

Электрические свойства монокристаллов FeIn_2Se_4

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

Азербайджанский государственный педагогический университет,
370000 Баку, Азербайджан

(Получена 5 июня 2002 г. Принята к печати 27 июня 2002 г.)

Исследованы температурная зависимость электропроводности и вольт-амперные характеристики монокристаллов FeIn_2Se_4 . Показано, что ток в нелинейной области вольт-амперной характеристики обусловлен полевым эффектом. Определены энергии активации носителей тока и концентрации ловушек, а также форма потенциальной ямы в области ловушки.

В последние годы резко возрос интерес к полупроводникам типа $\text{A}^{\text{II}}\text{B}_2^{\text{III}}\text{X}_4^{\text{VI}}$ (где А — Fe, Mn, Ni, Co; В — Ga, In; X — S, Se, Te), содержащим элементы с незаполненными d -оболочками [1–6]. Эти соединения перспективны для создания на их основе лазеров, модуляторов света, фотодетекторов и других функциональных устройств, управляемых магнитным полем.

Монокристаллический FeIn_2Se_4 является соединением, электрические свойства которого практически не изучены. В данной работе приводятся результаты исследования температурных зависимостей электропроводности $\sigma(T)$ и вольт-амперных характеристик (ВАХ) в монокристаллах FeIn_2Se_4 .

Монокристаллы FeIn_2Se_4 были получены методом Бриджмена и представляют собой плоскопараллельные пластинки.

Рентгенографические исследования показали, что FeIn_2Se_4 кристаллизуется в гексагональной решетке с параметрами: $a = 4.18 \text{ \AA}$, $c = 19.47 \text{ \AA}$, $c/a = 4.65$. [3]. Для измерения ВАХ контакты образцов создавались вплавлением индия к противоположным поверхностям пластин. Расстояние между электродами изменялось в пределах 20–150 мкм.

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

На рис. 2 показано, что зависимость $\sigma \propto \exp(10^3/T)$, вычисленная в омической области ВАХ, состоит из трех прямых с различными наклонами. Наклон высокотемпературных частей зависимости с уменьшением T уменьшается более значительно, чем в низкотемпературной области. Энергии активации примесных уровней в монокристаллах FeIn_2Se_4 , определенные по этим наклонам, соответственно равны: $E_1 = 0.13$, $E_2 = 0.28$, $E_3 = 0.45 \text{ эВ}$.

На рис. 3, а для области резкого роста тока представлены зависимости электропроводности от электрического поля при различных температурах в координатах $\lg \sigma \propto \sqrt{F}$. Как известно, теория экспоненциального роста электропроводности впервые выдвинута Френкелем [7].

$$\sigma = \sigma_0 \exp(\beta \sqrt{F}), \quad (1)$$

где β — коэффициент Френкеля:

$$\beta = \frac{\sqrt{e^3}}{kT \sqrt{\pi \epsilon \epsilon_0}}, \quad (2)$$

e — заряд электрона, ϵ — диэлектрическая проницаемость вакуума, k — постоянная Больцмана, T — абсолютная температура. По наклону прямых на рис. 3, а были определены значения β при различных температурах. Они заключены в пределах $(2-3) \cdot 10^{-2} (\text{см/В})^{1/2}$. Температурная зависимость β , определенная из зависимости $\sigma(F^{1/2})$ при различных температурах, приведена на рис. 3, б. Как видно из рисунка, наблюдается рост β с уменьшением температуры, при этом хорошо выполняется зависимость $\beta \propto 10^3/T$. Такое температурное изменение β согласуется с теорией Френкеля и экстраполяция прямой $\beta \propto 10^3/T$, согласно формуле (2), приводит в начало координат. В работе [8] показано, что минимальное значение электрического поля, соответствующего нелинейной зависимости $\sigma = f(F)$, содержит информацию о концентрации дефектов, ответственных за термополевую ионизацию и проводимость

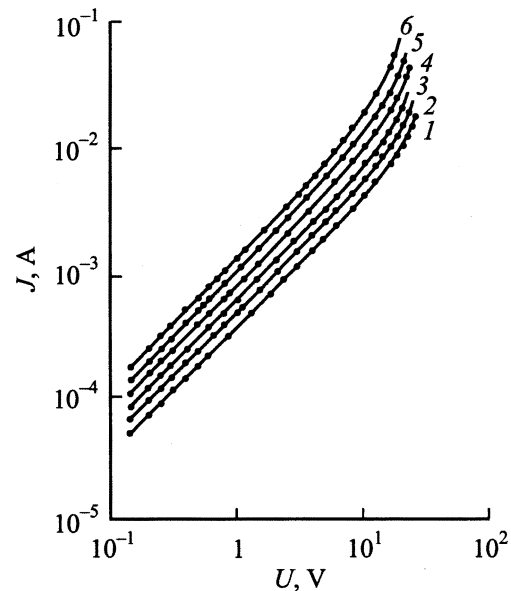


Рис. 1. Темновые ВАХ структур $\text{In-FeIn}_2\text{Se}_4\text{-In}$ при температурах T , К: 1 — 300, 2 — 310, 3 — 323, 4 — 339, 5 — 348, 6 — 363.

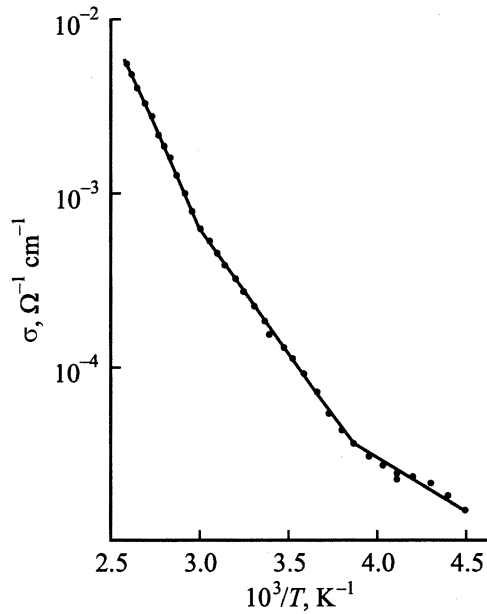


Рис. 2. Температурная зависимость электропроводности для монокристалла FeIn_2Se_4 .

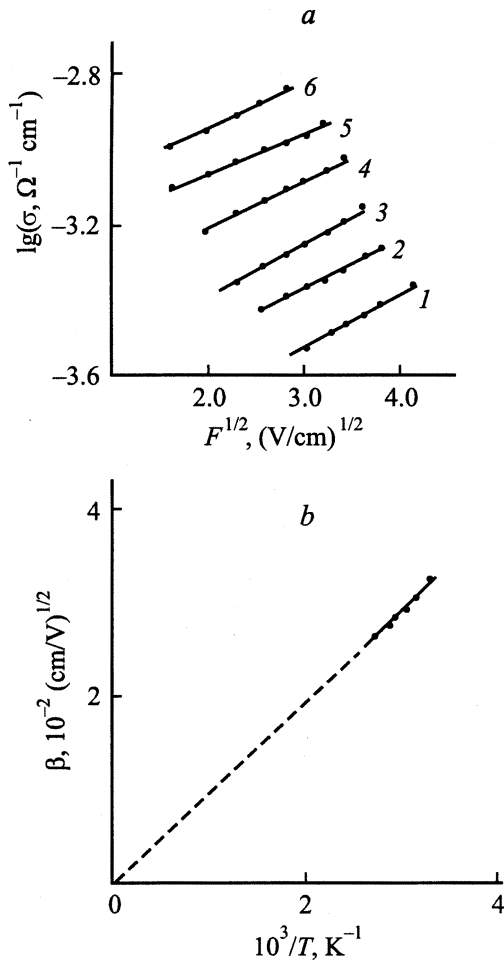


Рис. 3. *a* — зависимость электропроводности монокристаллов FeIn_2Se_4 от напряженности поля F при температурах T , К: 1 — 300, 2 — 310, 3 — 323, 4 — 339, 5 — 348, 6 — 363. *b* — температурная зависимость коэффициента Френкеля β .

кристаллов FeIn_2Se_4 . Согласно выражению

$$N_i = \left(\frac{2e}{kT\beta} \sqrt{F_c} \right)^3, \quad (3)$$

располагая значениями минимального электрического поля F_c , при котором начинается нелинейная зависимость σ от F , можно оценить концентрацию ионизованных центров N_i в FeIn_2Se_4 . Получено значение $N_i = 1.1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. Важное значение имеет определение формы потенциальной ямы. Функция $\varphi(x)$ — потенциальная энергия, зависящая от расстояния до примесного центра или же ловушки (x — расстояние вдоль направления приложенного поля), под действием электрического поля она изменяется [8]. Из работ [8,9] следует, что

$$\varphi(x) = -\frac{kT\beta}{2} \sqrt{F} = eFx, \quad (4)$$

$$x = \frac{kT\beta}{2e} \frac{1}{\sqrt{F}}. \quad (5)$$

С использованием экспериментальных данных при помощи (4) и (5) определена форма потенциальной ямы в FeIn_2Se_4 , которая изображена на рис. 4.

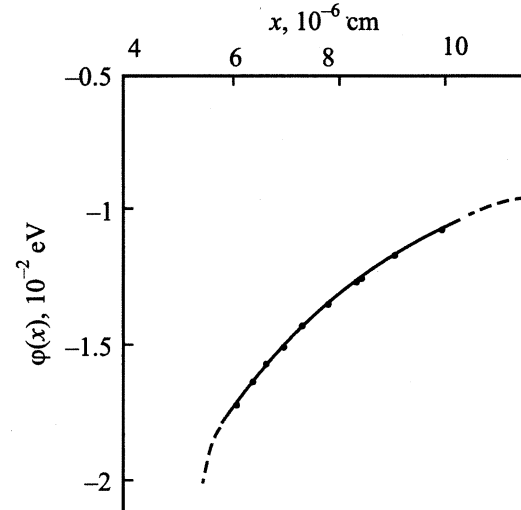


Рис. 4. Форма потенциальной ямы, связанной с электронной ловушкой в FeIn_2Se_4 .

Если известна форма кривой потенциальной энергии для взаимодействия с конкретным центром, то можно получить информацию о структуре центров захвата. Как указывается в работе [9], чтобы электрон покинул центр, должно выполняться условие $\epsilon_e > E_0 - \Delta U_0$. Необходимо, чтобы электрон сохранил энергию до того момента, когда он минует точку перевала и не потерял бы ее при тепловых соударениях.

Это имеет место лишь в тех случаях, когда длина свободного пробега электрона больше эффективных размеров потенциальной ямы. При этом длина свободного

пробега носителей тока определяется следующей формулой [9]:

$$\lambda = \frac{1}{e} f(F_e) = \frac{kT\beta}{2e} \frac{1}{\sqrt{F}}. \quad (6)$$

Длина свободного пробега электрона в монокристаллах FeIn_2Se_4 , вычисленная на основе экспериментальных данных, согласно этой формуле, приблизительно равна $9.8 \cdot 10^{-6}$ см.

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, а также форма потенциальной ямы.

Список литературы

- [1] Т. Kanomata, Н. Ido, Т. Kaneko. J. Phys. Soc. Jap., **34**, 554 (1973).
- [2] Б.К. Бабаева. В сб.: *Тройные полупроводники и их применение* (Кишинев, Штиинца, 1976).
- [3] Б.К. Бабаева, П.Г. Рустамов. В кн.: *Исследования в области неорганической и физической химии* (Баку, Наука, 1977).
- [4] Р.Н. Бекимбетов, Ю.В. Рудь, М.А. Таиров. ФТП, **21**, 1051 (1987).
- [5] Р.Н. Бекимбетов, Н.Н. Константинова, Ю.В. Рудь, М.А. Таиров. Неорг. матер., **24**, 1969 (1988).
- [6] Н.Н. Нифтиев, А.Г. Рустамов, О.Б. Тагиев. ФТП, **28**, 752 (1994).
- [7] Я.И. Френкель. ЖЭТФ, **8**, 1292 (1938).
- [8] R.H. Hill. Philosophical magazine, **23**, 59 (1971).
- [9] Н.Г. Волков, В.К. Ляпидевский. ФТТ, **14**, 1337 (1972).

Редактор Т.А. Полянская

Electrical properties of FeIn_2Se_4 single crystals

N.N. Niftiev, M.A. Alidzhanov, O.B. Tagiev,
M.B. Muradov

Azerbaijani State Pedagogical University,
370000 Baku, Azerbaijan