

УДК 621.315.592

Электропроводность монокристаллов FeIn_2Se_4 на переменном токе

© Н.Н. Нифтиев¹, Ф.М. Мамедов², В.И. Гусейнов¹, С.Ш. Курбанов¹

¹ Азербайджанский государственный педагогический университет, Az-1000 Баку, Азербайджан

² Институт катализа и неорганической химии им. акад. М. Нагиева НАН Азербайджана, Az-1143 Баку, Азербайджан

E-mail: namiq7@bk.ru

(Получена 22 марта 2017 г. Принята к печати 29 мая 2017 г.)

Приведены результаты исследования частотных и температурных зависимостей электропроводности монокристаллов FeIn_2Se_4 на переменном электрическом токе. Установлено, что в температурном интервале 295–375 К при частотах $2 \cdot 10^4$ – 10^6 Гц для электропроводности выполняется закономерность $\sigma \sim f^S$ ($0.1 \leq S \leq 1.0$). Показано, что в монокристалле FeIn_2Se_4 зависимость электропроводности от частоты можно объяснить при помощи мультиплетной модели, а значит проводимость в этих монокристаллах характеризуется зонно-прыжковым механизмом.

DOI: 10.21883/FTP.2018.06.45911.8588

В настоящей работе приведены результаты исследования частотных и температурных зависимостей электропроводности монокристаллов FeIn_2Se_4 на переменном электрическом токе. Физические свойства FeIn_2Se_4 изучены в ряде работ [1–6]. В работе [1] на ориентированных монокристаллах FeIn_2Se_4 измерено относительное удлинение и рассчитаны коэффициенты теплового расширения. Показано, что соединение FeIn_2Se_4 обладает значительной анизотропией теплового расширения. В работе [2] по спектрам пропускания была определена ширина запрещенной зоны монокристаллов FeIn_2Se_4 и построена ее температурная зависимость. В работе [3] измерены температурные и полевые зависимости удельного магнитного момента тройного соединения FeIn_2Se_4 в интервале температур 4–310 К и магнитных полей 0–140 кЭ. В работах [4–6] исследованы некоторые электрические свойства FeIn_2Se_4 в статическом и переменном полях. Найдены концентрация носителей заряда, положение уровней в запрещенной зоне и механизм прохождения тока в сильном электрическом поле [4]. Определена диэлектрическая проницаемость монокристаллов FeIn_2Se_4 и энергия активации носителей тока [5]. Методом ван-дер-ваальсового контакта с другим слоистым полупроводником (InSe) созданы гетеропереходы $n\text{-InSe-p-FeIn}_2\text{Se}_4$ [6].

В данной работе монокристаллы FeIn_2Se_4 были получены методом Бриджмена. Рентгенографические исследования показали, что FeIn_2Se_4 кристаллизуется в гексагональной решетке с параметрами: $a = 4.18 \text{ \AA}$, $c = 19.47 \text{ \AA}$, $c/a = 4.65$ [4]. Для измерения электрических свойств из монокристаллов вырезались пластинки толщиной $\sim 0.1 \text{ мм}$, с помощью нанесения серебряной пасты были изготовлены конденсаторы. Измерения сопротивления проводились с помощью цифровых измерителей иммитанса E7-20 (частоты 25– 10^6 Гц). На образец подавалось напряжение 1 В.

На рис. 1 приведены зависимости проводимости от частоты для монокристаллов FeIn_2Se_4 . Видно, что электропроводность при исследуемых температурах в области низких частот сначала остается постоянной, а затем с ростом частоты увеличивается.

Для монокристаллов FeIn_2Se_4 в интервале частот $2 \cdot 10^4$ – 10^6 Гц с увеличением частоты электропроводность растет по закону

$$\sigma \sim f^S \quad (0.1 \leq S \leq 1.0). \quad (1)$$

При низких температурах (295–325 К) в интервале частот $2 \cdot 10^4$ – 10^6 Гц S имеет значения 0.015–0.42; а при температуре 375 К той же частоты S изменяется в области 0.01–0.14. Видно, что при низких температурах значение S исследуемых частот изменяется больше, чем при высоких температурах. В монокристаллах FeIn_2Se_4 механизм зависимости роста электропроводности от ча-

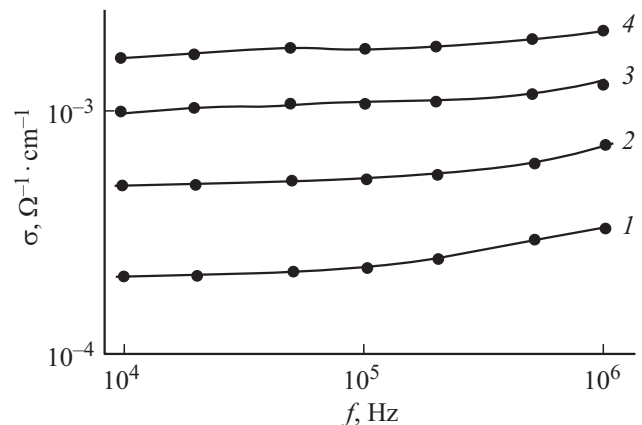


Рис. 1. Зависимости электропроводности от частоты измерений при различных температурах T , К: 1 — 295, 2 — 325, 3 — 355, 4 — 375.

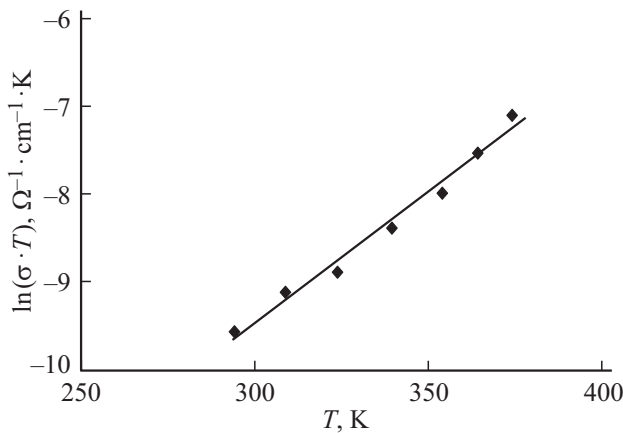


Рис. 2. Зависимость $\ln(\sigma \cdot T) \sim f(T)$ для монокристаллов FeIn_2Se_4 при 10^6 Гц.

стоты можно объяснить следующим образом: известно, что если в кристаллах и аморфных полупроводниках зависимость электропроводности от частоты подчиняется закономерности $\sigma(\omega) \sim \omega^S$ ($0.1 \leq S \leq 1.0$), тогда можно предположить, что существует прыжковый механизм проводимости [7]. Основываясь на дебаевском анализе частотной зависимости проводимости, в работе [7] теоретически исследованы частотная и температурная зависимости проводимости и получены следующие выражения частотной

$$\sigma(\omega)_T \sim \omega \left\{ \ln \left(\frac{v_f}{\omega} \right) \right\}^4 \sim \omega^S, \quad S \leq 1 \quad (2)$$

и температурной зависимости проводимости

$$\sigma(T) \sim \omega T^{-1} \exp \left(\frac{T}{T_0} \right), \quad (3)$$

где v_f — частота фонона, T_0 — характеристическая температура. Согласно (3), при вышеизложенном механизме проводимости при температурах выше $T > T_0$ температурная зависимость электропроводности $\ln(\sigma \cdot T) \sim f(T)$ должна иметь вид прямой линии. На рис. 2 приведена экспериментальная зависимость $\ln(\sigma \cdot T) \sim f(T)$ при 10^6 Гц, которая является прямолинейной. Этому соответствует прыжковый механизм проводимости.

Отметим, что соединения типа AB_2X_4 обладают некоторыми свойствами (например, эффект переключения, токи неустойчивости и т.д.), характерными для аморфных тел [7,8]. Кроме того, как показано в работах [9,10], соединения этого типа являются компенсированными полупроводниками. Эти системы можно рассматривать так же как разупорядоченные системы. Поэтому наличие прыжкового механизма проводимости в монокристалле FeIn_2Se_4 естественно.

В соединениях типа AB_2X_4 к появлению локальных уровней могут приводить следующие факторы: 1) образование антиструктурных дефектов на основе

взаимозамещения катионов (A_B и A_A); 2) нарушение периодического расположения стехиометрических пустот; 3) нарушение дальнего порядка; 4) содержание неконтролируемых примесей. Вероятность образования антиструктурных дефектов на основе взаимозамещения катионов в соединениях FeIn_2Se_4 мала, потому что ионные радиусы Fe и In отличаются друг от друга ($R_{\text{Fe}} = 0.80 \text{ \AA}$; $R_{\text{In}} = 0.92 \text{ \AA}$). Мы предполагаем, что возникновение дефектов в FeIn_2Se_4 происходит из-за нарушения периодического расположения стехиометрических пустот. В разупорядоченных системах проблемы прыжковой проводимости в некоторых работах рассматриваются с точки зрения кластерного приближения [11,12]. В монокристаллах FeIn_2Se_4 изменение электропроводности в зависимости от частоты можно объяснить при помощи мультиплетной модели [13], так как в кристаллах существуют кластеры, содержащие локализованные состояния с близкой энергией, и перескок электронов осуществляется между ними. С повышением частоты заряженные частицы не успевают за четверть периода приложенного напряжения достигнуть места локализации и, непрерывно следуя за изменением электрического поля, дают вклад уже в проводимость. Также известно, что в монокристаллах FeIn_2Se_4 температурная зависимость электропроводности обладает активационным характером [5]. Значит, в монокристаллах FeIn_2Se_4 проводимость характеризуется зонно-прыжковыми механизмами.

Таким образом, в данной работе исследованы частотные и температурные зависимости электропроводности монокристаллов FeIn_2Se_4 на переменном электрическом токе. Показано, что в монокристалле FeIn_2Se_4 зависимость электропроводности от частоты можно объяснить при помощи мультиплетной модели, так как в кристаллах существуют кластеры, содержащие локализованные состояния с близкой энергией, и перескок электронов осуществляется между ними.

Список литературы

- [1] И.В. Боднар, С.А. Павлюковец, И.А. Викторов. Неорг. матер., **46**, 681 (2010).
- [2] И.В. Боднар, С.А. Павлюковец, А.В. Данильчик, Е.В. Лученко. Журн. прикл. спект., **78**, 809 (2011).
- [3] И.В. Боднар, С.А. Павлюковец, С.В. Труханов, Ю.А. Федотова. ФТП, **46**, 624 (2012).
- [4] Н.Н. Нифтиев, М.А. Алиджанов, О.Б. Тагиев, М.Б. Мурадов. ФТП, **37**, 173 (2003).
- [5] Н.Н. Нифтиев, О.Б. Тагиев, М.Б. Мурадов. ФТП, **42**, 268 (2008).
- [6] З.Д. Ковалюк, В.Н. Катеринчук, В.В. Нетяга, А.В. Заслонкин. Технология и конструирование в электронной аппаратуре, **5**, 43 (2007).
- [7] Н. Мотт, Э. Дэвис. *Электронные процессы в некристаллических веществах* (М., Мир, 1982) т. 1.
- [8] Н.Н. Нифтиев, О.Б. Тагиев, М.А. Алиджанов, М.Б. Мурадов. Укр. физ. журн., **47**, 1054 (2002).
- [9] Н.Н. Нифтиев. ФТП, **38**, 522 (2004).

- [10] Н.Н. Нифтиев. ФТП, **38**, 166 (2004).
[11] N. Bettger, V. Bruksin. Phys. Status Solidi B, **113**, 9 (1982).
[12] Б.И. Шкловский, А.Л. Эфрос. *Электронные свойства легированных полупроводников* (М., Наука, 1979).
[13] В.В. Брыксин. ФТТ, **22**, 2441 (1980).

Редактор А.Н. Смирнов

The electrical conductivity of the FeIn_2Se_4 single crystals on alternating current

N.N. Niftiyev¹, F.M. Mammedov², V.I. Quseynov¹,
S.Sh. Kurbanov¹

¹ Azerbaijan State Pedagogical University,
Az-1000 Baku, Azerbaijan

² Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry
named after academician M. Nagiyev,
Azerbaijan National Academy of Sciences,
Az-1143 Baku, Azerbaijan

Abstract The results of the study of the frequency and temperature dependences of the electrical conductivity of single crystals FeIn_2Se_4 on alternating electric current. It is found that in the 295–375 K temperature interval at frequencies $2 \cdot 10^4$ – 10^6 Hz for the electrical pattern $\sigma \sim f^S$ ($0.1 \leq S \leq 1.0$) is performed. The conductivity dependence on the frequency in thermonocrystal FeIn_2Se_4 can be explained by the multiple model since clusters which exist in crystals have localized states with similar energies and electron jump is performed between them. The conductivity in the FeIn_2Se_4 single crystals is characterized by zone-hopping mechanism.