

06

## Оптическое поглощение в эпитаксиальных кобальтсодержащих пленках гадолиний-галлиевого граната

© В.В. Рандошкин, Н.В. Васильева, В.Г. Плотниченко,  
Ю.Н. Пырков

Совместная хозрасчетная лаборатория "Магнитооптоэлектроника"  
Института общей физики РАН при Мордовском государственном  
университете им. Н.П. Огарева  
Научный центр оптики при Институте общей физики РАН, Москва

Поступило в Редакцию 3 июля 2000 г.

Сообщается об обнаруженном оптическом поглощении двух- и трехвалентными ионами кобальта в монокристаллических пленках гадолиний-галлиевого граната, выращенных методом жидкофазной эпитаксии из переохлажденных растворов-расплавов на основе  $PbO-B_2O_3$  и  $PbO-B_2O_3-GeO_2$ .

Монокристаллы  $MgAl_2O_4$ , легированные ионами  $Co^{2+}$ , могут использоваться в качестве насыщающегося фильтра в лазерах ближнего инфракрасного (ИК) диапазона [1]. Это обусловлено наличием в этих материалах широкой полосы поглощения в диапазоне длин волн  $\lambda = 1.3 - 1.6 \mu m$ .

С целью выяснения возможности получения этого эффекта в монокристаллических пленках гадолиний-галлиевого граната, содержащих ионы кобальта, в настоящей работе методом жидкофазной эпитаксии из переохлажденного раствора-расплава синтезированы Co-содержащие пленки граната и изучено их оптическое поглощение. Пленки выращивали на подложках  $Gd_3Ga_5O_{12}$  (ГГГ) с ориентацией (111) из растворов-расплавов на основе  $PbO-B_2O_3$  (I)  $PbO-B_2O_3-GeO_2$  (II). В первом случае для обеспечения зарядовой компенсации [2] кобальт в основном должен находиться в трехвалентном состоянии. Лишь небольшое количество ионов  $Co^{2+}$  может образовываться для компенсации заряда примесных ионов  $Pb^{4+}$  и  $Pt^{4+}$ , входящих в пленку из раствора-расплава. Во втором случае ионы кобальта должны переходить в двухвалентное состояние для компенсации заряда ионов  $Ge^{4+}$ , входящих в основном в тетраэдрическую подрешетку структуры граната.

Состав раствора-расплава I характеризовался следующими мольными отношениями:

$$R_1 = (\text{Ga}_2\text{O}_3 + \text{Co}_3\text{O}_4)/\text{Gd}_2\text{O}_3 \approx 14.42,$$

$$R_2 = \text{PbO}/\text{B}_2\text{O}_3 \approx 16.03,$$

$$R_3 = (\text{Gd}_2\text{O}_3 + \text{Ga}_2\text{O}_3 + \text{Co}_3\text{O}_4)/(\text{Gd}_2\text{O}_3 + \text{Ga}_2\text{O}_3 + \text{Co}_3\text{O}_4 + \text{PbO} + \text{B}_2\text{O}_3) \approx 0.08,$$

$$R_4 = \text{Ga}_2\text{O}_3/\text{Co}_3\text{O}_4 \approx 9.00,$$

а состав раствора-расплава II следующими:

$$R_1 = (\text{Ga}_2\text{O}_3 + \text{GeO}_2 + \text{Co}_3\text{O}_4)/\text{Gd}_2\text{O}_3 \approx 30.77,$$

$$R_2 = \text{PbO}/\text{B}_2\text{O}_3 \approx 16.03,$$

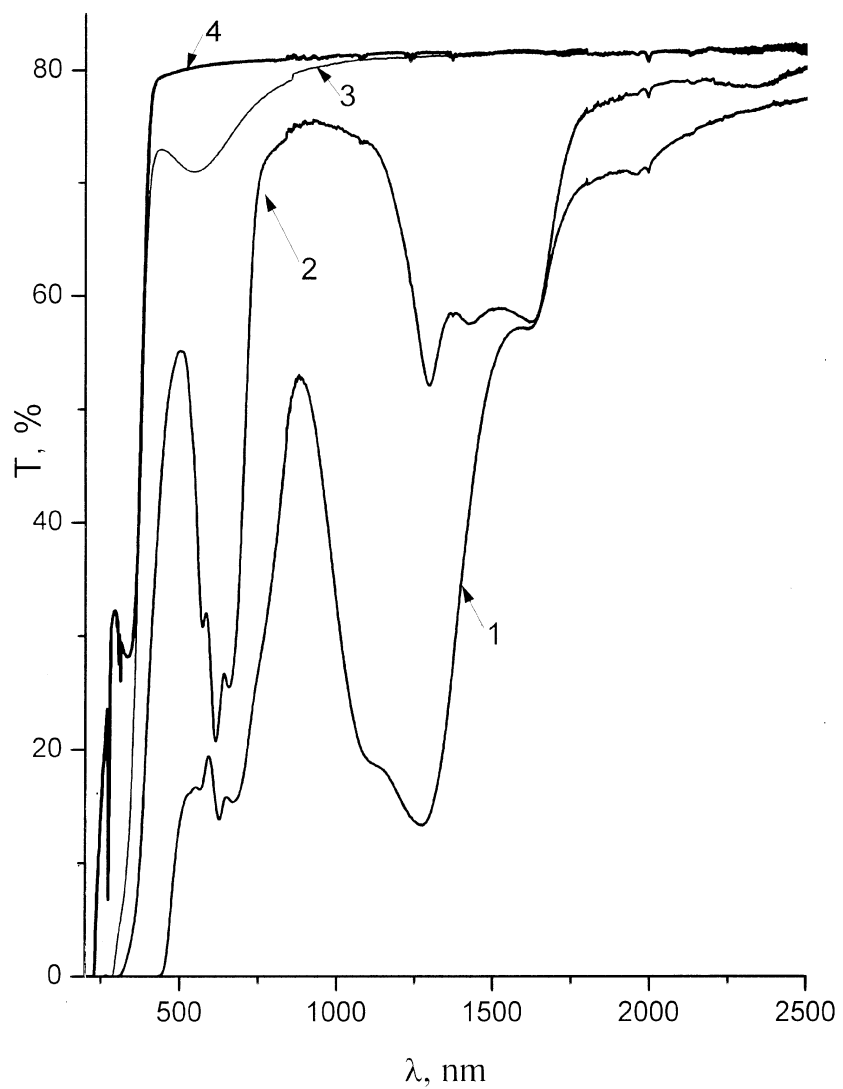
$$R_3 = (\text{Gd}_2\text{O}_3 + \text{Ga}_2\text{O}_3 + \text{GeO}_2 + \text{Co}_3\text{O}_4)/(\text{Gd}_2\text{O}_3 + \text{Ga}_2\text{O}_3 + \text{GeO}_2 + \text{Co}_3\text{O}_4 + \text{PbO} + \text{B}_2\text{O}_3) \approx 0.15,$$

$$R_4 = (\text{Ga}_2\text{O}_3 + \text{GeO}_2)/\text{Co}_3\text{O}_4 \approx 20.35.$$

Пленки, выращенные из раствора-расплава I, были окрашены в зеленый цвет, а из раствора-расплава II — в синий. Это свидетельствует о разной валентности ионов кобальта, входящих в их состав. Параметры роста пленок приведены в таблице, где  $T_g$  — температура роста,  $t_g$  — время роста,  $f_g$  — скорость роста. Здесь же для сравнения приведены данные для пленки, выращенной из раствора-расплава III на основе  $\text{PbO}-\text{B}_2\text{O}_3$ , не содержащего кобальта [3].

Толщину пленок  $h$  определяли, взвешивая подложку до эпитаксиального роста и пленку с подложкой после него [3,4]. Различием плотности пленки подложки, как и в работе [4], пренебрегали. Спектр пропускания пленок измеряли с помощью спектрофотометра Lambda 900 фирмы Perkin-Elmer.

На рисунке приведены спектры пропускания пленок, выращенных из растворов-расплавов I, II и III (кривые 1, 2, 3 соответственно), и подложки ГГГ (кривая 4). Видно, что образец 1 (см. таблицу) обладает широкой полосой поглощения в ИК диапазоне  $\lambda = 0.9 \div 1.63 \mu\text{m}$  с центром на длине волны  $\lambda = 1273 \text{ nm}$  и относительно слабыми



Спектры оптического пропускания  $T(\lambda)$  эпитаксиальных пленок номинальных составов  $\text{Gd}_3(\text{Ga}, \text{Co})_5\text{O}_{12}$  (1),  $\text{Gd}_3(\text{Ga}, \text{Ge}, \text{Co})_5\text{O}_{12}$  (2) и  $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$  (3) и подложки  $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$  (4).

Параметры роста эпитаксиальных монокристаллических пленок

№ образца	Раствор-расплав	$T_g, ^\circ\text{C}$	$t_g, \text{min}$	$f_g, \mu\text{m}/\text{min}$	$2h, \mu\text{m}$
1	I	937	60	0.8	92.3
2	II	874	120	0.2	44.6
3	III	914	10	0.8	15.9

пиками поглощения с центрами на длинах волн  $\lambda = 565, 626$  и  $670 \text{ nm}$ . Наличие этой полосы и пиков поглощения может быть связано только с ионами  $\text{Co}^{3+}$ . Образец 2 (см. таблицу) обладает широкой полосой поглощения в диапазоне длин волн  $\lambda = 1.2 \div 1.7 \mu\text{m}$ , слабыми пиками поглощения с центрами на длинах волн  $\lambda = 573, 615$  и  $658 \text{ nm}$ , причем минимум поглощения имеет место на длине волны  $\lambda = 504 \text{ nm}$ . Наличие этой широкой полосы поглощения, как и в работе [1], может быть связано с переходом иона  $\text{Co}^{2+}$  из основного состояния  $^4\text{A}_2(^4\text{F})$  на уровень  $^4\text{T}_1(^4\text{F})$ . Коротковолновый край кривой пропускания пленки номинального состава  $\text{Gd}_3(\text{Ga}, \text{Co})_5\text{O}_{12}$  (кривая 1) и пленки номинального состава  $\text{Gd}_3(\text{Ga}, \text{Ge}, \text{Co})_5\text{O}_{12}$  (кривая 2) по сравнению с подложкой (кривая 4) и пленкой номинального состава  $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$  (кривая 3) смещен в длинноволновую область.

Таким образом, в настоящей работе показано, что эпитаксиальные Co-содержащие монокристаллические пленки гадолиний-галлиевого граната обладают оптическим поглощением, необходимым для разработки на их основе насыщающихся фильтров ИК диапазона.

Авторы искренне благодарят А.В. Васильева, М.И. Беловолова, В.А. Михайлова за помощь в проведении настоящей работы и обсуждении ее результатов.

## Список литературы

- [1] Галаган Б.И., Годовикова Е.А., Денкер Б.И., Мейльман М.Л., Осико В.В., Сверчков С.Е. // Квантовая электроника. 1999. Т. 26. № 3. С. 189–190.
- [2] Рандошкин В.В., Червоненкис А.Я. Прикладная магнитооптика. М.: Энергоатомиздат, 1990. 320 с.
- [3] Рандошкин В.В., Васильева Н.В., Савелецкий А.М., Сысоева Н.Н. // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. В. 17. С. 18–22.
- [4] Рандошкин В.В., Беловолов А.М., Беловолов М.И., Васильева Н.В., Дианов Е.М., Сташун К.В., Тимошечкин М.И. // Квантовая электроника. 1998. Т. 25. В. 3. С. 233–235.