystals

N.N.Niftiyev, O.B. Tagiev*

Azerbaijan State Pedagogical University,
Az-1000 Baku, Azerbaijan

* Institute of Physics,
National Academy of Sciences of Azerbaijan,
Az-1143 Baku, Azerbaijan