

Проводимость по локализованным состояниям в монокристалле твердого раствора $\text{TlGa}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{Se}_2$

© С.Н. Мустафаева, Э.М. Керимова, А.И. Джаббарлы

Институт физики Национальной академии наук Азербайджана,
1143 Баку, Азербайджан

(Поступила в Редакцию 5 мая 2004 г.)

Установлено, что в температурной области 128–178 К в слоистом монокристалле твердого раствора $\text{TlGa}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{Se}_2$ вдоль его естественных слоев в постоянном электрическом поле имеет место перескоковая проводимость с переменной длиной прыжка по локализованным вблизи уровня Ферми состояниям. Оценены плотность состояния $N_F = 2.8 \cdot 10^{17} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-3}$ в окрестности уровня Ферми, их разброс $\Delta E = 0.13 \text{ eV}$, среднее расстояние прыжков $R = 233 \text{ \AA}$ и концентрация глубоких ловушек $N_t = 3.6 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$.

Исследование слоистых соединений типа TlMeX_2^6 ($M = \text{In, Ga; X} = \text{S, Se}$) и твердых растворов на их основе представляет интерес для установления зависимостей электрических, фотоэлектрических и оптических свойств от состава и управления этими свойствами. Частичное замещение галлия в кристаллах TlGaSe_2 железом придает этим кристаллам магнитные свойства, которые могут быть полезными при разработке материалов, управляемых с помощью магнитного поля.

В [1,2] изучены транспортные свойства монокристалла TlGaSe_2 и поликристаллов TlFeSe_2 и установлено наличие в них перескоковой проводимости при низких температурах.

Цель настоящей работы — изучение проводимости по локализованным состояниям в монокристалле твердого раствора $\text{TlGa}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{Se}_2$ на постоянном токе и сравнение полученных результатов с данными для TlGaSe_2 и TlFeSe_2 .

Поликристаллы $\text{TlGa}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{Se}_2$ были синтезированы сплавлением исходных высокочистых (не менее 99.99) элементов (Tl, Ga, Fe, Se) в вакуумированных до 10^{-3} Па кварцевых ампулах, а их монокристаллы были выращены методом Бриджмена–Стокбаргера.

Образцы из $\text{TlGa}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{Se}_2$ для электрических измерений имели толщину $d = 0.14 \text{ cm}$, а расстояние между контактами составляло $l = 0.4 \text{ cm}$. Омические контакты к образцам создавались путем электролитического осаждения меди. Электрическая проводимость (σ) полученных образцов измерена в температурном диапазоне 128–303 К. Напряженность постоянного электрического поля, приложенного вдоль слоев кристалла, соответствовала омическому участку вольт-амперной характеристики.

На рис. 1 представлена температурная зависимость электропроводности монокристалла $\text{TlGa}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{Se}_2$. На зависимости $\lg \sigma$ от $10^3/T$ в области температур 178–303 К прослеживается экспоненциальный участок. При уменьшении температуры ниже 178 К наблюдается непрерывное уменьшение энергии активации проводимости. Температурная зависимость проводимости, характеризующаяся монотонно убывающей энергией активации, перестроена в координатах $\lg \sigma$ от $T^{-1/4}$ и представлена на врезке рис. 1. Видно, что все экспери-

ментальные точки хорошо спрямляются в этих координатах. Это позволяет утверждать, что в указанной области температур (128–178 К) перенос заряда вдоль слоев монокристалла $\text{TlGa}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{Se}_2$ осуществляется посредством перескоковой проводимости по состояниям, лежащим в узкой полосе энергий вблизи уровня Ферми [3],

$$\sigma \sim \exp[-(T_0/T)^{1/4}]. \quad (1)$$

Наклон прямой $\lg \sigma$ от $T^{-1/4}$ составлял $T_0 = 1.7 \cdot 10^7 \text{ K}$. По формуле [3]

$$N_F = \frac{16}{T_0 k a^3}, \quad (2)$$

где k — постоянная Больцмана, a — радиус локализации, мы определили плотность локализованных состояний вблизи уровня Ферми в кристаллах $\text{TlGa}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{Se}_2$: $N_F = 2.8 \cdot 10^{17} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-3}$. При этом для радиуса локализации взято значение $a = 34 \text{ \AA}$, полученное экспериментально в [4] для монокристалла GaSe.

По формуле [3]

$$R(T) = \frac{3}{8} a T_0^{1/4} T^{-1/4} \quad (3)$$

были оценены расстояния прыжков R носителей заряда при различных температурах. Так, при $T = 128 \text{ K}$

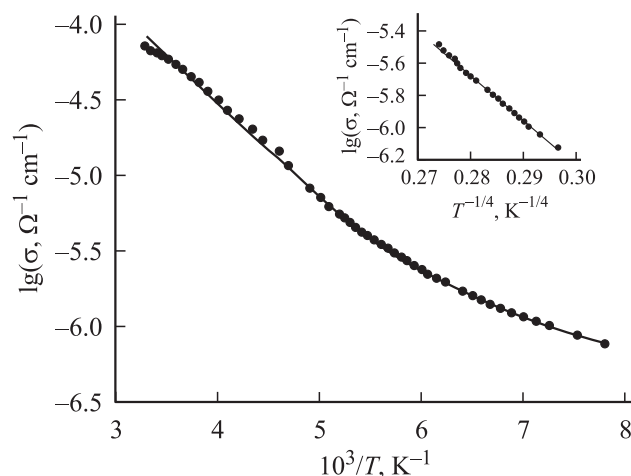


Рис. 1. Температурная зависимость проводимости в монокристалле твердого раствора $\text{TlGa}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{Se}_2$.

Параметры кристаллов $TiGa_{1-x}Fe_xSe_2$ ($x = 0, 0.5$ и 1.0)

Кристалл	Удельное сопротивление при 298 К, ρ , $\Omega \cdot \text{cm}$	T_0 , К	N_F , $\text{eV}^{-1} \text{cm}^{-3}$	R_{av} , \AA	ΔE , eV	N_t , cm^{-3}
$TiGaSe_2$	10^4	$5.4 \cdot 10^5$	$1.3 \cdot 10^{19}$	150	0.011	$1.4 \cdot 10^{17}$
$TiGa_{0.5}Fe_{0.5}Se_2$	$1.5 \cdot 10^4$	$1.7 \cdot 10^7$	$2.8 \cdot 10^{17}$	233	0.13	$3.6 \cdot 10^{16}$
$TiFeSe_2$	25	$1.4 \cdot 10^6$	$3.3 \cdot 10^{18}$	104	0.13	$4.3 \cdot 10^{17}$

$R = 243 \text{\AA}$, а при $T = 178 \text{ К}$ $R = 224 \text{\AA}$. Среднее расстояние прыжков в изученном интервале температур составляло 233\AA , что в ~ 7 раз превышает среднее расстояние между центрами локализации носителей заряда. Энергетически центры локализации разнесены на величину ΔE , которую можно оценить по формуле [3]

$$\Delta E = \frac{3}{2\pi R^3 N_F}. \quad (4)$$

Из (4) для разброса ловушечных состояний вблизи уровня Ферми было получено значение $\Delta E = 0.13 \text{ eV}$. Концентрация глубоких ловушек в $TiGa_{0.5}Fe_{0.5}Se_2$, определенная по формуле

$$N_t = N_F \cdot \Delta E, \quad (5)$$

была равна $3.6 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$.

В таблице приведены для сравнения результаты изучения перескоковой проводимости вдоль слоев в $TiGaSe_2$ [1], $TiGa_{0.5}Fe_{0.5}Se_2$ и $TiFeSe_2$ [2]. Как видно из таблицы, в отличие от монокристаллов $TiGaSe_2$ составы $TiGa_{0.5}Fe_{0.5}Se_2$ и $TiFeSe_2$ характеризуются широкой полосой энергий (ΔE) в окрестности уровня Ферми, что приближает их по энергетической структуре к аморфным полупроводникам. Наиболее высокая концентрация глубоких ловушек (N_t) имеет место в поликристаллах

$TiFeSe_2$, а в $TiGa_{0.5}Fe_{0.5}Se_2$ N_t на порядок ниже. На этом фоне вполне закономерным экспериментальным фактом является то, что среднее расстояние прыжков в $TiGa_{0.5}Fe_{0.5}Se_2$ значительно превышает R_{av} в $TiGaSe_2$ (\sim в 1.5 раза) и $TiFeSe_2$ (\sim в 2 раза). На рис. 2 построена зависимость среднего расстояния прыжков в $TiGa_{1-x}Fe_xSe_2$ ($x = 0, 0.5$ и 1.0) от концентрации глубоких ловушек. Видно, что R_{av} линейно уменьшается с увеличением $\lg N_t$.

Список литературы

- [1] С.Н. Мустафаева, В.А. Алиев, М.М. Асадов. ФТТ **40**, 1, 48 (1998).
- [2] С.Н. Мустафаева, Э.М. Керимова, А.И. Джаббарлы. ФТТ **42**, 12, 2132 (2000).
- [3] Н. Мотт, Э. Дэвис. Электронные процессы в некристаллических веществах. Мир, М. (1974).
- [4] С.Н. Мустафаева. Неорган. материалы **30**, 5, 619 (1994).

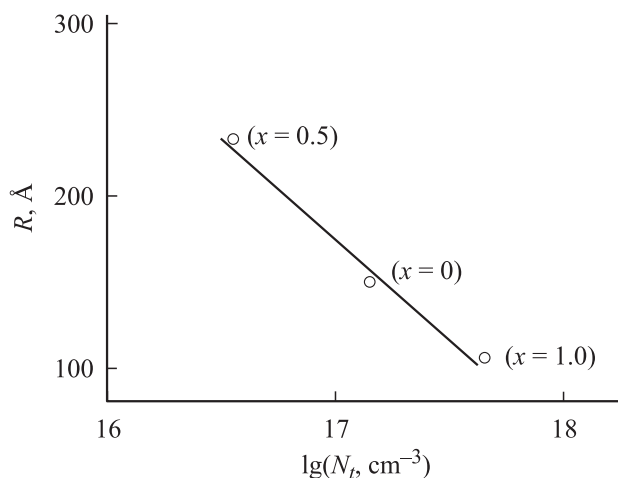


Рис. 2. Зависимость среднего расстояния прыжков в $TiGa_{1-x}Fe_xSe_2$ ($x = 0, 0.5$ и 1.0) от концентрации глубоких ловушек.