

- [1] Артамонов О. М. ЖТФ, 1975, т. 45, № 1, с. 178—179.
 [2] Борзяк П. Г., Завилопуло А. Н., Кулюпин Ю. А. и др. ДАН УССР, серия А, 1975, № 8, с. 731—732.
 [3] Woodruff D. P., Smith N. V., Johnson P. D., Royer W. A. Phys. Rev., 1982, vol. B26, N 6, p. 2943—2955.
 [4] Артамонов О. М., Самарин С. М., Яковлев И. И. ФТТ, 1986, т. 28, № 8, с. 2536—2539.
 [5] Holm R. T., McKnight S. W., Palik E. D., Lukosz W. Appl. Opt., 1982, vol. 21, N 14, p. 2512—2519.
 [6] Антонов В. Н., Кобзар Ю. М., Кулюпин Ю. А. и др. ФТТ, 1987, т. 29, № 3, с. 907—909.
 [7] Кляп М. П., Крицкий В. А., Кулюпин Ю. А. и др. ЖЭТФ, 1984, т. 86, № 3, с. 1117—1123.
 [8] Пафомов В. Е. Тр. ФИАН, 1969, т. 44, с. 28—167.
 [9] Johnson P. B., Christy R. W. Phys. Rev., 1972, vol. B6, N 12, p. 4370—4379.

Институт физики АН УССР
Киев

Поступило в Редакцию
4 декабря 1987 г.
В окончательной редакции
24 марта 1988 г.

УДК 535.37

Физика твердого тела, том 30, в. 8, 1988

Solid State Physics, vol. 30, № 8, 1988

ЭКСИТОННЫЕ СОСТОЯНИЯ В МОНОКРИСТАЛЛАХ TlGaS_2

Г. Д. Гусейнов, И. С. Горбань, В. А. Губанов,
Н. М. Белый, С. Г. Гусейнов, А. В. Бобыр, С. Б. Казымов

Тройные слоистые полупроводники TlGaS_2 кристаллизуются в нескольких политипных модификациях, характеризующихся пространственными группами C_s^4 , C_{2h}^6 , C_2^2 [1, 2]. На основании изучения спектров поглощения и фотопроводимости показано, что кристаллы TlGaS_2 являются непрямозонными ($E_g^{\text{ind}} = 2.53$ эВ, $T = 77$ К [3]). В работах [4, 5], посвященных исследованию спектров поглощения, определено энергетическое положение прямого экситона, равное 2.60 эВ ($T = 4.2$ К) [4] и 2.614 эВ ($T = 1.8$ К) [5]. Расхождение этих данных может быть обусловлено разным качеством исследуемых кристаллов или различным их политипным составом. В работе [5] оценена также энергия связи прямого экситона, равная 22 мэВ. Сведения об энергетическом положении непрямого экситона в литературе отсутствуют.

Спектры излучательной рекомбинации кристаллов TlGaS_2 исследовались в работах [1, 4, 6, 7]. Согласно приведенным в этих работах данным, серия полос в области 2.032—2.083 эВ ($T = 1.8$ К) возникает в результате рекомбинации или донорно-акцепторных пар [1], или связанных экситонов [4], а две широкие полосы с максимумами 2.484 и 2.101 эВ ($T = 6$ К) имеют примесную природу [6]. В работе [7] обсуждается вопрос о происхождении двух широких полос фотолуминесценции (ФЛ) 2.489 и 2.520 эВ ($T = 1.8$ К).

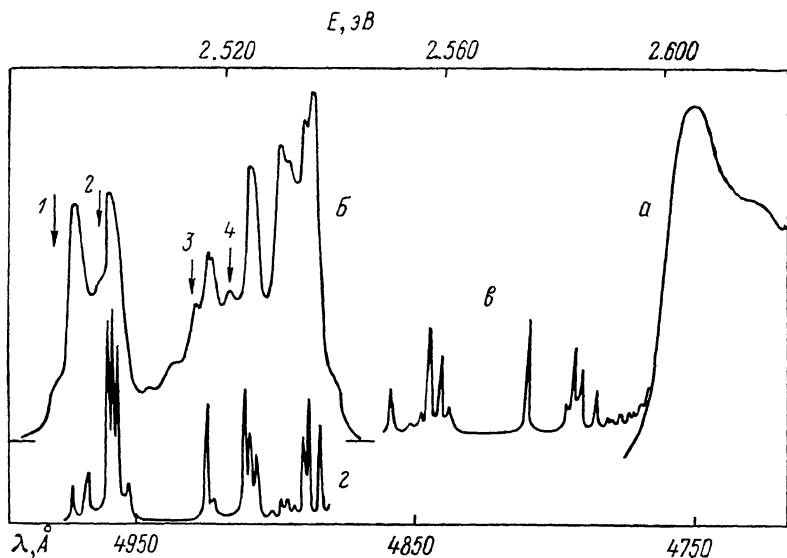
Целью данной работы являлось определение параметров экситонов и зонной структуры кристаллов TlGaS_2 с использованием данных по ФЛ, поглощению и комбинационному рассеянию (КР) света.

Измерения проводились на спектрометре ДФС-24 в температурном интервале 1.8—10.0 К. Для регистрации слабых сигналов использовался режим накопления с пошаговым сканированием спектра. ФЛ и КР возбуждались излучением аргонового лазера.

На рисунке, а представлен спектр экситонного поглощения монокристаллов TlGaS_2 с характерным пиком для состояния с $n=1$ (2.606 эВ), известным по работам [1, 3-5], на коротковолновом крыле которого удалось

зарегистрировать полосу с максимумом 2.623 эВ, обусловленную экситонным поглощением с $n=2$. В водородоподобном приближении без учета поправок на центральную ячейку и обменное взаимодействие оценка энергии связи прямого экситона дает величину 23 мэВ, хорошо совпадающую со значением для ΔE_{ex}^d , приведенным в работе [5].

На рисунке, б изображен спектр ФЛ монокристаллов $TlGaS_2$ при возбуждении излучением с $h\nu=2.6013$ эВ, $T=1.8$ К. Обнаруженная многополосная люминесценция наблюдается также при возбуждении с $h\nu=2.7069$ эВ. На рисунке, в представлен спектр КР ($h\nu=2.5397$ эВ, $T=1.8$ К) исследуемых кристаллов (см. также [8]). Спектральное положение многополосной люминесценции, а также ее хорошая частотная корреляция со спектром КР позволяют предположить, что наблюдаемые полосы ФЛ обусловлены излучательной рекомбинацией непрямого экситона



Спектры поглощения (а), ФЛ (б), резонансного КР (в) и КР (г) монокристаллов $TlGaS_2$. $T=1.8$ К.

1 — 2.4882, 2 — 2.4964, 3 — 2.5140, 4 — 2.5198 эВ.

с эмиссией фононов. Единая природа обсуждаемых полос подтверждается отсутствием изменения их относительной интенсивности в спектрах различных образцов. В пользу высказанного предположения о природе наблюдаемых полос свидетельствует также их асимметричная форма [9]. Энергетическое положение непрямого экситона, рассчитанное по спектрам ФЛ и КР (с точностью до поправок на ширину фононных зон), равно 2.5397 ± 0.0002 эВ. Линия спектра ФЛ 2.5397 эВ может быть обусловлена участием акустических фононов в процессах экситон-фононного взаимодействия. Незначительное различие в энергиях фононов (см. таблицу), вычисленных по спектрам ФЛ и КР, обусловлено, по-видимому, слабой дисперсией фононных ветвей, характерной для слоистых кристаллов в перпендикулярном слоевым пакетам направлении.

Полосы спектра ФЛ 2.4882 и 2.4964 эВ сформированы в основном двухфононными повторениями полосы непрямого экситона, а линии 2.5140 и 2.5198 эВ обусловлены излучательной рекомбинацией локализованных экситонов, так как их относительная интенсивность изменяется от образца к образцу (см. также [8]).

При возбуждении исследуемого кристалла лазерным излучением с энергией квантов $h\nu=2.6013$ эВ, резонансной состоянию прямого экситона, совместно со спектром ФЛ был зарегистрирован спектр резонансного КР (РКР) (см. рисунок, в). По сравнению со спектром нерезонансного КР (см. рисунок, г) в спектре РКР наблюдается перераспределение относитель-

E , эВ (ФЛ)	E , мэВ (ФЛ)	E , мэВ (КР)	E , мэВ (РКР)	E , мэВ (ФЛ)	E , мэВ (ФЛ)	E , мэВ (КР)	E , мэВ (РКР)
2.5397	—	—	—	2.5163	23.4	23.4	23.7
—	—	2.7	3.1	2.5140	—	—	—
2.5351	4.6	4.9	4.9	2.5103	—	—	—
2.5334	6.3	5.8	5.8	2.5056	—	—	—
—	—	7.4	7.3	—	—	39.2	39.2
2.5304	9.3	9.2	9.4	—	—	40.0	40.2
—	—	9.7	9.9	—	—	40.7	40.7
2.5287	11.1	11.0	11.5	2.4985	41.2	41.7	41.8
—	—	14.2	14.0	2.4964	—	—	—
—	—	15.1	15.0	—	—	44.3	44.0
2.5234	16.3	15.7	15.7	2.4919	47.8	48.8	48.7
2.5198	—	—	—	2.4882	—	—	—
2.5173	22.4	21.9	—	—	—	—	—

ной интенсивности линий. Однако отсутствие достоверных данных о симметрии кристаллической решетки $TlGaS_2$ [8] не позволяет определить типы колебаний, наиболее активно взаимодействующих с экситонами в условиях резонанса.

Наряду со стехиометрически чистыми кристаллами $TlGaS_2$ исследовались и кристаллы, интеркалированные графитом в процессе роста. Энергетические положения особенностей спектров поглощения и ФЛ вследствие интеркаляции заметно не изменялись. Интеркаляция графитом приводила только к ухудшению прозрачности кристаллов и к ослаблению и исчезновению ФЛ с увеличением степени интеркаляции.

Л и т е р а т у р а

- [1] Абуталыбов Г. И., Алиев А. А., Ларионкина Л. С. и др. ФТТ, 1984, т. 26, № 4, с. 1221—1223.
- [2] Гусейнов Г. Д., Багирзаде Э. Ф., Абдинбеков С. С. Препринт ИФ АН АзССР, № 101. Баку. 1984. 58 с.
- [3] Бахышов Л. Э., Лебедев А. А., Халафов Э. Д., Якобсон М. А. ФТП, 1978, т. 12, № 3, с. 555—557.
- [4] Абуталыбов Г. И., Агекян В. Ф., Алиев А. А. и др. ФТП, 1985, т. № 2, с. 351—353.
- [5] Абуталыбов Г. И., Салаев Э. Ю. ФТТ, 1986, т. 28, № 7, с. 2201—2203.
- [6] Абдуллаева С. Г., Мамедов Н. Т. Препринт ИФ АН АзССР, № 81. Баку, 1980. 16 с.
- [7] Abdullaeva S. G., Mamedov N. T., Mustafaev F. A., Salaev E. Ju. Phys. St. Sol. (a), 1984, vol. 82, N 1, p. K75—K77.
- [8] Gasanly N. M., Goncharov A. F., Melnik N. N. et al. Phys. St. Sol. (b), 1983, vol. 116, N 2, p. 427—443.
- [9] Гросс Е. Ф., Пермогоров С. А., Разбирин Б. С. ФТТ, 1966, т. 8, № 5, с. 1483—1492.

Киевский государственный университет им. Т. Г. Шевченко
Киев

Поступило в Редакцию
31 марта 1988 г.