

Люминесценция Nd-содержащих эпитаксиальных монокристаллических пленок гранатов, выращенных на подложках $Gd_3Ga_5O_{12}$

В.В.Рандошкин*, М.И.Беловолов**, Н.В.Васильева*, К.А.Зыков-Мызин**, А.М.Салецкий***, Н.Н.Сысоев***, А.Н.Чуркин***

На подложках $Gd_3Ga_5O_{12}$ с ориентацией (111) методом жидкофазной эпитаксии из переохлажденного раствора-расплава на основе $PbO-B_2O_3$ выращена серия эпитаксиальных пленок, в которых атомная концентрация неодима варьируется в диапазоне 1–15%. Измерены спектры поглощения и люминесценции при полупроводниковой диодной накачке, а также время жизни активных ионов. Определена концентрационная зависимость характерного времени люминесценции ионов Nd^{3+} .

Ключевые слова: люминесценция, эпитаксиальные пленки.

При создании микролазеров и волноводных лазеров на основе эпитаксиальных монокристаллических пленок гранатов обычно используют подложки $Y_3Al_5O_{12}$ (ИАГ) [1, 2]. Недостатком этого монокристалла является высокая изоморфная емкость, обусловленная малым параметром кристаллической решетки (1.2005 нм). Ионы Al^{3+} являются наименьшими по размерам среди ионов, входящих в тетра- и октаэдрические подрешетки в структуре граната, а среди ионов, входящих в додекаэдрическую подрешетку, меньшими размерами по сравнению с ионами Y^{3+} обладают только ионы Lu^{3+} , Yb^{3+} , Tm^{3+} и Er^{3+} [3]. Это ограничивает максимальную концентрацию крупных ионов (например, Nd^{3+}), которые можно ввести в эпитаксиальную пленку на подложке ИАГ, поскольку необходимым условием получения этой пленки является согласование параметров решеток пленки и подложки с точностью ~0.01%.

Целью настоящей работы являлось исследование спектрально-люминесцентных и кинетических свойств Nd-содержащих эпитаксиальных монокристаллических пленок гранатов, выращенных на подложках $Gd_3Ga_5O_{12}$ (ГГГ) с ориентацией (111).

Серия эпитаксиальных монокристаллических пленок гранатов, в которых атомная концентрация неодима C_{Nd} варьировалась в диапазоне 1–15%, была выращена, как и в работе [4], методом жидкофазной эпитаксии из переохлажденного раствора-расплава на основе $PbO-B_2O_3$. При $C_{Nd} \geq 0.9\%$ для согласования параметров решеток пленки и подложки в состав пленок вводили иттрий. Состав шихты характеризовался следующими мольными отношениями ($\sum [Ln_2O_3] = [Gd_2O_3] + [Nd_2O_3] + [Y_2O_3]$):

$$R_1 = \frac{[Ga_2O_3]}{\sum [Ln_2O_3]} \approx 14.4,$$

$$R_2 = \frac{[PbO]}{[B_2O_3]} \approx 16.0,$$

$$R_3 = \frac{\sum [Ln_2O_3] + [Ga_2O_3]}{\sum [Ln_2O_3] + [Ga_2O_3] + [PbO] + [B_2O_3]} \approx 0.08,$$

где квадратные скобки означают содержание оксида в шихте в мольных процентах.

Для получения монокристаллической пленки граната заданного состава соотношение концентраций редкоземельных окислов в шихте определялось с учетом известных коэффициентов распределения редкоземельных элементов [5, 6]. Температура насыщения раствора-расплава находилась по температурной зависимости скорости травления подложки [7]. Пленки выращивали при переохлаждении, обеспечивающем отсутствие дополнительного поглощения, которое связано с межвалентными парными переходами примесных ионов Pb^{2+} и Pb^{4+} [8].

Взвешивая подложку до эпитаксиального роста и пленку с подложкой после него, мы определяли суммарную толщину пленок на обеих сторонах подложки $2h$ и скорость роста пленки f_g (см. табл.1). При этом пренебрегалось различие количественных составов пленки и подложки. Время роста пленок t_g варьировалось от 30 до 180 мин.

Табл.1. Параметры эпитаксиальных монокристаллических пленок $(Gd, Nd)_3Ga_5O_{12}$ и $(Gd, Y, Nd)_3Ga_5O_{12}$ с разной концентрацией неодима. Коэффициент поглощения α соответствует поглощению на двух пленках с суммарной толщиной $2h$ на длине волны 808 нм.

Номер образца	C_{Nd} (%)	t_g (мин)	f_g (мкм/мин)	$2h$ (мкм)	α (дБ)
1 (кристалл)	1.0	–	–	2000	12
2	0.3	120	0.4	105	~0.1
3	0.9	30	1.3	77	0.3
4	1.7	120	0.4	96	0.9
5	2.3	100	0.4	74	1.0
6	3.3	30	0.9	54	0.95
7	5.0	120	0.3	68	2.0
8	10	180	0.2	69	3.6
9	15	120	0.2	54	7.8

*Институт общей физики РАН, Россия, 119991 Москва, ул. Вавилова, 38

**Научный центр волоконной оптики при Институте общей физики РАН, Россия, 119991 Москва, ул. Вавилова, 38

***Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, физический факультет, Россия, 119899 Москва, Воробьевы горы

Поступила в редакцию 23 апреля 2001 г.

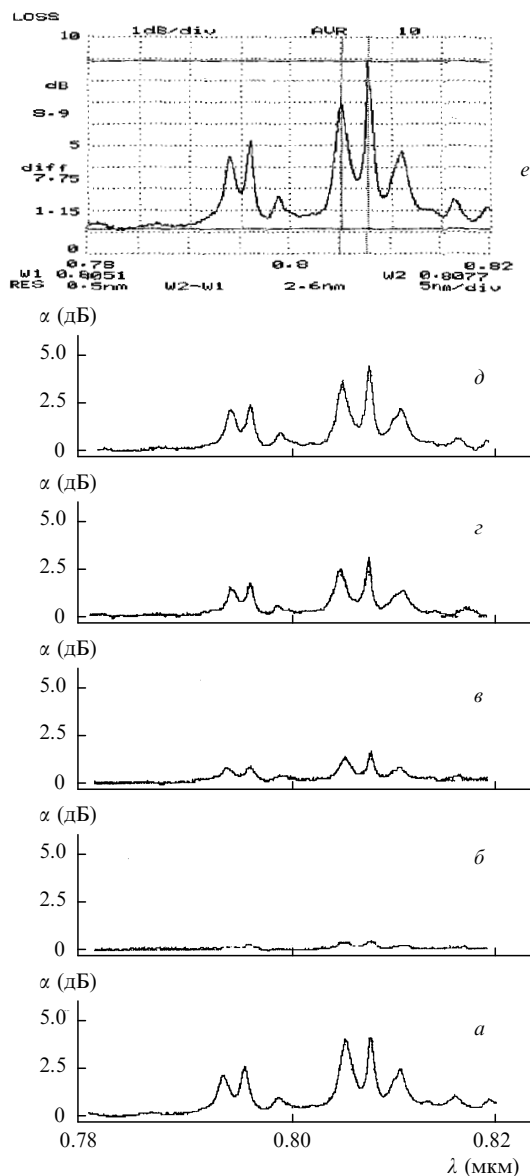


Рис.1. Спектры поглощения для монокристаллической пластины ГГГ:Nd³⁺ ($C_{Nd} = 1\%$) (а) и эпитаксиальных монокристаллических пленок с $C_{Nd} = 0.9$ (б), 1.7 (в), 5.0 (г), 10.0 (д) и 15.0 % (е).

При регистрации спектров люминесценции излучение полупроводникового диодного лазера с длиной волны 0.808 мкм, возбуждающее люминесценцию, направлялось в торец пленки. Для сравнения исследовалась также монокристаллическая пластина ГГГ:Nd³⁺ ($C_{Nd} = 1\%$) толщиной 1 мм.

На рис.1 приведены спектры поглощения эпитаксиальных пленок с разной концентрацией неодима. Видно, что, хотя с ростом концентрации ионов Nd³⁺ поглощение возрастает (рис.1, б–е), форма спектра практически не меняется и совпадает с формой спектра поглощения монокристаллической пластины ГГГ:Nd³⁺ (рис.1, а). Для накачки оптимальными являются длины волн 0.805 и 0.808 мкм. Заметим, что в полученных пленках с $C_{Nd} = 1.7–2.3\%$ за двойной проход на указанных длинах волн поглощается около 1/3 мощности накачки, что позволяет использовать эти пленки в лазерах с поперечной накачкой. При меньшей концентрации Nd-пленки необходимо увеличивать толщину пленок либо использовать их в волоконных лазерах.

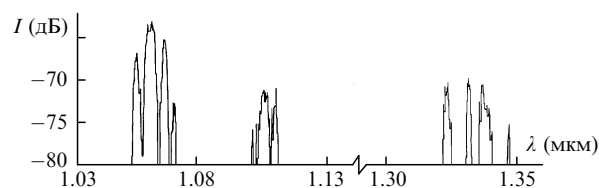


Рис.2. Спектр люминесценции эпитаксиальной монокристаллической пленки с концентрацией неодима 5.0 %.

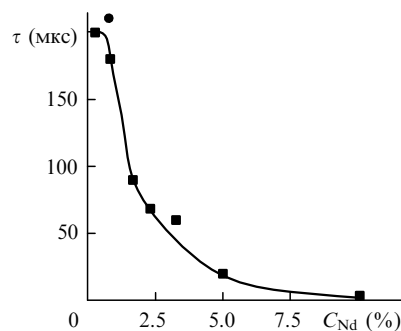


Рис.3. Зависимость времени спада люминесценции τ от концентрации C_{Nd} ионов Nd³⁺ в эпитаксиальных монокристаллических пленках (■) и массивном образце (●).

На рис.2 приведен типичный спектр люминесценции для Nd-содержащих эпитаксиальных пленок. Пики люминесценции эпитаксиальных монокристаллических пленок при всех исследованных концентрациях ионов Nd³⁺ расположены на тех же длинах волн, что и для монокристаллической пластины. Полосы поглощения вблизи $\lambda = 1.061$ и 1.33 мкм имеют четыре характерных пика, а полоса поглощения вблизи $\lambda = 1.105$ мкм – три. Максимум люминесценции имеет место на $\lambda = 1.061$ мкм.

На рис.3 показана концентрационная зависимость времени спада люминесценции τ . Видно, что τ уменьшается с ростом концентрации ионов Nd³⁺. Для получения лазерной генерации перспективны пленки с C_{Nd} вплоть до 3.3 %, для которых время жизни люминесценции составляет 60 мкс. При $C_{Nd} > 10\%$ время τ становится меньше 10 мкс.

Таким образом, в настоящей работе показано, что Nd-содержащие монокристаллические пленки, выращенные методом жидкофазной эпитаксии на подложках ГГГ, являются перспективными материалами для микролазеров и волоконных лазеров.

Работа частично поддержана РФФИ (грант № 99-02-18427).

1. Дмитрук М.В., Тимошечкин М.И., Кирпиченкова Е.О. *Изв.АН СССР.Сер.Неорганич.матер.*, **15**, 1978 (1979).
2. Ferrand V., Chambaz V., Couchaud M. *Opt.Mater.*, **11**, 101 (1999).
3. Рандошкин В.В., Старостин Ю.В. В кн. *Элементы и устройства на цилиндрических магнитных доменах. Справочник*. Под ред. Н.Н.Евтихиева, Б.Н.Наумова (М., Радио и связь, 1987, с.80).
4. Рандошкин В.В., Беловолов А.М., Беловолов М.И., Васильева Н.В., Дианов Е.М., Сташун К.В., Тимошечкин М.И. *Квантовая электроника*, **25**, 233 (1998).
5. Рандошкин В.В., Червонекис А.Я. *Прикладная магнитооптика* (М., Энергоатомиздат, 1990, с.92).
6. Рандошкин В.В., Чани В.И., Цветкова А.А. *Письма в ЖТФ*, **13**, 839 (1987).
7. Рандошкин В.В., Чани В.И. *Изв.АН СССР.Сер.Неорганич.матер.*, **25**, 691 (1989).
8. Рандошкин В.В., Васильева Н.В., Васильев А.В., Лаврищев С.В., Плотниченко В.Г., Салецкий А.М., Сташун К.В., Сысоев Н.Н., Чуркин А.Н. *ФТТ* (в печати).