

Диэлектрические свойства монокристаллов $MnGa_2S_4$ в переменном электрическом поле

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

Азербайджанский государственный педагогический университет,
Az-1000 Баку, Азербайджан

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

⁺ Бакинский государственный университет,
Az-1148 Баку, Азербайджан

(Получена 28 февраля 2013 г. Принята к печати 8 апреля 2013 г.)

Представлены результаты исследований частотных и температурных зависимостей диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь монокристаллов $MnGa_2S_4$ в переменном электрическом поле. Определены экспериментальные их значения. Возрастание диэлектрической проницаемости связано с увеличением концентрации дефектов с ростом температуры. При исследуемых температурах в области частот 435–500 кГц для ϵ и $\tan \delta$ наблюдается резонансный пик. Установлено, что в частотном интервале $25-2 \cdot 10^5$ Гц тангенс угла диэлектрических потерь уменьшается обратно пропорционально с частотой ($\sim 1/\omega$).

В настоящее время тройные халькогенидные соединения привлекают все больший интерес в связи с тем, что они обладают комплексом исключительно важных свойств и находят широкое применение в различных областях новой техники. В этом плане вызывает интерес группа тройных соединений $A^{II}B_2^{III}X_4^{VI}$ (где А — Mn, Fe, Ni, Co; В — Ga, In; X — S, Se, Te) [1–15]. Эти соединения перспективны для создания на их основе лазеров, модуляторов света, фотодетекторов и других функциональных устройств, управляемых магнитным полем.

В данной работе приводятся результаты экспериментальных исследований диэлектрических свойств монокристаллов $MnGa_2S_4$ в переменном электрическом поле.

Монокристаллы $MnGa_2S_4$ были получены методом Бриджмена. Рентгенографическим методом установлено, что $MnGa_2S_4$ кристаллизуется в пространственной группе $R\bar{3}m$, с параметрами решетки $a = 12.90$, $b = 7.45$, $c = 6.13$ Å [16]. В работах [16–18] изучены кристаллическая структура и магнитные свойства $MnGa_2S_4$. Кроме того, в работах [19–22] получена новая фаза соединения $MnGa_2S_4$, аналогичная $MnGa_2Se_4$ и исследованы их электрические и оптические свойства.

Для измерения диэлектрических свойств из образцов монокристаллов $MnGa_2S_4$ изготавливались пластинки толщиной ~ 0.5 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 ± 0.5 К. Измерения емкости и тангенса угла диэлектрических потерь проводились с помощью цифровых измерителей импеданса E7-20 (частоты $25-10^6$ Гц).

На рис. 1 приведены зависимости диэлектрической проницаемости (ϵ) от частоты (f) для монокристаллов $MnGa_2S_4$ при различных температурах. Видно, что диэлектрическая проницаемость при исследуемых

температурах в области частот 25–500 Гц сначала более быстро уменьшается, далее в интервале частот $5 \cdot 10^2-2 \cdot 10^5$ Гц она медленно уменьшается, а потом в области частот 435–500 кГц проявляется резонансный пик. Это явление можно объяснить с помощью барьерной модели [23], так как в дефектных монокристаллах, кроме высокоомных прослоек с зёрнами локальных барьеров, могут быть запирающие низкоомные слои, локализованные на различных неоднородностях типа дислокаций, электрических доменов и т. д. Запирающие слои являются активными элементами, ибо их толщина и степень обеднения зависят от напряженности и частоты электрического поля. Частота ν (ν — частота колебаний носителей заряда в волне концентрации) определяется толщиной слоя d и дрейфовой скоростью [23]:

$$2d = \mu U / \nu = v_{dr} / \nu.$$

В этом случае частота f в переменном внешнем электрическом поле близка к величине ν , и наблюдается явление резонанса.

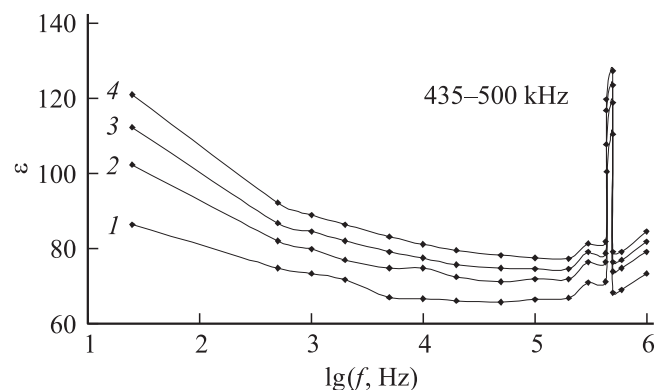


Рис. 1. Зависимости диэлектрической проницаемости от частоты измерений при различных температурах T , К: 1 — 294, 2 — 324, 3 — 354, 4 — 374.

[¶] E-mail: namid7@bk.ru

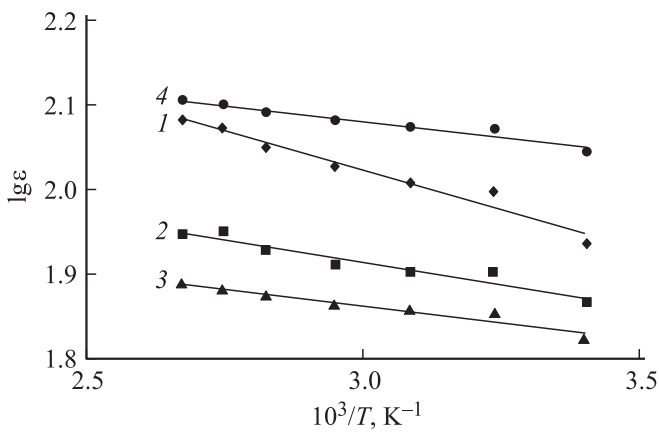


Рис. 2. Температурные зависимости диэлектрической проницаемости монокристаллов $MnGa_2S_4$ для частот 25 (1), 10^3 (2), 10^5 (3), $5 \cdot 10^5$ Гц (4).

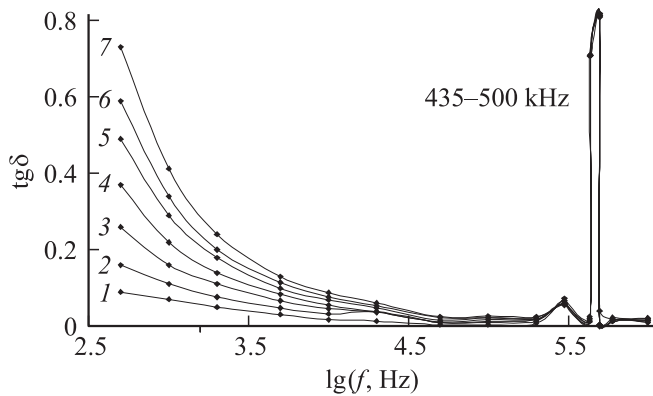


Рис. 3. Частотные зависимости тангенса угла диэлектрических потерь для монокристаллов $MnGa_2S_4$ при различной температуре T, K : 1 — 294, 2 — 309, 3 — 324, 4 — 339, 5 — 354, 6 — 364, 7 — 374.

На рис. 2 приведены температурные зависимости диэлектрической проницаемости монокристаллов $MnGa_2S_4$. Видно, что с ростом температуры наблюдается возрастание ϵ , а с ростом частоты наклон линейного участка уменьшается. В температурном интервале 294–374 К на частотах $25-5 \cdot 10^5$ Гц значение диэлектрической проницаемости изменяется в пределах 65–130. Возрастание диэлектрической проницаемости связано с увеличением концентрации дефектов с ростом температуры [23].

На рис. 3 показаны частотные зависимости тангенса угла диэлектрических потерь ($tg \delta$) при различных температурах для монокристаллов $MnGa_2S_4$. Из рис. 3 видно, что вначале с ростом частоты значение тангенса угла диэлектрических потерь уменьшается. Известно, что в диэлектрике и в полупроводнике диэлектрические потери представляют собой ту часть электрической энергии, которая превращается в тепло. Под действием переменного электрического поля диэлектрик нагревается гораздо больше, чем под действием такого же

постоянного. Нагревание диэлектриков в переменном электрическом поле увеличивается с ростом частоты. В твердых диэлектрических и высокоомных полупроводниках потери зависят от природы дефектов кристаллической структуры [24]. Известно, что одним из механизмов превращения электрической энергии в тепловую в диэлектриках является электропроводность. В кристалле свободные электроны получают энергию от электрического поля, перемещаясь, создают электрический ток и на пути своего свободного пробега теряют энергию при взаимодействиях с атомами и молекулами диэлектрика.

Известно, что в случае параллельного соединения C_R и R тангенс угла диэлектрических потерь описывается соотношением [24]

$$tg \delta = \frac{I_a}{I_r} = \frac{I}{\omega C_R R} = \frac{\sigma}{\epsilon \epsilon_0 \omega},$$

где C_R — емкость, R — сопротивление образца, I_a — активный ток, I_r — реактивный ток, $\omega = 2\pi f$ — частота, σ — электропроводность, ϵ_0 — электрическая постоянная.

Для монокристаллов $MnGa_2S_4$ электропроводность и диэлектрическая проницаемость зависят от частоты очень слабо. Если это изменение не учитывать, то тангенс угла диэлектрических потерь уменьшается обратно пропорционально с частотой ($tg \delta \propto 1/\omega$). Из рис. 3 видно, что при всех исследуемых температурах в частотной области $25-2 \cdot 10^5$ Гц наблюдается зависимость $tg \delta \propto 1/\omega$. При частотах $2 \cdot 10^5-4.3 \cdot 10^5$ Гц тангенс угла диэлектрических потерь обнаруживает один недостаточно резкий максимум, который связан с релаксационным процессом [23]. А в интервале частот 435–500 кГц выявляется резонанс, как это мы объяснили выше.

На рис. 4 приведены температурные зависимости тангенса угла диэлектрических потерь при различных частотах. Из рисунков видно, что при частотах $25-10^5$ Гц на зависимости $lg(f tg \delta)$ от $10^3/T$ выявляется один

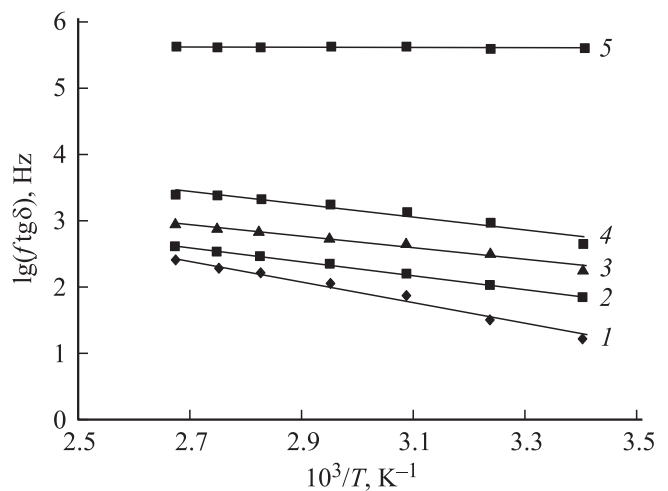


Рис. 4. Температурные зависимости тангенса угла диэлектрических потерь для монокристаллов $MnGa_2S_4$ при различных частотах $f, Гц$: 1 — 25, 2 — 10^3 , 3 — 10^4 , 4 — 10^5 , 5 — $5 \cdot 10^5$.

линейный участок и с ростом температуры наблюдается возрастание $\operatorname{tg} \delta$ (кривые 1–4). А в области резонанса при частоте $5 \cdot 10^5$ Гц $\operatorname{tg} \delta$ получает более высокое значение (кривая 5). Из зависимости $\lg(f \cdot \operatorname{tg} \delta) \propto 10^3/T$ определяется энергия активации ($\Delta E^{\operatorname{tg} \delta}$). При частотах $25\text{--}10^5$ Гц значения $\Delta E^{\operatorname{tg} \delta}$ изменяются в интервале $0.18\text{--}0.32$ эВ. Здесь величина энергии активации зависит от частоты. Следует отметить, что частотная зависимость энергии активации была получена и в более ранней нашей работе при исследовании электропроводности монокристаллов $MnGa_2S_4$ на переменном токе [25]. Такую зависимость объяснили в этой же работе. В указанной области частот изменение энергий активации, рассчитанных по диэлектрическим потерям и электропроводности, почти совпадает [25]. Это указывает на то, что электропроводность монокристаллов $MnGa_2S_4$ обусловлена активационным механизмом, а диэлектрические потери идут за счет сквозной проводимости.

Таким образом, исследованы диэлектрические проницаемости и тангенс угла диэлектрических потерь при различных частотах и температурах для монокристаллов $MnGa_2S_4$ и определены их экспериментальные значения. В области частот $435\text{--}500$ кГц при всех исследуемых температурах в ϵ и $\operatorname{tg} \delta$ наблюдается резонансное явление. Установлено, что в области частот $25\text{--}2 \cdot 10^5$ Гц тангенс угла диэлектрических потерь уменьшается обратно пропорционально с частотой ($\sim 1/\omega$).

Список литературы

- [1] G. Medvedkin, Yu. Rud, M. Tairov. Phys. Status Solidi A, **111**, 289 (1989).
- [2] Q. Lu, K. Hu, K. Tank et al. Chem. Lett., **28**, 481 (1999).
- [3] A. Memo, W. Kwarteng-Acheampong, H. Hauser. Mater. Res. Bull., **38**, 1057 (2003).
- [4] Н.Н. Нифтиев, О.Б. Тагиев. Письма ЖТФ, **10**, 49 (2003).
- [5] N.N. Niftiyev, O.B. Tagiev. Inorg. Mater., **39**, 576 (2003).
- [6] R. Sharma, A. Rastogi, S. Kohli et al. Physica B, **351**, 45 (2004).
- [7] C. Xiangying, Z. Zhongjie, Z. Xingta et al. J. Cryst. Growth, **277**, 524 (2005).
- [8] Н.Н. Нифтиев, О.Б. Тагиев. Письма ЖТФ, **19**, 72 (2005).
- [9] S. Lei, K. Tang, Z. Fang, Y. Qi, H. Zheng. Mater. Res. Bull., **41**, 2325 (2006).
- [10] T. Torres, V. Sagredo, L.M. de Chalbaund, G. Attolini, F. Bolzoni. Phys. Condens. Matter., **384**, 100 (2006).
- [11] Н.Н. Нифтиев, О.Б. Тагиев. ФТП, **41**, 17 (2007).
- [12] И.В. Боднар, С.А. Павлюковец, В.Ю. Рудь, Ю.В. Рудь. ФТП, **43**, 1553 (2009).
- [13] И.В. Боднар, В.Ю. Рудь, Ю.В. Рудь. ФТП, **43**, 1549 (2009).
- [14] И.В. Боднар, В.Ю. Рудь, Ю.В. Рудь, Д.В. Ложкин. ФТП, **45**, 941 (2011).
- [15] Н.Н. Нифтиев, О.Б. Тагиев. Опт. и спектр., **112**, 96 (2012).
- [16] M.P. Pardo, M. Julien, S. Jaulmes. Compt. Rend. Acad. Sci., **277**, 1021 (1973).
- [17] M.P. Pardo, P.H. Fourcoy, J. Flahaut. Mater. Res. Bull., **10**, 665 (1975).
- [18] R. Rimet, K. Buder, C. Schlenker. Sol. St. Commun., **37**, 693 (1981).
- [19] Н.Н. Нифтиев, О.Б. Тагиев, А.Г. Рустамов. ФТП, **24**, 758 (1990).
- [20] N.N. Niftiyev. Intermetallics, **11**, 975 (2003).
- [21] Н.Н. Нифтиев, О.Б. Тагиев. Изв. НАН Азерб., **26**, 150 (2006).
- [22] Н.Н. Нифтиев, О.Б. Тагиев. ФТП, **38**, 164 (2004).
- [23] П.Г. Орешкин. Физика полупроводников и диэлектриков (Высш. шк., 1977).
- [24] Ю.М. Поплавко. Физика диэлектриков (Высш. шк., 1980).
- [25] Н.Н. Нифтиев, О.Б. Тагиев, М.Б. Мурадов, Ф.М. Мамедов, Ф.А. Казымова. Письма ЖТФ, **35**, 79 (2009).

Редактор Т.А. Полянская