

05;07

## **Тб-содержащие монокристаллы гранатов как материал для рентгенографических экранов**

© *В.В. Рандошкин, Н.В. Васильева, В.Н. Колобанов,  
В.В. Михайлин, Н.Н. Петровнин, Д.А. Спасский,  
Н.Н. Сысоев, М.И. Тимошечкин*

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва  
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва  
Научно-исследовательский институт ядерной физики  
им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва  
E-mail: randoshkin\_v@mail.ru

*Поступило в Редакцию 19 марта 2006 г.*

Измерены спектры люминесценции активированных ионами  $Tb^{3+}$  объемных монокристаллов  $Y_3Al_5O_{12}$ , выращенных по методу Чохральского, и монокристаллических пленок  $(Tb,La,Gd)_3Ga_5O_{12}$ , выращенных методом жидкофазной эпитаксии из переохлажденного раствора-расплава на основе  $PbO-V_2O_5$  на подложках  $Gd_3Ga_5O_{12}$ . На образцы воздействовали синхротронным излучением в области фундаментального поглощения. Приведены результаты исследований при температурах 10 и 300 К.

PACS: 78.20.-e, 78.66.-w

Оксисульфид гадолиния, легированный тербием ( $Cd_2O_2S:Tb^{3+}$ ), вот уже около тридцати лет остается одним из эффективных порошкообразных люминофоров [1–4]. Его конверсионная эффективность для рентгеновского излучения, т.е. коэффициент преобразования энергии падающих фотонов в энергию видимого излучения, составляет око-

ло 22% [3]. Эффективность преобразования ионизирующего и других видов излучения в видимый свет обеспечивается сочетанием редкоземельной матрицы  $Gd_2O_3$ , обладающей высокой поглощательной способностью в широком интервале энергий, и активатора  $Tb^{3+}$ , характеризующегося высоким сечением захвата. Путем снижения потерь, обусловленных собственными и примесными дефектами, стремятся улучшить конверсионную эффективность [1].

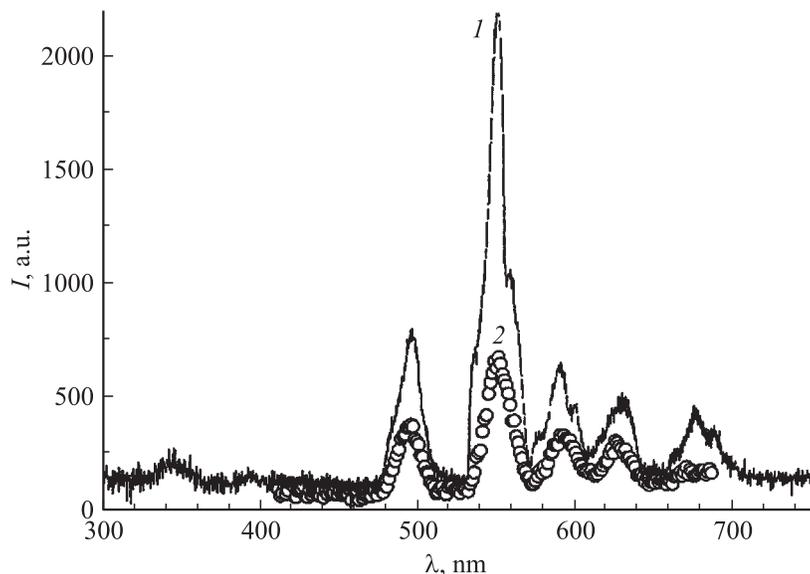
Энергия, поглощенная при переходе  $^8S_0 \rightarrow ^6P_1$  на уровни иона  $Gd^{3+}$ , безызлучательно переносится на верхние уровни иона  $Tb^{3+}$  с последующим излучением при переходе  $^5D_4 \rightarrow ^7F_5$  [1,5].

Основными преимуществами керамических люминофоров по сравнению с порошкообразными являются в 1.5–2 раза более высокая плотность, достигающая 99.9% от рентгеноструктурной, что повышает прозрачность экрана к собственному излучению, а также высокие механическая прочность и радиационная стойкость [1]. Дальнейший прогресс на пути снижения плотности собственных и примесных дефектов состоит в переходе от керамик к монокристаллам.

Целью настоящей работы является исследование люминесценции объемных и пленочных монокристаллов гранатов, активированных ионами  $Tb^{3+}$ .

Монокристаллы  $Y_3Al_5O_{12}:Tb^{3+}$  выращивали по методу Чохральского, как описано в работе [5]. Монокристаллические пленки  $(Tb,La,Gd)_3Ga_5O_{12}$  выращивали методом жидкофазной эпитаксии из переохлажденного раствора-расплава на основе системы  $PbO-B_2O_3$  на подложках  $Gd_3Ga_5O_{12}$  с ориентацией (111) [6]. В работе приводятся данные для пластины  $Y_3Al_5O_{12}$  толщиной  $h = 2.5$  mm, содержащей 0.7 at.% ионов  $Tb^{3+}$ . Суммарная толщина эпитаксиальных пленок  $(Tb,La,Gd)_3Ga_5O_{12}$ , нанесенных на обе стороны подложки  $Gd_3Ga_5O_{12}$  толщиной 0.5 mm, составляла  $h = 11$   $\mu$ m. Пленка содержала 3.3 at.% ионов  $Tb^{3+}$ .

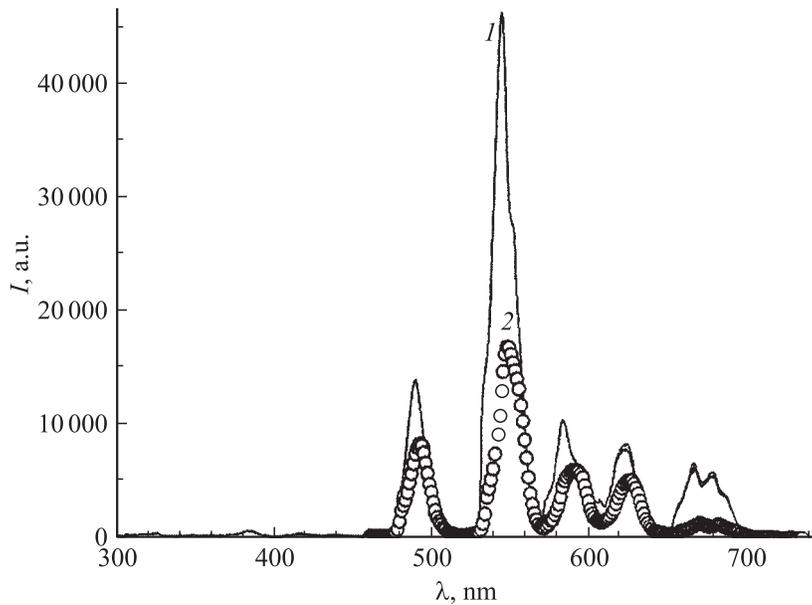
Люминесценцию возбуждали синхротронным излучением (СИ) [7] в области фундаментального поглощения исследуемых монокристаллов. Исследования проводили на установке Superlumi (DESY, Гамбург, Германия), расположенной в канале СИ позитронного накопителя DORIS III [8]. При обработке спектров люминесценции учитывали аппаратную функцию, разную интенсивность возбуждения СИ на длинах волн  $\lambda = 80$  и 85 nm, разное время накопления и разный ток накопителя при измерениях.



**Рис. 1.** Спектры люминесценции монокристалла  $Y_3Al_5O_{12}:Tb^{3+}$ , возбуждаемые фотонами с энергией  $E = 15.5$  eV ( $\lambda = 80$  nm) при температуре  $T = 10$  K (1) и  $E = 14.6$  eV ( $\lambda = 85$  nm) при температуре  $T = 300$  K (2).

На рис. 1 приведены спектры люминесценции объемного монокристалла  $Y_3Al_5O_{12}:Tb^{3+}$  при низкой (кривая 1) и комнатной (кривая 2) температурах. Видно, что при возбуждении в области фундаментального поглощения ( $\sim 15$  eV) спектры люминесценции при низкой и комнатной температурах принципиально не отличаются друг от друга. Они состоят из нескольких основных полос с максимумами на длинах волн  $\lambda = 495, 550, 590, 630, 676, 689$  nm и соответствуют следующим межконфигурационным переходам в ионе  $Tb^{3+}$ :  $^5D_4 \rightarrow ^7F_6$ ,  $^5D_4 \rightarrow ^7F_5$ ,  $^5D_4 \rightarrow ^7F_4$ ,  $^5D_4 \rightarrow ^4F_3$ ,  $^5D_4 \rightarrow ^4F_2$ ,  $^5D_4 \rightarrow ^4F_1$ . При повышении температуры положение полос практически не меняется. Из рис. 1 видно, что амплитуда основной полосы люминесценции на  $\lambda = 550$  nm при  $T = 300$  K примерно в 3.3 раза ниже, чем при  $T = 10$  K.

На рис. 2 показан спектр люминесценции монокристаллической пленки  $(Tb,La,Gd)_3Ga_5O_{12}$  при возбуждении излучением с энергией  $E = 15.5$  eV при низкой (кривая 1) и комнатной (кривая 2) тем-



**Рис. 2.** Спектр люминесценции эпитаксиальной пленки  $(\text{Tb,La,Gd})_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ , возбуждаемой фотонами с энергией  $E = 15.5 \text{ eV}$  ( $\lambda = 80 \text{ nm}$ ) при температуре  $T = 10 \text{ K}$  (1) и  $E = 14.6 \text{ eV}$  ( $\lambda = 85 \text{ nm}$ ) при температуре  $T = 300 \text{ K}$  (2).

пературах. Видно, что этот спектр подобен спектру люминесценции объемного монокристалла  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12} : \text{Tb}^{3+}$  (рис. 1), причем положение максимума полос на длинах волн  $\lambda = 490, 545, 585, 625, 667$  и  $689 \text{ nm}$ , соответствующих следующим переходам  $\text{Tb}^{3+} : ^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_6, ^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_5, ^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_4, ^5\text{D}_4 \rightarrow ^4\text{F}_3, ^5\text{D}_4 \rightarrow ^4\text{F}_2, ^5\text{D}_4 \rightarrow ^4\text{F}_1$ , близко к положению соответствующих максимумов для монокристалла  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12} : \text{Tb}^{3+}$ . Максимум основной полосы люминесценции в эпитаксиальной пленке приходится на длину волны  $\lambda = 545 \text{ nm}$ , т.е. сдвинут примерно на  $5 \text{ nm}$  в коротковолновую область по сравнению с монокристаллом  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12} : \text{Tb}^{3+}$ .

Из рис. 2 видно, что амплитуда основной полосы люминесценции при  $T = 300 \text{ K}$  примерно в 2.7 раза ниже, чем при  $T = 10 \text{ K}$ , а структура полос практически не меняется.

В целом можно сказать, что ион  $Tb^{3+}$  в матрице гранатов  $Gd_3Ga_5O_{12}$  и  $Y_3Al_5O_{12}$  сохраняет свою эффективность люминесценции и ее спектральное распределение в широком диапазоне температур (10–300 К). Это обеспечивает стабильность люминесцентных характеристик радиографических экранов, изготовленных из этих материалов.

## Список литературы

- [1] Горохова Е.И., Демиденко В.А., Михрин С.Б., Родный П.А., Христич О.А. // Оптический журнал. 2003. Т. 70. № 10. С. 10.
- [2] Nakamura R., Yamada N., J. // Ceramics Society of Japan. Int. Edition. 1997. V. 105. N 10. P. 847.
- [3] Faucher Micele D., Morlotti Romano, Moune O.K. // J. Luminescence. 2002. V. 96. P. 37–49.
- [4] Morlotti Romano, Nike M., Piazza M., Boragno C. // J. Luminescence. 1997. V. 72–74. P. 772.
- [5] Батыгов С.Х., Воронько Ю.К., Денкер Б.И., Майер А.А., Осико В.В., Радюхин В.С., Тимошечкин М.И. // ФТТ. 1972. Т. 14. № 4. С. 977.
- [6] Васильева Н.В., Рандошкин В.В., Колобанов В.Н., Михайлин В.В., Петровнин Н.Н., Сысоев Н.Н., Крюкова Е.Б., Плотниченко В.Г., Пырков Ю.Н., Спасский Д.А. // 6-я Междунар. конф. „Рост монокристаллов и теплоперенос“. Сб. тр. Обнинск, Россия, 25–30 сентября 2005 г. Т. 1. С. 95.
- [7] Рандошкин В.В., Васильева Н.В., Колобанов В.Н., Михайлин В.В., Петровнин Н.Н., Спасский Д.А., Сысоев Н.Н. // Письма в ЖТФ. 2006. Т. 32. В. 5. С. 19.
- [8] Gurtler P., Roik E., Zimmerer G., Pouey M. // NIM. 1983. V. 208. P. 835.