

Электрические свойства FeGa_2Se_4 на переменном токе

© Н.Н. Нифтиев[¶], О.Б. Тагиев*, М.Б. Мурадов⁺, Ф.М. Мамедов*

* Азербайджанский государственный педагогический университет,
Аз-1000 Баку, Азербайджан

* Институт физики Национальной академии наук Азербайджана,
Аз-1143 Баку, Азербайджан

⁺ Бакинский Государственный Университет,
Аз-1148 Баку, Азербайджан

• Институт проблемы химии Национальной академии наук Азербайджана,
Аз-1143 Баку, Азербайджан

(Получена 13 марта 2014 г. Принята к печати 28 апреля 2014 г.)

Исследованы температурные и частотные зависимости диэлектрической проницаемости и электропроводности кристаллов FeGa_2Se_4 на переменном токе. Определены значения диэлектрической проницаемости. Предположено, что возрастание ϵ' связано с увеличением концентрации дефектов с ростом температуры. Установлено, что в температурном интервале 294–374 К при частотах 10^4 – $2 \cdot 10^5$ Гц для электропроводности выполняется закономерность $\sigma \propto f^S$ ($0.1 \leq S \leq 1.0$). В кристалле FeGa_2Se_4 изменение электропроводности в зависимости от частоты можно объяснить следующим образом: в кристаллах существуют кластеры, содержащие локализованные состояния с близкой энергией, и перескок электронов осуществляется между ними. В соединении FeGa_2Se_4 проводимость характеризуется зонно-прыжковыми механизмами.

FeGa_2Se_4 относится к классу тройных соединений типа AB_2X_4 (где А — Mn, Fe, Co, Ni; В — Ga, In; X — S, Se, Te), ряд из которых получен и в настоящее время интенсивно изучается [1–14]. Эти соединения перспективны для создания на их основе лазеров, модуляторов света, фотодетекторов и других функциональных устройств, управляемых магнитным полем.

В настоящей работе приводятся результаты экспериментальных исследований диэлектрической проницаемости и проводимости FeGa_2Se_4 на переменном токе.

Образцы FeGa_2Se_4 получены прямым сплавлением элементов высокой чистоты (99.999%) в стехиометрических количествах. Рентгенографическим методом установлено, что FeGa_2Se_4 обладает кубической структурой с параметром кристаллической решетки $c = 5.54 \text{ \AA}$ [15]. Некоторые физические свойства FeGa_2Se_4 приведены в работах [16,17]. Для измерения электрических свойств из образцов кристаллов FeGa_2Se_4 изготавливались пластинки толщиной $\sim 0.5 \text{ мм}$, на которые наносились обкладки из серебряной пасты. Конденсаторы помещались в криостат, регулируемый в интервале температур от 293 до 400 К. Точность измерения температуры составляла $\pm 0.5 \text{ К}$. Измерения емкости, тангенс угла диэлектрических потерь и сопротивления проводились с помощью цифровых измерителей импеданса E7-20 (частоты 25– 10^6 Гц). На образец подавалось измерительное напряжение 1 В. Из формул

$$\epsilon' = Cd/\epsilon_0 S \quad \text{и} \quad \epsilon'' = \text{tg} \delta \epsilon'$$

соответственно рассчитаны действительная и мнимая части диэлектрической проницаемости.

На рис. 1 представлены температурные зависимости действительной части диэлектрической проницаемости (ϵ') соединений FeGa_2Se_4 на различных частотах (f).

Из рисунка следует, что в изученных материалах в основном наблюдается термически активируемый рост ϵ' . Это можно объяснить следующим образом. Известно, что в случае параллельного соединения C_R и R действительной части диэлектрической проницаемости описывается соотношением [18]

$$\epsilon' = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \omega \text{tg} \delta}, \quad (1)$$

где σ — электропроводность, $\text{tg} \delta$ — тангенс угла диэлектрических потерь, $\omega = 2\pi f$ — частота, ϵ_0 — электрическая постоянная.

В полупроводниках с ростом температуры электропроводность увеличивается в основном за счет концентрации носителей. Из (1) видно, что действительной части диэлектрической проницаемости прямо пропорциональна электропроводность и $\text{tg} \delta$ слабо зависит от

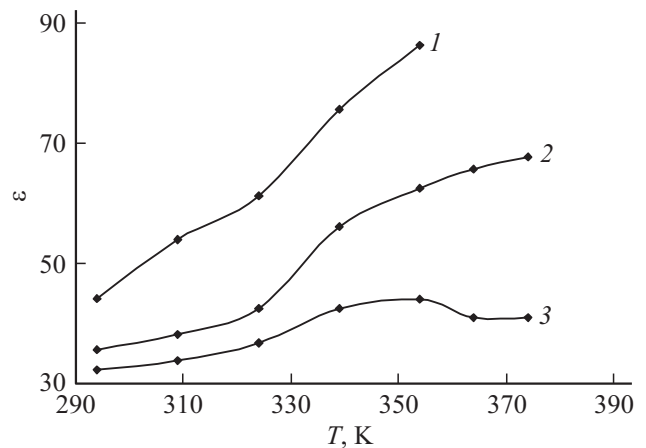


Рис. 1. Температурные зависимости действительной части диэлектрической проницаемости кристаллов FeGa_2Se_4 для частот измерений: 1 — 10^3 , 2 — 10^4 , 3 — 10^5 Гц.

[¶] E-mail: namig7@bk.ru

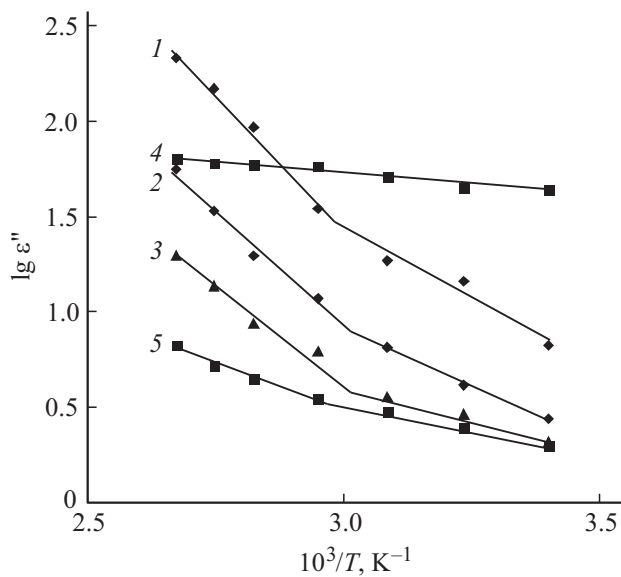


Рис. 2. Температурные зависимости мнимой части диэлектрической проницаемости кристаллов FeGa₂Se₄ для частот измерений: 1 — 10⁴, 2 — 5 · 10⁴, 3 — 2 · 10⁵, 4 — 5 · 10⁵, 5 — 10⁶ Гц.

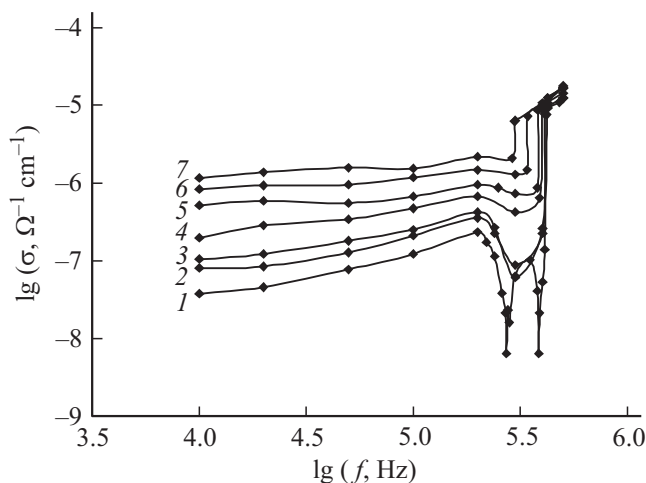


Рис. 3. Зависимости электропроводности от частоты измерений при различных температурах, К: 1 — 294, 2 — 309, 3 — 320, 4 — 339, 5 — 354, 6 — 364, 7 — 374.

температуры. Поэтому с ростом температуры растет σ и соответственно возрастает ϵ' . В температурном интервале 294–380 К на частотах 10³–10⁵ Гц значение действительной части диэлектрической проницаемости изменяется в пределах 30–90. С ростом частоты ϵ' уменьшается.

На рис. 2 приведены температурные зависимости мнимой части диэлектрической проницаемости (ϵ'') кристаллов FeGa₂Se₄. Видно, что при 10⁴–10⁶ Гц частотах на зависимости $\lg \epsilon'' \sim 10^3/T$ основной состоит из двух прямых с различными наклонами. В низкотемпературной области с ростом частоты значения энергии активации ($\Delta E^{\epsilon''}$) уменьшаются в интервале

0.29–0.11 эВ. В высокотемпературной области с ростом частоты значения $\Delta E^{\epsilon''}$ также уменьшаются в интервале 0.57–0.20 эВ. Видно, что величина энергии активации есть функция частоты.

На рис. 3 показана зависимость электропроводности от частоты при различных температурах в FeGa₂Se₄. В начале с ростом частоты (10⁴–2 · 10⁵ Гц) электропроводность увеличивается, далее в интервале частот 3 · 10⁵–8 · 10⁵ Гц зависимость носит сложный характер. Значения электропроводности сильно зависят от частоты электрического поля. Так, значение σ с ростом частоты увеличивается на несколько порядков. Такое поведение электропроводности FeGa₂Se₄, по-видимому, обусловлено особенностями кристаллической структуры. Для кристаллов FeGa₂Se₄ в интервале частот 10⁴–2 · 10⁵ Гц с увеличением частоты электропроводность растет по закону

$$\sigma \propto f^S \quad (0.1 \leq S \leq 1.0). \quad (2)$$

При температуре 294 К в интервале частот 10⁴–2 · 10⁵ Гц S получает значение 0.40–1.00, а при температуре 374 К и такой же частоте S изменяется в области 0.32–0.60. Видно, что при низких температурах исследуемых частот значение S более изменяется, чем при высоких температурах. В соединениях FeGa₂Se₄ механизм зависимости роста электропроводности от частоты можно объяснить следующим образом: известно, что если в кристаллах и аморфных полупроводниках зависимость изменения электропроводности от частоты будет подчиняться закономерности $\sigma(\omega) \propto \omega^S$ ($0.1 \leq S \leq 1.0$), то можно предполагать, что в проводимости существует прыжковый механизм [19]. Основываясь на дебаевском анализе частотной зависимости проводимости, теоретически исследованы частотная и температурная зависимости проводимости [19], где частотная зависимость проводимости установлена как

$$\sigma(\omega)_T \sim \omega \left\{ \ln \left(\frac{v_f}{\omega} \right) \right\}^4 \propto \omega^S, \quad S \leq 1 \quad (3)$$

и температурная зависимость проводимости определяется

$$\sigma(T)_\omega \propto T^{-1} \exp \left(\frac{T}{T_0} \right), \quad (4)$$

где v_f — частота фонона, T_0 — характеристическая температура. Согласно (4), при вышеизложенном механизме проводимости при температурах выше $T > T_0$ температурная зависимость электропроводности в масштабах $\ln(\sigma \cdot T) \sim f(T)$ должна давать прямую линию. На рис. 4 приведена экспериментальная зависимость $\ln(\sigma \cdot T) \sim f(T)$ при 2 · 10⁵ Гц. Видно, что зависимость прямолинейная. Этому соответствует прыжковый механизм проводимости. Отметим, что соединение типа АВ₂X₄ обладает некоторыми свойствами (например, эффект переключения, токи неустойчивости и т.д.), которые характерны для аморфных тел [4,20]. Также эти кристаллы являются компенсированными полупроводниками [3,5]. Эти системы можно рассматривать и как

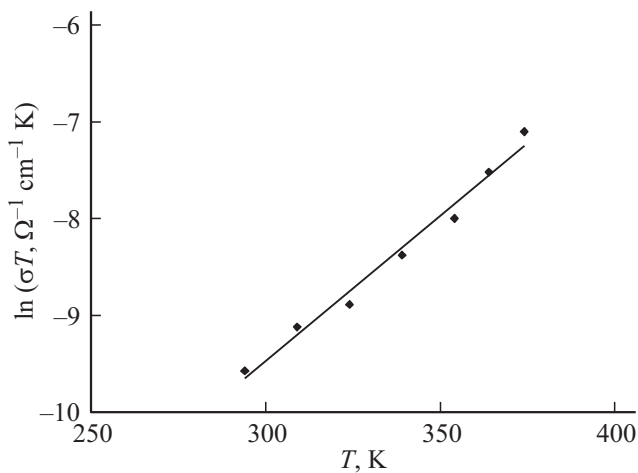


Рис. 4. Зависимость $\ln(\sigma T) \propto f(T)$ для кристаллов $FeGa_2Se_4$ при $2 \cdot 10^5$ Гц.

беспорядочные системы. Поэтому в кристалле $FeGa_2Se_4$ принятие проводимости прыжкового механизма естественно. В соединениях типа AB_2X_4 на основе образования локальных уровней может быть следующее: 1) образование антиструктурных дефектов на основе взаимозамещения катионов (A_B и B_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 $FeGa_2Se_4$ мала, потому что ионные радиусы Fe и Ga отличаются друг от друга ($R_{Fe} = 0.80 \text{ \AA}$; $R_{Ga} = 0.62 \text{ \AA}$). Мы считаем, что создание дефектов в $FeGa_2Se_4$ происходит из-за нарушения периодического расположения стехиометрических пустот. В работах [21,22] проблемы прыжковой проводимости в беспорядочных системах рассматриваются с точки зрения кластерного приближения. В кристалле $FeGa_2Se_4$ изменение электропроводности в зависимости от частоты можно объяснить при помощи мультиплетной модели [22], так как в кристаллах существуют кластеры, содержащие локализованные состояния с близкой энергией, и перескок электронов осуществляется между ними. С повышением частоты сначала одни, а затем другие заряженные частицы не успевают за время четверти периода приложенного напряжения достигнуть мест локализации и, непрерывно следуя за изменением электрического поля, дают вклад уже в проводимость.

На рис. 5 приведены температурные зависимости электропроводности кристаллов $FeGa_2Se_4$ на переменном токе при различных значениях частоты. При частотах $10^3 - 2 \cdot 10^5$ Гц зависимость $\lg \sigma \sim 10^3/T$ состоит из двух прямых с различными наклонами. По наклонам этих зависимостей определены энергии активации (ΔE), значения которых в низкотемпературной области изменяются в интервале 0.34–0.12 эВ, а в высокотемпературной — 0.59–0.36 эВ. Из этого следует, что величина

энергии активации есть функция частоты. Зависимость энергии активации от частоты можно объяснить с помощью прыжкового механизма [19]. Также известно, что в кристаллах $FeGa_2Se_4$ температурная зависимость электропроводности обладает активационным характером [17]. Значит, в соединении $FeGa_2Se_4$ проводимость характеризуется зонно-прыжковыми механизмами.

Таким образом, исследованы температурные и частотные зависимости диэлектрической проницаемости и электропроводности кристаллов $FeGa_2Se_4$ на переменном токе. Определены значения диэлектрической проницаемости. Предположено, что возрастание ϵ' связано с увеличением концентрации дефектов с ростом температуры. Установлено, что в температурном интервале 294–374 К при частотах $10^4 - 2 \cdot 10^5$ Гц для электропроводности выполняется закономерность $\sigma \sim f^S$ ($0.1 \leq S \leq 1.0$). В кристалле $FeGa_2Se_4$ изменение электропроводности в зависимости от частоты можно объяснить следующим образом: в кристаллах существуют кластеры, содержащие локализованные состояния с близкой энергией, и перескок электронов осуществляется между ними. В соединении $FeGa_2Se_4$ проводимость характеризуется зонно-прыжковыми механизмами.

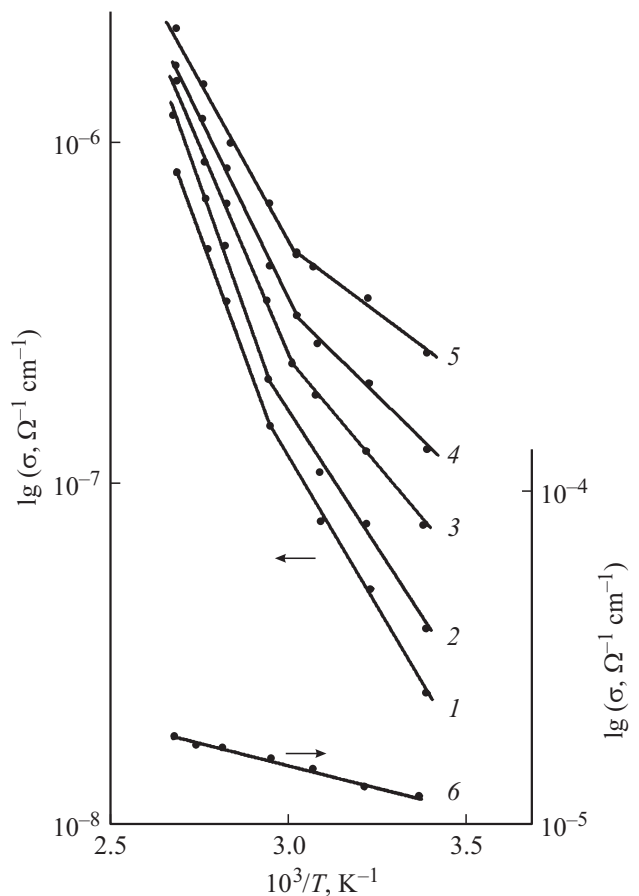


Рис. 5. Температурные зависимости электропроводности для кристаллов $FeGa_2Se_4$ на переменном токе при различных значениях частоты f , Гц: 1 — 10^3 , 2 — 10^4 , 3 — $5 \cdot 10^4$, 4 — 10^5 , 5 — $2 \cdot 10^5$, 6 — $5 \cdot 10^5$.

Список литературы

- [1] A. Memo, W. Kwarteng-Acheampong, H. Neauseler. Mater. Res. Bull., **38**, 1057 (2003).
- [2] Н.Н. Нифтиев, М.А. Алиджанов, О.Б. Тагиев, М.Б. Мурадов. ФТП, **37**, 173 (2003).
- [3] Н.Н. Нифтиев, О.Б. Тагиев. ФТП, **38**, 164 (2004).
- [4] Н.Н. Нифтиев, М.А. Алиджанов, О.Б. Тагиев, М.Б. Мурадов, Ф.М. Мамедов. ФТП, **38**, 550 (2004).
- [5] Н.Н. Нифтиев. ФТП, **38**, 522 (2004).
- [6] T. Torres, V. Sagredo, L.M. de Chalbaund, G. Attolini, F. Bolzoni. Phys. Condens. Matter, **384**, 100 (2006).
- [7] F.J. Manjon, A. Segura, M. Amboage, J. Pellicer, J.F. Sancer-Royo et al. Phys. Status Solidi B, **244**, 229 (2006).
- [8] V. Sagredo, M.C. Moron, L. Betancourt, G.E. Delgado. J. Magnetic Mater., **312**, 294 (2007).
- [9] Н.Н. Нифтиев, О.Б. Тагиев. ФТП, **41**, 17 (2007).
- [10] Н.Н. Нифтиев, О.Б. Тагиев, М.Б. Мурадов. ФТП, **42**, 268 (2008).
- [11] Н.Н. Нифтиев, О.Б. Тагиев, М.Б. Мурадов, Ф.М. Мамедов, Ф.А. Казымова. Письма ЖТФ, **35**, 79 (2009).
- [12] Н.Н. Нифтиев, О.Б. Тагиев, М.Б. Мурадов, Ф.М. Мамедов. ФТП, **43**, 1447 (2009).
- [13] И.В. Бондарь, В.Ю. Рудь, Ю.В. Рудь. ФТП, **43**, 1549 (2009).
- [14] И.В. Бондарь, В.Ю. Рудь, Ю.В. Рудь, Е.И. Теруков. ФТП, **44**, 39 (2010).
- [15] С.А. Панахзаде. Тез. докл. Всес. конф. „Тройные полупроводники и их применение“ (Кишинев, Штиинца, 1976) с. 187.
- [16] М.Р. Аллазов, П.К. Бабаева, П.Г. Рустамов. Изв. АН СССР. Неорг. матер., **15**, 1177 (1979).
- [17] Н.Н. Нифтиев. Укр. физ. журн., **48**, 585 (2003).
- [18] Ю.М. Поплавко. *Физика диэлектриков* (М., Высш. шк., 1980).
- [19] Н. Мотт, Э. Дэвис. *Электронные процессы в некристаллических веществах* (М., Мир, 1982) т. 1.
- [20] Н.Н. Нифтиев, М.А. Алиджанов, О.Б. Тагиев, М.Б. Мурадов. Укр. физ. журн., **47**, 1054 (2002).
- [21] H. Bettger, V.V. Bruksin. Phys. Status Solidi B, **113**, 9 (1982).
- [21] Б.И. Шкловский, А.Л. Эфрос. *Электронная свойства легированных полупроводников* (М., Наука, 1979).
- [22] В.В. Брыскин. ФТТ, **22**, 2441 (1980).

Редактор Т.А. Полянская