

УДК 537.31. 621.315.592.3

PACS: 73.40.Sx, 73.61.Le, 84.37.+q

Электропроводность монокристаллов $MnIn_2Se_4$ в переменном электрическом поле

Н. Н. Нифтиев, Ф. М. Мамедов, М. Б. Мурадов

Приведены результаты экспериментальных исследований частотных и температурных зависимостей электропроводности монокристаллов $MnIn_2Se_4$ в переменном электрическом поле. В $MnIn_2Se_4$ изменение электропроводности в зависимости от частоты можно объяснить следующим образом: в монокристаллах существуют кластеры, содержащие локализованные состояния с близкой энергией, и перескок электронов осуществляется между ними. Из температурных зависимостей проводимости определены энергии активации. Проводимость в этих монокристаллах характеризуется зонно-прыжковым механизмом.

Ключевые слова: $MnIn_2Se_4$, переменное электрическое поле, электропроводность, частота, зонно-прыжковый механизм, энергия активации.

DOI: 10.51368/1996-0948-2022-2-24-27

Введение

В настоящей работе приводятся результаты исследования частотных и температурных зависимостей электропроводности монокристаллов $MnIn_2Se_4$ в переменном электрическом поле.

В работах [1, 2] синтезировано соединение $MnIn_2Se_4$, проведены рентгеноструктурные исследования, определены параметры решетки. В работе [3] методом химических транспортных реакций были получены монокристаллы $MnIn_2Se_4$. В качестве транспортера

использовался $AlCl_3$. Было обнаружено, что $MnIn_2Se_4$ имеет ромбоэдрическую элементарную ячейку, принадлежащую пространственной группе $R\bar{3}m$ с параметрами решетки $a = 4,05(6) \text{ \AA}$ и $c = 39,4(9) \text{ \AA}$ при 300 К. Коэффициенты теплового расширения были исследованы между 80 и 300 К. В [4] исследованы магнитные свойства $MnIn_2Se_4$ и при низкой температуре наблюдали, упорядочение спинового стекла. В работе [5] авторы представили измерения магнитных и структурных свойств полупроводников $MnIn_2Se_4$ и $Zn_{1-x}Mn_xIn_2Se_4$. Установлено, что локализованные ионы Mn в слоистой ромбоэдрической структуре претерпевают ниже замораживание спина. Зависимая от частоты температура замерзания T_f изменяется как, что указывает на поведение спинового стекла. В работе [6] по исследованию коэффициента оптического поглощения и спектра фотолюминесценции слоистого полупроводника $MnIn_2Se_4$ установлена природа его края собственного поглощения. В работе [7] исследованы статические электрические свойства соединения $MnIn_2Se_4$ и найдены концентрация носителей заряда, положение уровней в запрещенной зоне и механизм прохождения тока в сильном электрическом поле. В кристаллах $MnIn_2Se_4$

Нифтиев Намиг Надирович¹, доцент, д.ф.-м.н.

E-mail: namiq7@bk.ru

Мамедов Фаиг Мамедагаович², доцент, к.х.н.

E-mail: faiqmammadov@mail.ru

Мурадов Мустафа Байрамович², доцент, к.ф.-м.н.

E-mail: mbmuradov@gmail.com

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

²Институт Катализа и Неорганической химии им. Академика М. Нагиева НАН Азербайджана, Az-1143, Баку, Азербайджан.

³Бакинский государственный университет, Az-1148 Баку, Азербайджан.

Статья поступила в редакцию 14 августа 2021 г.

© Нифтиев Н. Н., Мамедов Ф. М., Мурадов М. Б., 2022

наблюдалась релаксация тока со временем. На основе материалов $MnIn_2Se_4$ может быть изготовлены фотоприемники и полевые транзисторы.

Методика эксперимента и обсуждение результатов

Монокристаллы $MnIn_2Se_4$ были получены методом Бриджмена. Рентгенографические исследования показали, что $MnIn_2Se_4$ кристаллизуется в гексагональной решетке с параметрами: $a = 4,18 \text{ \AA}$, $c = 19,47 \text{ \AA}$, $c/a = 4,65$ [7]. Для измерения электрических свойств из пластинок монокристаллов толщиной $\sim 0,3$ мм нанесением серебряной пасты были изготовлены конденсаторы. Конденсаторы помещались в криостат, регулируемый в интервале температур от 293 до 400 К. Точность измерения температуры составляла $\pm 0,5$ К. Измерения сопротивления проводились с помощью цифровых измерителей иммитанса E7-20 (частоты $25 \div 1 \times 10^6$ Гц).

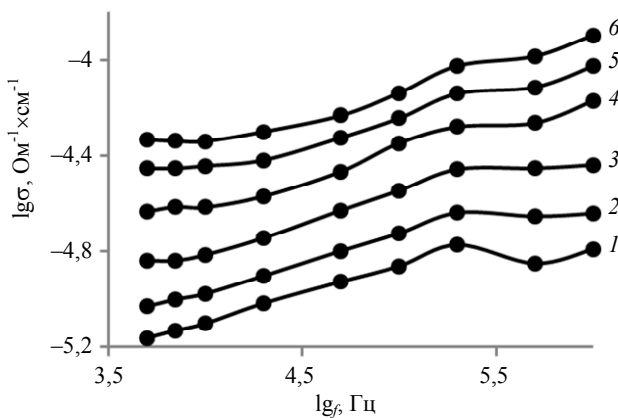


Рис. 1. Зависимости электропроводности от частоты измерения при различных температурах T , К: 1 – 297; 2 – 313; 3 – 333; 4 – 353; 5 – 373; 6 – 393

На рис. 1 приведены зависимости проводимости от частоты для монокристаллов $MnIn_2Se_4$ при различных температурах. Видно что, при температуре 297 К и 313 К в интервале частот $5 \times 10^3 - 2 \times 10^5$ Гц с увеличением частоты электропроводность растет по закону $\sigma \sim f^s$ ($0,1 \geq s \geq 1,0$) и показатель степени (s) получает значения 0,4. В области температур 333–393 К при частотах $5 \times 10^3 - 1 \times 10^4$ Гц с ростом частоты электропроводность остается постоянной, далее в интервале частот $2 \times 10^5 -$

1×10^6 Гц электропроводность увеличивается. При температуре 297 К в интервале частот $2 \times 10^5 - 1 \times 10^6$ Гц с ростом частоты вначале электропроводность уменьшается, потом увеличивается. В температурном интервале 313–333 К на частотах $2 \times 10^5 - 1 \times 10^6$ Гц электропроводность остается постоянной, при высоких температурах (353–393 К) с повышением частоты ($2 \times 10^5 - 1 \times 10^6$ Гц) электропроводность медленно увеличивается.

Наблюдаемая нами экспериментальная зависимость $\sigma(\omega) \sim \omega^s$ ($0,1 \leq S \leq 1,0$), свидетельствует о том, что существует прыжковый механизм проводимости [8]. В работе [8] частотная зависимость проводимости описывается соотношением

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

и температурная зависимость проводимости определяется

$$\sigma(T)_\omega \sim T^{-1} \exp \left(\frac{T}{T_0} \right). \quad (2)$$

Где T_0 – характеристическая температура, v_f – частота фонона. Согласно (2) при температурах выше $T > T_0$ температурная зависимость электропроводности $\ln(\sigma T) \sim f(T)$ должна давать прямую линию. На рис. 2 представлена экспериментальная зависимость $\ln(\sigma T) \sim f(T)$ при 10^5 Гц. Видно что, зависимость прямолинейная. Это подтверждает прыжковый механизм проводимости.

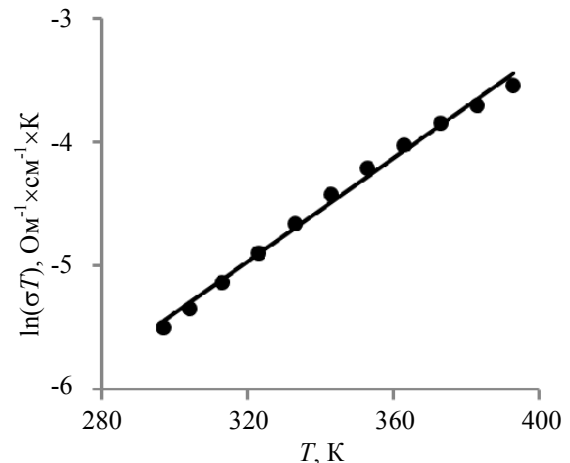


Рис. 2. Зависимость $\ln(\sigma T) \sim f(T)$ для монокристаллов $MnIn_2Se_4$ при 10^5 Гц

Отметим, что соединения типа AB_2X_4 ($A - Mn, Fe, Co, Ni$; $B - Ga, In$; $X - S, Se, Te$) являются компенсированными полупроводниками [9] и они обладает некоторыми свойствами (например токи неустойкости, эффект переключения, и т. п.) которые характерны для аморфных тел [10]. А также эти системы можно рассматривать как разупорядоченные системы. Поэтому в монокристалле $MnIn_2Se_4$ принятие прыжкового механизма проводимости естественно. В этих системах проблемы прыжковой проводимости в некоторых работах рассматриваются с точки зрения кластерного приближения [11, 12]. В монокристаллах $MnIn_2Se_4$ 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.

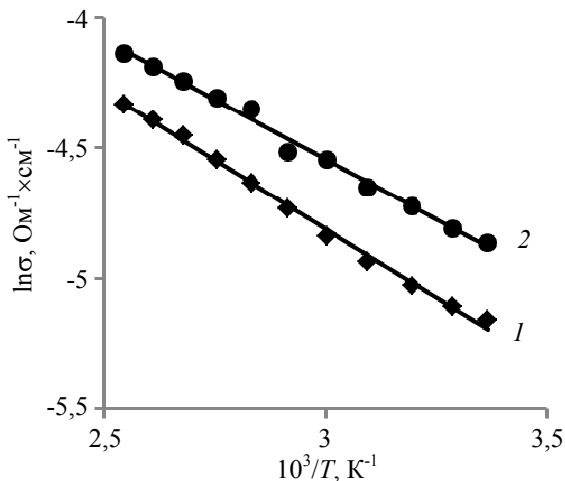


Рис. 3. Температурная зависимость электропроводности для монокристаллов $MnIn_2Se_4$ на переменном электрическом поле при различных значениях частоты f , Гц: 1 – 5×10^3 ; 2 – 2×10^5

На рис. 3 приведены температурные зависимости электропроводности монокристаллов $MnIn_2Se_4$ в переменном токе при значениях частоты 5×10^3 Гц (кривая 1), 2×10^5 Гц (кривая 2). В исследуемой температурной области электропроводность обусловлена активационным механизмом, при этом проводимость определяется по формуле:

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{\Delta E}{kT}} \quad (3)$$

где k – постоянная Больцмана, ΔE – энергия активации. Зависимость $\sigma(1/T)$ в логарифми-

ческих координатах состоит из прямой линии с различными наклонами. Энергии активации носителей тока в монокристаллах $MnIn_2Se_4$, определенные по этим двум наклонам соответственно равны: 0,21 эВ (кривая 1) и 0,18 эВ (кривая 2). Видно что, наклон прямолинейного участка с ростом частоты уменьшается, энергия активации лежит в интервале 0,21–0,18 эВ. Из этого следует, что величина энергии активации есть функция частоты. Зависимость энергии активации от частоты можно объяснить с помощью прыжкового механизма [8]. Также известно, что в соединениях $MnIn_2Se_4$ температурная зависимость электропроводности обладает активационным характером [7]. Значит в $MnIn_2Se_4$ проводимость характеризуется зонно-прыжковыми механизмами.

Заключение

Приведены результаты исследования частотных и температурных зависимостей электропроводности монокристаллов $MnIn_2Se_4$ на переменном электрическом поле. Установлено, что в исследуемых температурах при интервале частот $5 \times 10^3 \div 1 \times 10^6$ Гц для электропроводности выполняется закономерность $\sigma \sim f^S$ ($0,1 \leq S \leq 1,0$). Изменение электропроводности в зависимости от частоты в $MnIn_2Se_4$ можно объяснить при помощи мультиплетной модели, так как в монокристаллах существуют кластеры, содержащие локализованные состояния с близкой энергией и перескок электронов осуществляется между ними. Из температурных зависимостей проводимости определены энергии активации. В монокристаллах $MnIn_2Se_4$ проводимость характеризуется зонно-прыжковым механизмом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Döll G., Bucher E., Baumann J. R. // Z. Naturforsch. 1991. Vol. 46b. P. 1122.
2. Бабаева Б. К., Аллазов М. Р. Исследование в области неорганической и физической химии. – Баку, Наука, 1977.
3. Döll G., Lux-Steiner M. Ch., Kloc Ch., Baumann J. R., Bucher E. J. // Crystal Growth. 1990. Vol. 104. P. 593.
4. Choi J., Choi S., Choi J., Hwang Y. H., Um Y. H., Hong S. C., Cho S. // Journal of the Korean Physical Society. 2004. Vol. 45. № 3. P. 672.
5. Mantilla Ochoa J. C., Bindilatti V., Ter Haar E., Coaquira J. A. H., De Souza Brito G. E., Gratens X., Sag-

redo V. // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2004. V. 272–276. № 2. P. 1308.

6. Rincón C., Torres T. E., Sagredo V., Jimenes Sergio J. // Physica B Condensed Matter. 2015. 477:PHYSBD1500817. DOI:10.1016/j.physb.2015.08.004

7. Нифтиев Н. Н., Алиджанов М. А., Тагиев О. Б., Мамедов Ф. М., Мурадов М. Б. // ФТП. 2004. Т. 38. № 5. С. 550.

8. Мотт Н., Дэвис Э. Электронные процессы в некристаллических веществах. – М.: Мир, 1982.

9. Нифтиев Н.Н. // ФТП. Vol. 38. № 2. С. 166.

10. Нифтиев Н. Н., Тагиев О. Б., Алиджанов М. А., Мурадов М. Б. // Украин. физ. Журн. 2002. Т. 47. № 11. С. 1054.

11. Шкловский Б. И., Эфрос А. Л. Электронные свойства легированных полупроводников. – М.: Наука, 1979.

12. Bettger N., Bruksin V. // Phys. Stat. Sol (b). 1982. Vol. 113. P. 9.

13. Бруксин В. В. // ФТТ. 1980. Vol. 22. № 8. P. 2441.

PACS: 73.40.Sx, 73.61.Le, 84.37.+q

Electrical conductivity of MnIn_2Se_4 single crystals in an alternating electric field

N. N. Niftiyev¹, F. M. Mammadov², and M. B. Muradov³

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

³ Baku State University, Az-1148 Baku, Azerbaijan

Received August 14, 2021

The results of an experimental study of the frequency and temperature dependences of the electrical conductivity of MnIn_2Se_4 single crystals in an alternating electric field are presented. In MnIn_2Se_4 , the change in electrical conductivity as a function of frequency can be explained as follows: in single crystals, there are clusters containing localized states with close energies, and electron hopping occurs between them. The activation energies were determined from the temperature dependences of the conductivity. The conductivity in these single crystals is characterized by a zone-hopping mechanism.

Keywords: MnIn_2Se_4 , alternating electric field, electrical conductivity, frequency, zone-hopping mechanism, activation energy.

DOI: 10.51368/1996-0948-2022-2-24-27

REFERENCES

1. G. Döll, E. Bucher, and J. R. Baumann, Z. Naturforsch, **46b**, 1122 (1991).
2. B. K. Babayeva and M. R. Allazov. *V. kn. Issledovanie v oblasti neorganicheskoy i fizicheskoy ximii* (Baku, Nauka, 1977) [in Russian].
3. G. Döll, M. Ch. Lux-Steiner, Ch. Kloc, J. R. Baumann, and E. Bucher, J. Crystal Growth, **104**, 593 (1990).
4. J. Choi, S. Choi, J. Choi, Y. H. Hwang, Y. H. Um, S. C. Hong, and S. Cho, Journal of the Korean Physical Society, **45** (3), 672 (2004).
5. J. C. Mantilla Ochoa, V. Bindilatti, E. ter Haar, J. A. H. Coaquira, G. E. de Souza Brito, X. Gratens, and V. Sagredo, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, **272–276** (2), 1308 (2004).
6. C. Rincón, T. E. Torres, V. Sagredo, and Sergio J. Jimenes, Physica B Condensed Matter, 477:PHYSBD1500817 (2015), DOI: 10.1016/j.physb.2015.08.0047.
7. N. N. Niftiyev, M. A. Alidjanov, O. B. Tagiyev, and F. M. Mamedov, FTP, **38** (5) 550 (2004).
8. N. Mott and E. Devis, *Elektronnie prochessi v nekrystallicheskih veshestvax* (Mir, Moscow, 1982) [in Russian].
9. N. N. Niftiyev, FTP, **38** (2) 166 (2004).
10. N. N. Niftiyev, O. B. Tagiyev, M. A. Alidjanov, and M. B. Mudadov, Ukrain. Fiz. Journ. **47** (11), 1054 (2002).
11. B. I. Shiklovski and A. L. Efros, *Elektronnaya svoystva leqirovannix poluprovodnikov* (Nauka, Moscow, 1979) [in Russian].
12. N. Bettger, V. Bruksin, Phys. Stat. Sol (b), **113**, 9 (1982).
13. V. V. Bruksin, FTT, **22** (8), 2441 (1980).