

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ  $MnGa_2Se_4$ 

Нифтиев Г. М., Тагиев О. Б., Зейналов Э. З., Алиев Б. Д.

Изучены спектры поглощения и фотолюминесценции полумагнитного полупроводника  $MnGa_2Se_4$  — селенида из группы  $A^{II}B_2^{III}C_4^{VI}$ .

В последние годы сильно возрос интерес к полумагнитным полупроводниковым соединениям типа  $A^{II}B_2^{III}C_4^{VI}$  (где  $A^{II}$  — Mn, Co, Fe, Ni;  $B^{III}$  — Ga, Zn;  $C^{VI}$  — S, Se, Te) [1–12]. Эти материалы перспективны для создания управляемых магнитным полем лазеров, модуляторов света, фотодетекторов и других функциональных устройств, применяемых в оптоэлектронике. Из группы  $A^{II}B_2^{III}C_4^{VI}$  наиболее изученными являются соединения  $MnGa_2Te_4$  и  $MnZnTe_4$ . На их основе созданы поверхностно-барьерные структуры [4] и обнаружены оптические линейные дихроизмы [6]. Физические свойства этих полупроводников управляются введением различных примесей [5]. Однако физические свойства сульфидов и селенидов ( $MnGa_2(S, Se)_4$ ) из группы  $A^{II}B_2^{III}C_4^{VI}$  почти не изучены. Эти материалы по сравнению с теллуридами являются более широкозонными и в них можно получить излучения за счет внутрицентровых переходов  $Mn^{2+}$ .

Авторами работ [11] получены монокристаллы соединений  $MnGa_2Se_4$ , приведены структурные и магнитные исследования. Показано, что соединения  $MnGa_2Se_4$  кристаллизуются в тетрагональной структуре [11] [пространственная группа 1—4,  $a=5.676$  (2) Å;  $C=10.760$  (3) Å,  $Z=2$ ] и являются изоструктурными с  $CdGa_2S_4$ . Монокристаллы  $MnGa_2Se_4$  при низких температурах становятся антиферромагнитными полупроводниками (температура Нееля 6.4 К).

В настоящей работе приводятся результаты исследования оптических свойств монокристаллов  $MnGa_2Se_4$ .

Монокристаллы  $MnGa_2Se_4$  были выращены методом химических транспортных реакций в вакуированных кварцевых ампулах. В качестве транспортера использовался кристаллический йод. Полученные монокристаллы имели оранжево-красный цвет и форму трехгранных призм.

Рентгеноструктурные исследования показали, что кристаллическая структура и параметры решетки полученных нами монокристаллов хорошо согласуются с данными работы [11].

Спектры оптического поглощения монокристаллов в интервале температур 87–300 К зарегистрированы на установке, собранной на базе монохроматора МДР-12, а спектры фотолюминесценции — на приборе СДЛ-1.

В качестве источника света использовалась лампа накаливания, а в качестве источника возбуждения — гелий-кадмиевый лазер ЛПМ-11.

На рис. 1, б при различных температурах представлены зависимости коэффициента поглощения от энергии фотона. Видно, что спектр поглощения охватывает широкую область энергий 2.06–2.64 эВ. При низких температурах (77–200 К) на фоне роста коэффициента поглощения выявляется максимум при энергии 2.43 эВ. Энергетическое положение этого максимума с ростом температуры не меняется. При больших энергиях (2.50–2.66 эВ) имеет место резкий рост коэффициента поглощения. В области больших энергий (т. е. где имеет место резкий рост коэффициента поглощения) при понижении температуры кривые поглощения параллельно смещаются в сторону высоких частот. Для опре-

деления характера оптических переходов в монокристаллах  $MnGa_2Se_4$  высокоэнергетическая часть роста коэффициента поглощения анализирована согласно работе [13]. Установлено, что экспериментальные значения коэффициента поглощения хорошо укладываются в прямую в координатах  $\alpha^2 = f(h\nu)$  (рис. 2). Независимость формы кривой поглощений в области больших энергий фотона и линейная зависимость  $\alpha^2$  от  $h\nu$  свидетельствуют о том, что край собственного поглощения в монокристаллах  $MnGa_2Se_4$  формируется прямыми разрешенными оптическими переходами. При различных температурах ширина запрещенной зоны определена экстраполяцией прямых  $\alpha^2 = f(h\nu)$  к значению  $\alpha = 0$ .

На рис. 1, а представлены зависимости энергий фотонов при фиксированных значениях коэффициента поглощения  $\alpha = 680 \text{ см}^{-1}$  (прямая 1) и ширины запрещенной зоны (прямая 2) от температуры. Видно, что обе прямые являются параллельными. Край поглощения в  $MnGa_2Se_4$  с уменьшением температуры увеличивается по линейному закону [14], и коэффициент

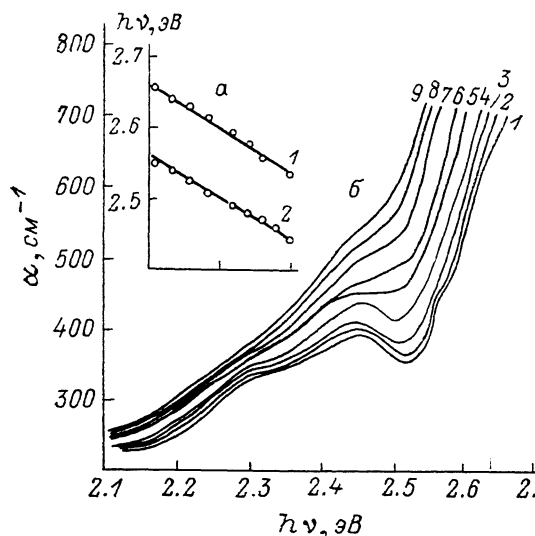


Рис. 1.

а) зависимость ширины запрещенной зоны (1) и энергии фотонов при  $\alpha = 680 \text{ см}^{-1}$  (2) от температуры, б) зависимость коэффициента поглощения от энергии падающих фотонов при  $T, \text{ К}: 1 - 110, 2 - 135, 3 - 159, 4 - 184, 5 - 217, 6 - 240, 7 - 259, 8 - 277, 9 - 295$ .

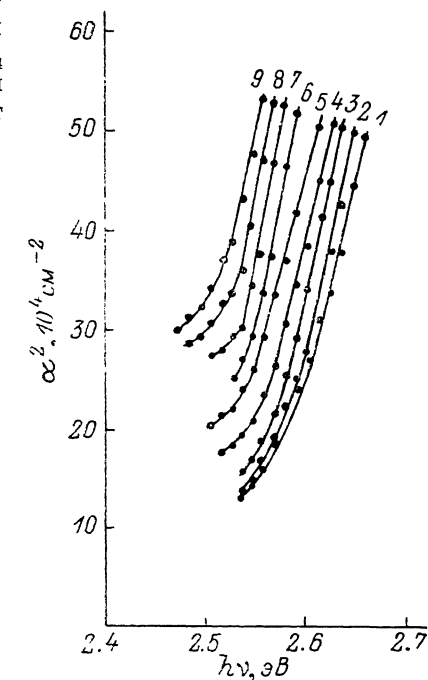


Рис. 2. Зависимость коэффициента поглощения от энергии падающих фотонов в координатах  $\alpha^2 \sim f(h\nu)$  при различных температурах.

$T, \text{ К}: 1 - 110, 2 - 135, 3 - 159, 4 - 184, 5 - 217, 6 - 240, 7 - 259, 8 - 277, 9 - 295$

температурного смещения ширины запрещенной зоны равен  $dE_g/dT = = 6.88 \cdot 10^{-4} \text{ эВ/К}$ .

Независимость энергетического положения пика при  $h\nu = 2.43 \text{ эВ}$  от температур и сравнение полученных данных с результатами [15] дают основание заключить, что этот пик связан с поглощением на внутрицентровых переходах ионов  $Mn^{2+}$  [ ${}^6A_1 - {}^1T_2$  ( ${}^4G$ )]. Исчезновение пика в спектрах поглощения при высоких температурах связано с перекрытием полосы внутрицентровых поглощений с фундаментальным краем монокристалла  $MnGa_2Se_4$ , возбужденные состояния  $Mn^{2+}$  находятся в пределах зоны проводимости.

На рис. 3 при различных температурах представлены спектры ФЛ монокристалла  $MnGa_2Se_4$ . Видно, что спектр ФЛ охватывает область длин волн  $0.40 - 0.78 \text{ мкм}$ . На спектре ФЛ выявлены несколько пиков и ступень при  $0.445, 0.475, 0.510, 0.530, 0.665$  и  $0.730 \text{ мкм}$ . С ростом температуры интенсивность пиков ФЛ уменьшается. При температуре  $184 \text{ К}$  полоса ФЛ с максимумом  $0.66 \text{ мкм}$  исчезает. Энергетическое положение этих пиков не зависит от температуры.

Независимость энергетических положений пиков ФЛ от температуры

и их сравнение с результатами работ [15, 16] позволяют заключить, что полосы ФЛ в области 0.40—0.60 мкм связаны внутрицентровыми переходами пона  $Mn^{2+}$  [ ${}^4T_2({}^4G) \rightarrow {}^6A_1$ ;  ${}^4A_1, {}^4E({}^4G) \rightarrow {}^6A_1$ ].

Для выяснения природы излучения с максимумами 0.665 и 0.730 мкм в монокристаллах  $MnGa_2Se_4$  в широком интервале температур (77—350 К) исследованы релаксация темнового тока и электропроводность. На основании этих исследований обнаружены акцепторные уровни с энергиями активации 0.60 и 0.75 эВ. Считаем, что полосы с максимумами 0.665 и 0.730 мкм обусловлены

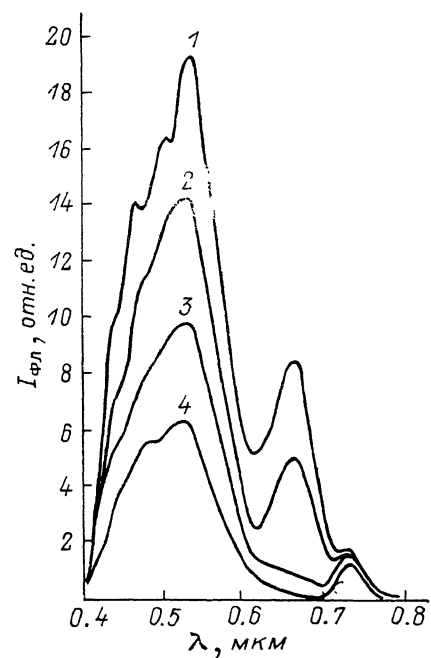


Рис. 3. Спектр ФЛ при различных температурах.  
Т, К: 1 — 77, 2 — 140, 3 — 184, 4 — 281.

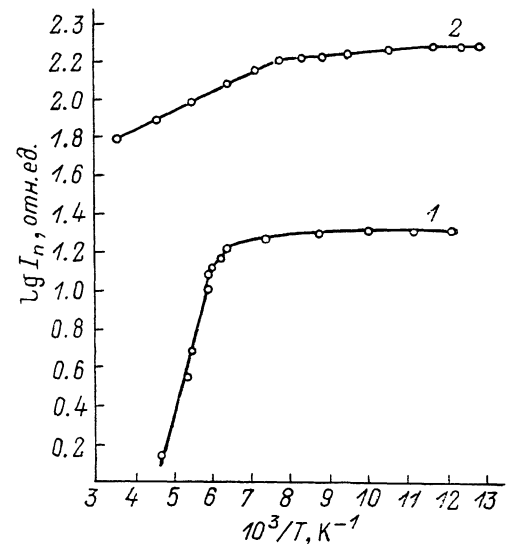


Рис. 4. Температурная зависимость интенсивности излучения для полос с максимумами 0.66 (1) и 0.53 мкм (2).

переходом электронов из зоны проводимости на акцепторный уровень с энергиями  $E_p + 0.60$  и  $E_p + 0.75$  эВ.

Для всех наблюдаемых полос интенсивность люминесценции экспоненциально уменьшается с температурой. Из наклона зависимости  $\lg I_n$  от  $10^3/T$  (рис. 4) определенная энергия активации для полос 0.66 (кривая 1) и 0.53 мкм (кривая 2) соответственно равны 0.12 и 0.02 эВ.

Нелинейная зависимость интенсивности излучения от температуры свидетельствует о том, что в  $MnGa_2Se_4$  имеются как центры излучательной рекомбинации, при которой имеет место термический выброс неравновесных носителей с локализованных центров с последующей безызлучательной рекомбинацией их на центрах тушения.

#### Список литературы

- [1] Takeshi Kanomata, Hideaki Ido // Phys. Soc. Japan. 1973. V. 34. N 2. P. 554.
- [2] Бабаева П. К., Рустамов П. Г., Амиджанов М. А. Тройные полупроводники и их применение. Баку, 1976. 147 с.
- [3] Бабаева П. К., Рустамов П. Г. // Азерб. хим. ж. 1983. № 2. С. 124—127.
- [4] Бекимбетов Р. Н., Рудь Ю. В., Таиров М. А. // ФТП. 1987. Т. 21. В. 6. С. 1051—1053.
- [5] Bekimbetov R. N., Vaipolin A. A., Konstantinova N. N., Kradinova L. V., Medvedkin G. A., Prochukhan V. D., Rud Yu. V., Tairov M. A. // Cryst. Res. Techn. 1987. V. 22. N C12. P. K238—K240.
- [6] Бекимбетов Р. Н., Медведкин Г. А., Прочухан В. Д., Рудь Ю. В., Таиров М. А. // ЖТФ. 1987. Т. 13. В. 17. С. 1040—1043.
- [7] Марцинявичюс С., Алибразявичюс Г., Бекимбетов Р. Н., Медведкин Г. А. // ФТП. 1988. Т. 22. В. 11. С. 1919—1923.

- [8] Аверикова Г. К., Бекимбетов Р. Н., Константинова Н. Н., Крадинова Л. В., Прочухан В. Д., Рудь Ю. В., Таиров М. А. // Изв. вузов СССР. Неорг. матер. 1988. Т. 24. В. 4. С. 591—594.
- [9] Бекимбетов Р. Н., Константинова Н. Н., Рудь Ю. В., Таиров М. А. // Изв. вузов СССР. Неорг. матер. 1988. Т. 24. В. 12. С. 1969—1971.
- [10] Medvedkin G. A., Rud Yu. V., Tairov M. A. // Phys. St. Sol. (a). 1988. V. 110. N 2. P. 631—643.
- [11] Rimet R., Schlenker C., Fruchart D. // J. Physique. 1982. V. 41. P. 1759—1765.
- [12] Johnson E. J. // Semicond. a. Semimet. 1967. V. 3. P. 153.
- [13] Нифтиев Н. Н., Тарнев О. Б., Рустамов А. Г. // ФТП. 1990. Т. 24. В. 4. С. 758—761.
- [14] Varshni Y. P. // Physica. 1967. V. 34. N 13. P. 149—154.
- [15] Goede O., Heimkolt W. // Phys. St. Sol. B. 1988. V. 146. N 1. P. 11—62.

Институт физики АН АзССР  
Баку

Получена 29.06.1990  
Принята к печати 14.12.1990

