

06;07;12

## Оптическое поглощение в эпитаксиальных пленках $Gd_3Ga_5O_{12}$ , выращенных из раствора-расплава на основе $Bi_2O_3$ – $V_2O_5$ – $CaO$

© В.В. Рандошкин, Н.В. Васильева, В.Г. Плотниченко,  
А.М. Салецкий, К.В. Сташун, Н.Н. Сысоев

Совместная хозрасчетная лаборатория "Магнитооптоэлектроника"  
Института общей физики РАН при Мордовском государственном  
университете им. Н.П. Огарева  
Научный центр волоконной оптики при Институте общей физики РАН  
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Поступило в Редакцию 8 декабря 1999 г.

Сообщается о монокристаллических пленках граната номинального состава  $Gd_3Ga_5O_{12}$ , впервые выращенных методом жидкофазной эпитаксии из переохлажденного раствора-расплава на основе  $Bi_2O_3$ – $V_2O_5$ – $CaO$ , в которых отсутствуют полосы поглощения в видимой области спектра.

Оптически активные эпитаксиальные монокристаллические пленки гранатов (МПГ) разного состава обычно выращивают из переохлажденного раствора-расплава на основе  $PbO$ – $V_2O_5$  [1–5]. Недостатком этого раствора-расплава является вхождение компонентов растворителя  $Pb^{2+}$  и  $Pb^{4+}$  в состав МПГ, что приводит к появлению дополнительного оптического поглощения в видимой области спектра [5], препятствующего созданию пленочных лазеров для этого диапазона. Более того, спектры оптического поглощения МПГ, последовательно выращенных в одинаковых условиях из одного и того же  $Pb$ -содержащего раствора-расплава, сильно различаются между собой [5]. Это, в частности, проявляется в различной окраске последовательно выращенных эпитаксиальных пленок [2].

Целью настоящей работы являлось выращивание МПГ  $Gd_3Ga_5O_{12}$  методом жидкофазной эпитаксии на подложках  $Gd_3Ga_5O_{12}$  с ориентацией (111) из переохлажденного раствора-расплава на основе  $Bi_2O_3$ – $V_2O_5$ – $CaO$  и исследование оптического поглощения синтезированных

Параметры эпитаксиальных структур, выращенных из растворов-расплавов на основе  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  (1–3) и  $\text{PbO-B}_2\text{O}_3$  (4, 5)

№ п/п	$T_g, ^\circ\text{C}$	$f_g, \mu\text{m}/\text{min}$	$2h, \mu\text{m}$	$\lambda_{0.1}, \text{nm}$
1	896	0.22	12.92	314
2	886	0.39	24.82	321
3	886	0.30	18.46	317
4	932	0.74	29.8	365
5	932	0.24	9.4	289

пленок. В таких пленках должно отсутствовать дополнительное оптическое поглощение, связанное с ионами  $\text{Pb}^{2+}$  и  $\text{Pb}^{4+}$ . Для зарядовой компенсации возможных примесей ионов  $\text{Pt}^{4+}$  в раствор-расплав вводили  $\text{CaO}$ .

Состав шихты для выращивания МПГ характеризовался следующими мольными отношениями компонентов:

$$R_1 = \text{Ga}_2\text{O}_3/\text{Gd}_2\text{O}_3 \approx 2.9 \div 4.8,$$

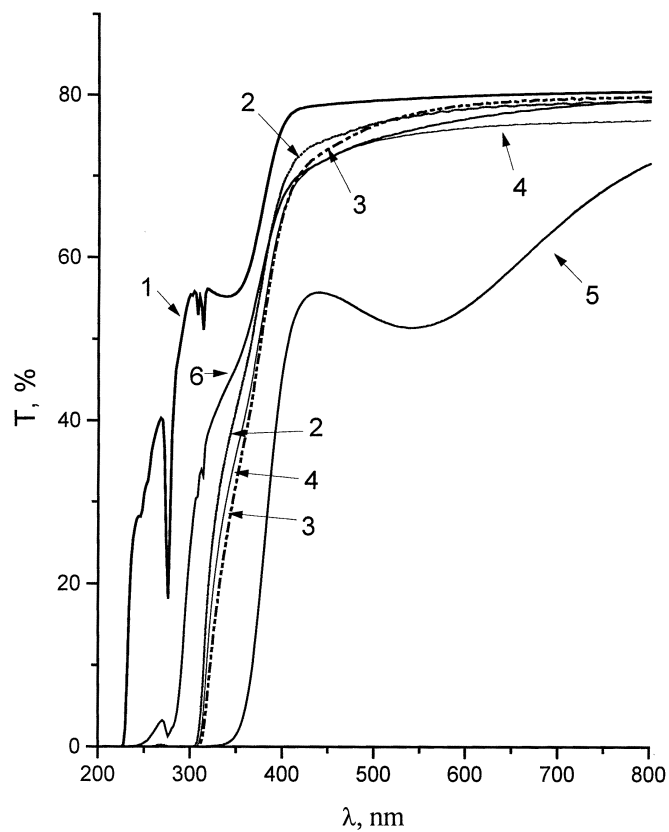
$$R_2 = \text{Bi}_2\text{O}_3/\text{B}_2\text{O}_3 \approx 16.1 \div 16.3,$$

$$R_2 = \text{CaO}/\text{B}_2\text{O}_3 \approx 1.00,$$

$$R_3 = (\text{Gd}_2\text{O}_3 + \text{Ga}_2\text{O}_3)/(\text{Gd}_2\text{O}_3 + \text{Ga}_2\text{O}_3 + \text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{B}_2\text{O}_3)$$

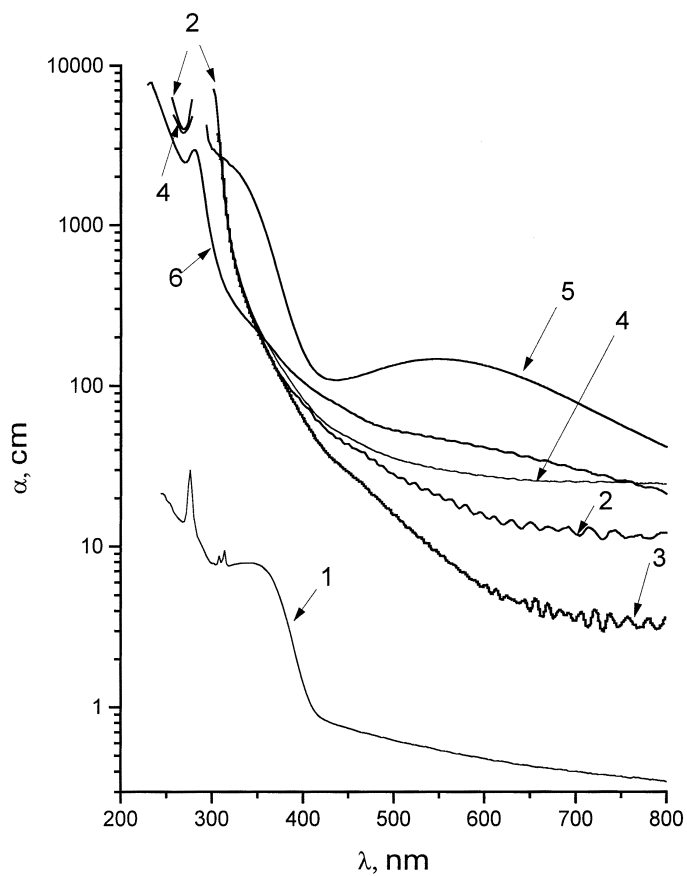
$$\approx 0.087 \div 0.097.$$

Раствор-расплав гомогенизировали в платиновом тигле не менее 240 min, после чего его температуру снижали до температуры роста  $T_g$  в течение 60 min. Затем  $\sim 20$  min выдерживали раствор-расплав при этой температуре и погружали в него подложку. Переохлаждение раствора-расплава  $\Delta T$  увеличивали от пленки к пленке в каждой серии. Минимальное значение  $\Delta T$  в разных сериях составляло от 1.5 до 23 К. Время роста МПГ составляло около 30 min. Суммарную толщину ( $2h$ ) выращенных на обеих сторонах подложки пленок определяли, взвешивая подложку перед ее погружением в раствор-расплав и выращенную эпитаксиальную структуру [2]. Спектры пропускания пленок измеряли на спектрометре Lambda 900 фирмы Perkin-Elmer.



**Рис. 1.** Спектры оптического пропускания  $T(\lambda)$  подложки  $Gd_3Ga_5O_{12}$  (1), эпитаксиальных структур № 1 (2), № 2 (3) и № 3 (4), выращенных из раствора-расплава на основе  $Bi_2O_3-B_2O_3-CaO$ , и эпитаксиальных структур № 4 (5) и № 5 (6), выращенных из раствора-расплава на основе  $PbO-B_2O_3$ .

Параметры некоторых МПГ, выращенных при различной температуре  $T_g$  и скорости роста  $f_g$ , приведены в таблице. При последовательном выращивании в одинаковых условиях изменение окраски МПГ в отличие от Pb-содержащих пленок [2] не обнаружено. Они оказались бесцветными и прозрачными на вид.



**Рис. 2.** Спектры оптического поглощения  $\alpha(\lambda)$  эпитаксиальных структур, выращенных из раствора-расплава на основе  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ . Номера кривых соответствуют рис. 1.

На рис. 1 приведены спектры пропускания подложки (кривая 1) и эпитаксиальных структур (кривые 2-4). Для сравнения здесь же приведены спектры пропускания двух структур, выращенных из раствора-расплава на основе  $\text{PbO-B}_2\text{O}_3$  (кривые 5 и 6) с меньшей и большей толщиной, чем у первых.

Из рис. 1 видно, что все эпитаксиальные пленки обладают дополнительным поглощением по сравнению с подложкой. Край полосы пропускания МПГ, как и в [5], характеризовали значением длины волны  $\lambda_{0.1}$  (см. таблицу), при которой пропускание  $T$  составляет 10% от максимального значения. Заметим, что величина  $\lambda_{0.1}$  для МПГ, выращенных из раствора-расплава  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-V}_2\text{O}_5\text{-CaO}$ , в зависимости от последовательного номера в серии [5] изменяется в меньших пределах, чем для пленок, выращенных из раствора-расплава на основе  $\text{PbO-V}_2\text{O}_5$ .

Из рис. 1 видно также, что спектры пропускания МПГ, выращенных из раствора-расплава  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-V}_2\text{O}_5\text{-CaO}$  (кривые 2–4), не имеют сильного поглощения в окрестности длины волны  $\lambda \approx 550$  nm, характерного для достаточно толстых Pb-содержащих пленок (кривая 6). Это обстоятельство позволяет надеяться на возможность создания пленочных лазеров видимого диапазона.

На рис. 2 показаны спектры нормированного на толщину пленок поглощения  $\alpha(\lambda)$  для МПГ, выращенных из раствора-расплава  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-V}_2\text{O}_5\text{-CaO}$ . Спектры получены математической обработкой кривых, приведенных на рис. 1, следующим образом: сначала коэффициент пропускания подложки с выращенной на ней пленкой делился на коэффициент пропускания подложки, измеренный до выращивания пленки; затем натуральный логарифм этого отношения делился на суммарную толщину пленок, выросших с обеих сторон подложки. Видно, что на кривых 2, 3 и 4 наблюдается полоса поглощения в окрестности  $\lambda \approx 290$  nm. Ее можно связать с самым длинноволновым переходом ионов висмута  $^1\text{S}_0 \rightarrow ^3\text{P}_1$  в немагнитных гранатах [6]. Однако доказательство этого факта требует дальнейших исследований оптического поглощения в этих МПГ.

Слабый пик поглощения в окрестности  $\lambda \approx 280$  nm наблюдается также и для МПГ, выращенных из раствора-расплава на основе  $\text{PbO-V}_2\text{O}_5$  (кривая 6 на рис. 2). Его можно связать с внутриионным переходом  $\text{Pb}^{2+}: (\text{G}_s^2)^1\text{-S}_0 \rightarrow ^3\text{P}_1$ .

Таким образом, в настоящей работе показано, что эпитаксиальные МПГ номинального состава  $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ , выращенные из раствора-расплава на основе  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-V}_2\text{O}_5\text{-CaO}$ , хотя и обладают дополнительным оптическим поглощением в УФ диапазоне вблизи 290 nm, по сравнению с подложками  $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$  не имеют полосы поглощения в видимой области в окрестности  $\lambda \approx 550$  nm, характерной для МПГ, которые

выращены из раствора-расплава на основе  $\text{PbO}-\text{V}_2\text{O}_5$ . Это позволяет рассматривать их как перспективные материалы для пленочных лазеров видимого диапазона.

Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 99-02-18427).

## Список литературы

- [1] *Арсеньев П.А., Багдасаров Х.С., Фенин В.В.* Выращивание монокристаллических пленок для квантовой электроники. М.: МЭИ, 1981. 68 с.
- [2] *Рандошкин В.В., Беловолов А.М., Беловолов М.И., Васильева Н.В., Дианов Е.М., Сташун К.В., Тимошечкин М.И.* // Квантовая электроника. 1988. Т. 25. В. 3. С. 233–235.
- [3] *Ferrand B., Chambaz B., Couchaud M.* // Optical Materials. 1999. V. 11. P. 101–114.
- [4] *Рандошкин В.В., Васильева Н.В., Салецкий А.М., Сташун К.В., Сысоев Н.Н., Галкин А.М., Кудряшов Ю.И.* // Физическая мысль России. 2000 (в печати).
- [5] *Рандошкин В.В., Васильева Н.В., Салецкий А.М., Сысоев Н.Н.* // Письма в ЖТФ. 2000 (в печати).
- [6] *Рандошкин В.В., Червоненкис А.Я.* Прикладная магнитооптика. М.: Энергоатомиздат, 1990. С. 50.