

Термостимулированные токи в монокристаллах $MnIn_2S_4$

© Н.Н. Нифтиев

Азербайджанский государственный педагогический университет,
Баку, Азербайджан

(Получена 11 февраля 2002 г. Принята к печати 18 февраля 2002 г.)

Исследованиями термостимулированных токов в монокристаллах $MnIn_2S_4$ выявлено наличие быстрых уровней прилипания. Определены глубины залегания уровней, концентрация и сечения захвата ловушек. На основе методов термостимулированных токов и термической реакции расчистки выявлено, что в запрещенной зоне монокристаллов $MnIn_2S_4$ имеются экспоненциально распределенные уровни прилипания ($0.05 \div 0.21$ эВ) и на фоне этих уровней дискретные ловушечные уровни с энергией 0.14 эВ.

Тройные соединения типа $A^{II}B_2^{III}X_4^{VI}$ (где А — Mn, Fe, Co, Ni; В — Ga, In; X — S, Se, Te) представляют собой один из классов магнитных полупроводников, интерес к которым в последние годы непрерывно возрастает в связи с возможностью расширения функционального диапазона полупроводниковых приборов [1–4]. Эти соединения перспективны для создания на их основе лазеров, модуляторов света, фотодетекторов и других устройств, управляемых магнитным полем.

Монокристаллы $MnIn_2S_4$ являются одним из представителей соединений типа $A^{II}B_2^{III}X_4^{VI}$ и в настоящей работе приводятся результаты исследования локальных уровней прилипания методами термостимулированной проводимости (ТСП) и токов термостимулированной деполяризации (ТСД) в монокристаллах этого материала.

Монокристаллы $MnIn_2S_4$ были получены методом химических транспортных реакций. При этом в качестве переносчика использовался кристаллический йод (4 мг/см^3). Температуры горячей и холодной зоны были взяты равными $T_1 = 800^\circ\text{C}$ и $T_2 = 700^\circ\text{C}$. Рентгенографическим методом установлено, что полученные нами монокристаллы обладают шпинельной структурой с параметром кристаллической решетки $a = 10.71 \text{ \AA}$ [2]. Монокристаллы $MnIn_2S_4$ обладали проводимостью n -типа. Контакты к образцам создавались сплавлением индия к противоположным поверхностям (сэндвич-структура). Расстояние между электродами измерялось в пределах 50–300 мкм.

На рис. 1 представлены спектры ТСП (кривые 1, 2) и ТСД (кривые 3, 4) для монокристаллов $MnIn_2S_4$. Из кривых 1 и 2 видно, что с увеличением скорости нагрева максимум ТСП увеличивается и смещается в сторону высоких температур. Большая полуширина пика ТСП (45 К) свидетельствует о том, что относительно мелкие уровни прилипания в запрещенной зоне монокристаллов не дискретны.

Для более точного определения параметров уровней ловушек необходимо знать тип уровней прилипания. Анализ формы пиков ТСП и ТСД показывает [5], что для всех наблюдаемых пиков выполняется условие

$$\delta > e^{-1} \left(1 + \frac{2kT_m}{E_t} \right), \quad \delta = \frac{T_2 - T_m}{T_2 - T_1},$$

где T_m — температура максимума ТСП, (ТСД); T_1, T_2 — температуры, соответствующие половине интенсивно-

сти максимума ТСП (ТСД) со стороны низкой и высокой температуры. Соблюдение этого условия указывает на наличие в монокристалле быстрых уровней прилипания.

Глубина залегания ловушек определялась методом Бьюба [6], методом разностей скоростей нагрева [7] и по формулам, учитывающим формы кривых ТСП и ТСД [8–10]. Концентрация и сечения захвата ловушек находились так же, как в работе [10]. Средние значения этих величин равны:

$$E_{t1} = 0.21 \pm 0.03 \text{ эВ}; \quad E_{t2} = 0.38 \pm 0.02 \text{ эВ};$$

$$E_{t3} = 0.59 \pm 0.02 \text{ эВ};$$

$$N_{t1} = 2.2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}; \quad N_{t2} = 2.6 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3};$$

$$N_{t3} = 5.2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3};$$

$$S_{t1} = 4.4 \cdot 10^{-18} \text{ см}^2; \quad S_{t2} = 1.7 \cdot 10^{-17} \text{ см}^2;$$

$$S_{t3} = 2.3 \cdot 10^{-17} \text{ см}^2.$$

На рис. 2 представлены кривые термической расчистки в $MnIn_2S_4$ для пика ТСП с $T_m = 122 \text{ К}$. Видно, что при последовательных циклах нагрева (кривые 1–4) наклон

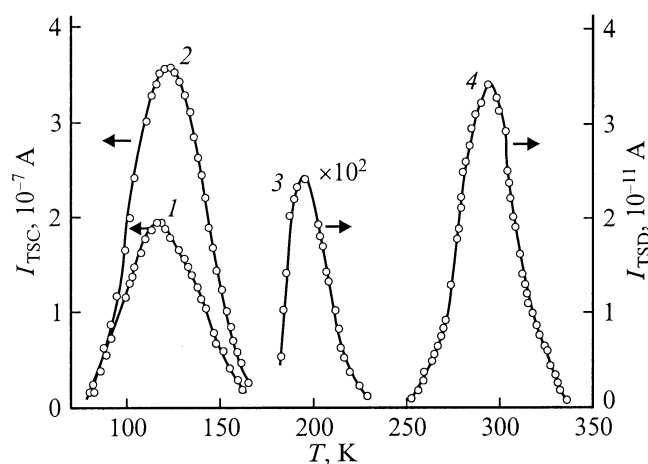


Рис. 1. Кривые термостимулированной проводимости (1, 2) и токов термостимулированной деполяризации (3, 4) в монокристаллах $MnIn_2S_4$. Скорости нагрева, К/с: 1 — 0.25, 2 — 0.60; 3, 4 — 0.20. Величина поляризующего поля, В/см: 3, 4 — $4.5 \cdot 10^4$.

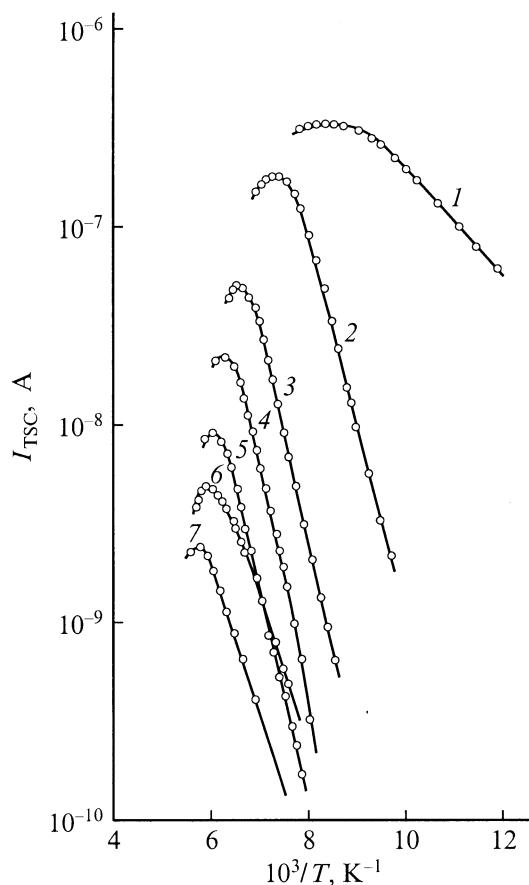


Рис. 2. Кривые термостимулированной проводимости $MnIn_2S_4$, полученные в результате последовательных ($I \rightarrow 7$) циклов нагрева.

прямой, соответствующей начальному росту тока ТСП, увеличивается (от 0.05 до 0.21 эВ). В последующих циклах (кривые 4–7) наклон прямых уменьшается и соответствующие им энергии активации уменьшаются от 0.21 до 0.14 эВ. Из теории ТСП известно, что если в последующих циклах энергия активации увеличивается, тогда уровни прилипания квазинепрерывно распределены по энергиям, а в случае уменьшения энергии активации уровни прилипания являются дискретными. Учитывая вышесказанное, на основе исследования ТСП можно заключить, что в запрещенной зоне монокристаллов имеются два уровня ловушек: экспоненциально распределенные уровни прилипания (0.05–0.20 эВ) и на их фоне — дискретные уровни ловушек с энергией 0.14 эВ.

Таким образом, в результате исследования методами ТСП и ТСД в монокристаллах $MnIn_2S_4$ выявлено наличие быстрых уровней прилипания. Определены глубины залегания уровней, концентрация и сечения захвата ловушек. Методом термической расчистки спектра ТСП выявлено, что в запрещенной зоне монокристаллов $MnIn_2S_4$ имеются экспоненциально распределенные уровни прилипания (0.05–0.21 эВ) и на фоне этих уровней — дискретные уровни ловушек с энергией 0.14 эВ.

Список литературы

- [1] Э. Метфессель, Д. Мигтис. *Магнитные полупроводники* (М., Мир, 1972).
- [2] Т. Kanomata, Н. Ido, Т. Kaneko. *J. Phys. Soc. Japan*, **34**, 554 (1973).
- [3] Р.Н. Бекембетов, Ю.В. Рудь, М.А. Таиров. *ФТП*, **21**, 1051 (1987).
- [4] С. Марцинкявичюс, Г. Амбразявичюс, Р.Н. Бекембетов, Г.А. Медведкин. *ФТП*, **22**, 1919 (1988).
- [5] P.G. Litovchenko, V.I. Ustianov. *Актуальные вопросы физики полупроводниковых приборов* (Wilnius, Mokslas, 1960) p. 153.
- [6] Р. Бьюб. *Фотопроводимость твердых тел* (М., Мир, 1962).
- [7] G.F. Garlik, A.F. Gibson. *Proc. Phys. Soc.*, AGO 574 (1948).
- [8] Ч.Б. Лушик. *ДАН СССР, сер. физ.*, **101**, № 4 (1953).
- [9] Ya.A. Piasta. *Mikroelektronika*, **3**, 178 (1974).
- [10] Г.А. Бордовски. В сб.: *Фотопроводящие окислы свинца* (1976) с. 87.

Редактор Т.А. Полянская

Thermostimulated currents in single crystals $MnIn_2S_4$

N.N. Niftiev

Azerbaijan State Pedagogical University,
Baku, Azerbaijan