

# Правила Урбаха в монокристаллах $\text{MnGa}_2\text{Se}_4$ при оптических поглощениях

© Н.Н. Нифтиев

Азербайджанский государственный педагогический университет,  
Az-1000 Баку, Азербайджан  
E-mail: namiq7@bk.ru

Поступила в Редакцию 9 января 2019 г.  
В окончательной редакции 31 января 2019 г.  
Принята к публикации 31 января 2019 г.

Исследовано правило Урбаха в монокристаллах  $\text{MnGa}_2\text{Se}_4$  и установлено, что в области энергии фотонов 2.1–2.2 эВ длинноволновый хвост поглощения подчиняется правилу Урбаха. Показано, что в монокристаллах  $\text{MnGa}_2\text{Se}_4$  существует сильное электрон-фононное взаимодействие.

DOI: 10.21883/FTP.2019.06.47737.9059

## 1. Введение

В настоящей работе приводятся результаты исследования правила Урбаха в монокристаллах  $\text{MnGa}_2\text{Se}_4$  при оптических поглощениях.

В работе [1] впервые синтезировано соединение  $\text{MnGa}_2\text{Se}_4$ , проведены рентгеноструктурные исследования, определены параметры решетки. Позднее это соединение было получено авторами [2,3]. Физические свойства  $\text{MnGa}_2\text{Se}_4$  изучались в работах [2–9]. В [2,4] исследованы магнитные свойства  $\text{MnGa}_2\text{Se}_4$ . Установлено, что ниже температуры Нееля  $T_N = 6.4$  К эти кристаллы являются антиферромагнитными. В температурах от 2 до 250 К изучалась магнитная фазовая диаграмма  $\text{MnGa}_2\text{Se}_4$  и получено, что фазовая диаграмма согласуется с одноосным антиферромагнитным материалом. Изучение релаксации темнового тока в монокристаллах  $\text{MnGa}_2\text{Se}_4$  показало, что релаксация темнового тока в монокристаллах  $\text{MnGa}_2\text{Se}_4$  связана с накоплением заряда на глубоких уровнях за счет инжекции из катода [5]. В работе [6] представлены результаты исследований вольт-амперных характеристик монокристаллов  $\text{MnGa}_2\text{Se}_4$  и полученные данные обсуждены в рамках теорий инжекционно-контактных явлений и полевой ионизации ловушек за счет эффекта Пула–Френкеля. С авторами [7,8] были исследованы оптические спектры  $\text{MnGa}_2\text{Se}_4$  в области края собственного поглощения. С использованием теоретико-группового анализа симметрии электронных состояний и сопоставления симметрии энергетического спектра  $\text{MnGa}_2\text{Se}_4$  и его изоэлектронных аналогов сделан вывод о характере оптических переходов. Позднее в [9] также были проведены исследования края собственного поглощения  $\text{MnGa}_2\text{Se}_4$  при давлениях до 20 ГПа. При 14 ГПа наблюдается фазовый переход в структуру типа NaCl.

## 2. Методика эксперимента и обсуждение результатов

Монокристаллы  $\text{MnGa}_2\text{Se}_4$  были получены методом газотранспортных реакций. В качестве переносчика ис-

пользовался кристаллический йод. Параметры решетки, определенные рентгенографическим методом, составили  $a = 5.671$  Å,  $c = 10.754$  Å,  $c/a = 1.9$ , что согласуется с результатами [1]. Измерения были проведены на образцах толщиной 100–160 мкм.

На рис. 1 представлена зависимость коэффициента поглощения от энергии падающих фотонов в  $\text{MnGa}_2\text{Se}_4$  при различных температурах. Видно, что спектр поглощения охватывает широкую область энергии 2.1–2.7 эВ. В работе [7] установлено, что при больших энергиях (2.5–2.7 эВ) край собственного поглощения в монокристаллах  $\text{MnGa}_2\text{Se}_4$  формируется прямыми оптическими переходами. При низких температурах (80–228.5 К) на фоне роста коэффициента поглощения выявляется максимум при энергии 2.45 эВ. В [8] было показано, что особенности при 2.45 эВ связаны с внутрицентровыми переходами  $\text{Mn}^{2+}$  [ ${}^6\text{Mn}_1 \rightarrow {}^4T_2({}^4G)$ ]. В области 2.1–2.3 эВ наблюдается рост коэффициента поглощения. На рис. 2, а показаны зависимости  $\ln(\alpha) \sim hv$  при различных температурах для монокристаллов  $\text{MnGa}_2\text{Se}_4$ , построенных в этой области.

В реальных кристаллах имеется много причин для поглощения света с энергией фотона  $hv < E_g$ . Естествен-

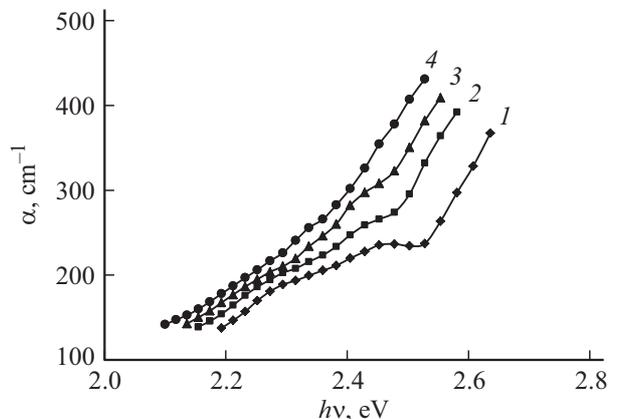
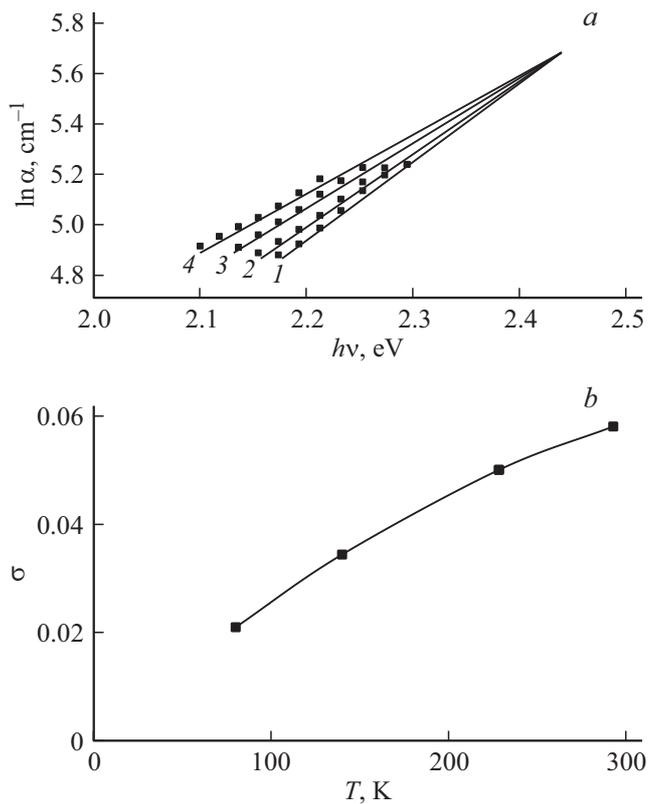


Рис. 1. Зависимость коэффициента поглощения от энергии падающих фотонов при температуре  $T$ , К: 1 — 80, 2 — 140, 3 — 228.5, 4 — 293.



**Рис. 2.** *a* — спектральные зависимости коэффициента поглощения  $\text{MnGa}_2\text{Se}_4$  в области длинноволнового спада при различных температурах  $T$ , К: 1 — 80, 2 — 140, 3 — 228.5, 4 — 293. *b* — температурные зависимости параметра Урбаха  $\sigma(T)$ .

но, величина коэффициента поглощения быстро уменьшается с ростом дефицита энергии фотона ( $E_g - hv$ ). Эта область поглощения обычно называется хвостом. Зависимость коэффициента поглощения от дефицита энергии и температуры изменяется от кристалла к кристаллу. Оказывается, что почти всегда можно найти такую область частот, где

$$\alpha \sim \exp\left(-\frac{(E_g - hv)}{kT}\right). \quad (1)$$

Говорят, что в этой области энергий поглощение описывается обобщенным правилом Урбаха [10,11]. Температурная зависимость хвоста поглощения указывает на то, что в поглощении участвует один или несколько фононов. Такая область обычно существует где-то при не слишком больших и не слишком малых значениях дефицита энергии фотона.

Проведенный анализ показал, что во всей исследуемой области температур длинноволновый хвост электрон-фононного поглощения кристаллов  $\text{MnGa}_2\text{Se}_4$  подчиняется правилу Урбаха [11,12]:

$$\alpha = \alpha_0 \exp\left(\frac{\sigma(T)}{kT}(hv - E_0)\right), \quad (2)$$

где  $\alpha$  — коэффициент поглощения,  $hv$  — энергия кванта, падающего на вещество,  $\alpha_0$  и  $E_0$  — постоянные,

$\sigma(T)$  — параметр, характеризующий размытие края, причем [11,12]

$$\sigma(T) = \sigma_0 \frac{2kT_M}{hv_0} \text{th} \frac{hv_0}{2kT}. \quad (3)$$

Здесь  $\sigma_0$  — константа, характеризующая силу электрон-фононного взаимодействия  $g$ ,  $hv_0$  — энергия эффективного фонона, наиболее сильно связанного с электроном [13].

Из рис. 2, *a* видно, что в исследованном кристалле прямые линии  $\ln \alpha(hv, T)$  сходятся в одну точку ( $E_0, \ln \alpha_0$ ). Параметр Урбаха вычислен по формуле

$$\sigma(T) = \frac{kT \ln \frac{\alpha}{\alpha_0}}{(hv - E_0)}. \quad (4)$$

Температурные зависимости параметра Урбаха  $\sigma(T)$  показаны на рис. 2, *b*, из которого видно, что  $\sigma$  медленно убывает и экстраполируется в  $T = 0$ . Установлено, что одной из причин, по которой край фундаментальной полосы поглощения в зоне поглощения подвергается правилу Урбаха в полупроводниках с высокой концентрацией, является электрон-фононное взаимодействие [14].

Согласно [13], между  $\sigma_0$  и величиной электрон-фононного взаимодействия ( $g$ ) имеет место соотношение

$$\sigma_0 = \frac{2}{3} g^{-1}. \quad (5)$$

Значения  $g > 1$  свидетельствуют о том, что в монокристаллах  $\text{MnGa}_2\text{Se}_4$  существует сильное электрон-фононное взаимодействие.

### 3. Заключение

Таким образом, исследовано правило Урбаха при изучении зависимости оптического поглощения от энергии падающих фотонов в монокристаллах  $\text{MnGa}_2\text{Se}_4$  в интервале температур 80–293 К. Установлено, что в исследованных монокристаллах в области энергии фотонов 2.1–2.2 эВ длинноволновый хвост поглощения подчиняется правилу Урбаха. Показано, что в монокристаллах  $\text{MnGa}_2\text{Se}_4$  существует сильное электрон-фононное взаимодействие.

### Список литературы

- [1] K. Range, H. Hubner. Naturforsch., **31**, 886 (1976).
- [2] R. Rimet, S. Schlener, D. Fuchart. J. Physique, **43**, 1759 (1982).
- [3] R. Tovar, M. Quintero, E. Quintero, P. Bocaranda, J. Ruiz, R. Cadenas, A.E. Mora, L. Höeger, J.M. Briceno, H. Rakoto, J.M. Broto, R. Barbaste. Mater. Res. Bull., **37**, 1011 (2002).
- [4] M. Cadenas, M. Quintero, R. Quintero, R. Tovar, M. Morocoima, J. Gpnzález, J. Ruiz, J.M. Broto. H. Rakoto, J.C. Woolles, G. Lamarche. Physica B: Condens. Matter, **346–347**, 413 (2004).

- [5] О.Б. Тагиев, С.Г. Асадуллаева, И.Б. Бахтиярлы, К.О. Тагиев. ФТП, **47**, 577 (2013).
- [6] Б.Г. Тагиев, О.Б. Тагиев, С.Г. Асадуллаева, Г.Й. Эйюбов. ФТП, **46**, 334 (2012).
- [7] Г.Н. Нифтиев, О.Б. Тагиев, Э.З. Зейналов, Б.Д. Алиев. ФТП, **25**, 704 (1991).
- [8] Б.Г. Тагиев, Т.Г. Керимова, О.Б. Тагиев, С.Г. Асадуллаева, И.А. Мамедова. ФТП, **46**, 725 (2012).
- [9] J. Gonzalez, R. Rico, E. Calderan, M. Quintero, M. Morocoima. Phys. Status Solidi B, **45**, 211 (1999).
- [10] F. Urbach. Phys. Rev., **92**, 1324 (1953).
- [11] H. Mahr. Phys. Rev., **125**, 1510 (1962).
- [12] Б.Л. Гельмонт, В.И. Перель, И.Н. Ясиевич. ФТТ, **25**, 727 (1983).
- [13] G.D. Mahan. Phys. Rev., **145**, 602 (1966).
- [14] T. Babuka, I. Kityk, O. Parasyuk, G. Myronchuk, O.V. Khyzhun, A.O. Fedorchuk, M. Makowska-Janusik. J. Alloys Comp., **633**, 415 (2015).

Редактор Г.А. Оганесян

## Urbach rules in $\text{MnGa}_2\text{Se}_4$ single crystals at optical absorption

*N.N. Niftiyev*

Azerbaijan State Pedagogical University,  
Az-1000 Baku, Azerbaijan

**Abstract** The Urbach rule in  $\text{MnGa}_2\text{Se}_4$  single crystals is investigated and it is established that in the photon energy region 2.1–2.2 eV the long-wavelength absorption tail obeys the Urbach rule. It is shown that a strong electron-photon interaction exists in single crystals of  $\text{MnGa}_2\text{Se}_4$ .