

## Электрические свойства $\text{MnIn}_2\text{Se}_4$

© Н.Н. Нифтиев, М.А. Алиджанов, О.Б. Тагиев, Ф.М. Мамедов, М.Б. Мурадов

Азербайджанский государственный педагогический университет,  
370000 Баку, Азербайджан

(Получена 13 октября 2003 г. Принята к печати 4 ноября 2003 г.)

Исследованы температурная зависимость электропроводности и вольт-амперные характеристики кристаллов  $\text{MnIn}_2\text{Se}_4$ . Показано, что ток в нелинейной области вольт-амперной характеристики обусловлен полевым эффектом. Определены энергии активации носителей тока и концентрации ловушек. В  $\text{MnIn}_2\text{Se}_4$  наблюдалась релаксация тока со временем.

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  $A^{II}B_2^{III}X_4^{VI}$  (где  $A$  — Mn, Fe, Ni, Co;  $B$  — Ga, In;  $X$  — S, Se, Te), ряд из которых уже получен, однако изучен недостаточно [1–5]. Эти соединения перспективны для создания на их основе лазеров, модуляторов света, фотодетекторов и других функциональных устройств, управляемых магнитным полем.

$\text{MnIn}_2\text{Se}_4$  относится к классу соединений типа  $A^{II}B_2^{III}X_4^{VI}$ , физические свойства которых малоизучены [2,3].

В настоящей работе приводятся результаты исследования температурной зависимости электропроводности  $\sigma(T)$  и вольт-амперных характеристик (ВАХ) в кристаллах  $\text{MnIn}_2\text{Se}_4$ .

$\text{MnIn}_2\text{Se}_4$  получен прямым сплавлением элементов высокой чистоты (99.99%) в стехиометрических количествах. Рентгенографическим методом установлено, что поликристаллы  $\text{MnIn}_2\text{Se}_4$  имеют гексагональную структуру с постоянными кристаллической решетки:  $a = 4.19 \text{ \AA}$ ,  $c = 12.90 \text{ \AA}$ ;  $c/a = 3.08$ . Образцы изготавливались путем механической обработки слитка. Контакты к образцам создавались вплавлением индия на противоположные поверхности (сэндвич-структура). Для исследования электрических свойств использовали вырезанные из слитков пластинки размером порядка  $2 \times 4 \times 6 \text{ мм}$ . Кристаллы  $\text{MnIn}_2\text{Se}_4$  обладают  $n$ -типом проводимости.

На рис. 1 для  $\text{MnIn}_2\text{Se}_4$  представлена температурная зависимость удельной электропроводности. Зависимость  $\sigma \propto \exp(10^3/T)$  состоит из двух прямых с различными наклонами. Энергии активации примесных уровней в  $\text{MnIn}_2\text{Se}_4$ , определенные по этим наклонам, соответственно равны:  $E_1 = 21$ ,  $E_2 = 27 \text{ мэВ}$ .

На рис. 2 при различных температурах представлены ВАХ для структур  $\text{In-MnIn}_2\text{Se}_4\text{-In}$ . На ВАХ выявляются два участка: линейный ( $J \propto U$ ) и область более резкого роста тока ( $J \propto U^n$ ,  $n > 1$ ).

Видно, что при малых напряжениях ток, проходящий через образец, подчиняется закону Ома. При дальнейшем увеличении напряжения начинает нарушаться закон Ома, ток растет по степенному закону ( $J \propto U^n$ ). В нели-

нейной области механизм прохождения тока обусловлен полевым эффектом, так как экспериментальные точки зависимости электропроводности от электрического поля хорошо согласуются с теорией термоэлектронной ионизации Френкеля [6]:

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

где  $\sigma_0$  — проводимость в слабых полях,  $\beta$  — коэффициент Френкеля. Согласно выражению

$$N_t = \left( \frac{2e}{kT\beta} \sqrt{F_{cr}} \right)^3,$$

располагая значениями минимального электрического поля, при котором начинается зависимость  $\sigma$  от  $F$ , т. е.  $F_{cr}$ , оценена концентрация ионизированных центров  $N_t = 9.2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$  [7].

В  $\text{MnIn}_2\text{Se}_4$  наблюдалась релаксация тока со временем. На рис. 3 показана экспериментальная зависимость величины тока от времени  $t$  при фиксированном напряжении  $V = 30 \text{ В}$ . Из рисунка видно, что в начале (0–50 с) ток быстро уменьшается, затем с увеличением времени (60–400 с) ток уменьшается медленно.

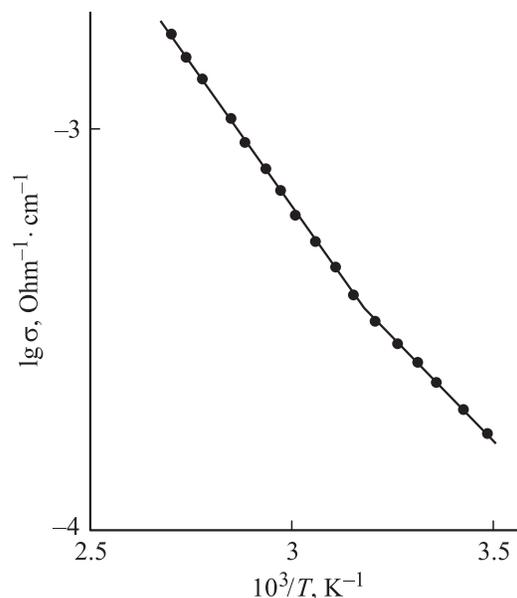
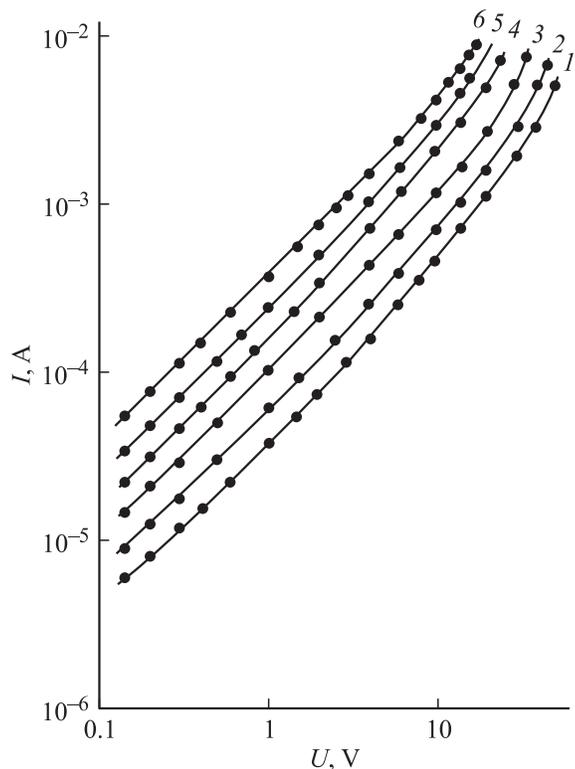
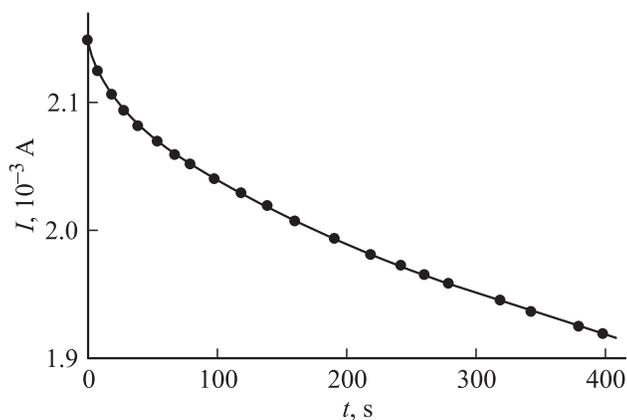


Рис. 1. Температурная зависимость электропроводности  $\text{MnIn}_2\text{Se}_4$ .



**Рис. 2.** Темновые ВАХ структур  $In-MnIn_2Se_4-In$  при различных температурах:  $T, K$ : 1 — 289, 2 — 309, 3 — 329, 4 — 349, 5 — 364, 6 — 379.



**Рис. 3.** Зависимости тока, текущего через систему при  $V = 30 V$ , от времени выдержки кристалла под напряжением.

Предполагается, что изменения тока со временем вызваны накоплением заряда в узкой области кристалла  $\sim 10^{-4}-10^{-5}$  см. С зарядом связано существование обратной эдс, приводящей к уменьшению текущего через кристалл тока [8]. Релаксационный процесс начинается с напряжения 1 В. Однако при высоких напряжениях и температурах ток слабее зависит от времени.

Таким образом, на основе исследований ВАХ и зависимости  $\sigma(T)$  показано, что ток в нелинейной области обусловлен полевым эффектом. Определены энергии активации носителей тока и концентрации ловушек. В  $MnIn_2Se_4$  наблюдалась релаксация тока со временем.

## Список литературы

- [1] Т. Kanomata, Н. Ido, Т. Kaneko. J. Phys. Soc. Japan, **34**, 554 (1973).
- [2] Б.К. Бабаева, М.Р. Аллазов. В кн.: *Исследования в области неорганической и физической химии* (Баку, Наука, 1977).
- [3] Д.С. Аждарова. *Полупроводники на основе халькогенидов марганца* (Баку, Наука, 2001).
- [4] G.A. Medvedkin, Yu.V. Rud, M.A. Tairov. Phys. St. Sol. A, **3**, 289 (1989).
- [5] Н.Н. Нифтиев, М.А. Алиджанов, О.Б. Тагиев, М.Б. Мурадов. ФТП, **37**, 173 (2003).
- [6] Я.И. Френкель. ЖЭТФ, **8**, 1292 (1938).
- [7] Hill. Philos. Mag., **23**, 59 (1971).
- [8] Б.Л. Тиман, А.П. Карпова. ФТП, **7**, 230 (1973).

Редактор Л.В. Беляков

## Electric characteristics of $MnIn_2Se_4$

*N.N. Niftiev, M.A. Alidjanov, O.B. Tagiev,  
F.M. Mamedov, M.B. Muradov*

Azerbaijan State Pedagogical University  
370000 Baku, Azerbaijan

**Abstract** Studied are temperature dependence of electroconductivity and volt-ampere characteristics of  $MnIn_2Se_4$  crystals. It has been shown that the current in the non-linear area is conditioned by the field effect. The activation energy both the carriers and the trap density have been found. In  $MnIn_2Se_4$  current relaxation with time has been observed.