

07

Люминесценция Gd-содержащих монокристаллов гранатов при возбуждении синхротронным излучением

© В.В. Рандошкин, Н.В. Васильева, В.Н. Колобанов,
В.В. Михайлин, Н.Н. Петровнин, Д.А. Спасский, Н.Н. Сысоев

Институт общей физики им. А.Н. Прохорова РАН, Москва
Физический факультет Московского государственного университета
им. М.В. Ломоносова
НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына Московского
государственного университета им. М.В. Ломоносова
E-mail: randoshkin_v_v@hotmail.ru

Поступило в Редакцию 20 июля 2005 г.

При возбуждении „белым“ пучком синхротронного излучения исследована люминесценция монокристаллов $Gd_3Ga_5O_{12}$ (ГГГ), $Gd_3(Sc,Ga)_5O_{12}:Cr$ (ГСГГ) и $(Gd,Ca)_3(Mg,Zr,Ga)_5O_{12}$ (ГКМЦГГ), выращенных по методу Чохральского. Обсуждается различие спектров люминесценции этих монокристаллов.

PACS: 78.60.-b, 07.85.Qe

Создание и поиск новых эффективных широкозонных сцинтилляторов для использования в физике высоких энергий требует глубокого изучения их физических свойств. Для понимания механизмов возбуждения сцинтилляций высокоэнергетическими квантами необходимо тщательное исследование оптических и люминесцентных свойств монокристаллов в области фундаментального поглощения. Наиболее удобным источником излучения для исследований в столь широкой области спектра является синхротронное излучение (СИ) [1]. Исследование объемных монокристаллов $Y_3Al_5O_{12}$ (ИАГ) показало, что основной вклад в спектры люминесценции вносит наличие так называемых антиузельных дефектов, обусловленных вхождением ионов Y^{3+} в октаэдрическую подрешетку структуры граната [2].

Целью настоящей работы являлось сравнение возбужденной СИ-люминесценции Gd-содержащих монокристаллов гранатов

$Gd_3Ga_5O_{12}$ (ГГГ), $Gd_3(Sc,Ga)_5O_{12}:Cr$ (ГСГГ) и $(Gd,Ca)_3(Mg,Zr,Ga)_5O_{12}$ (ГКМЦГГ), выращенных по методу Чохральского. Поверхность монокристаллов подвергали стандартной обработке, необходимой для получения на них бездефектных эпитаксиальных пленок [3].

Спектры люминесценции при возбуждении СИ измерены на установке в канале синхротронного излучения накопителя „Сибирь-2“ (энергия электронов 2.5 GeV) Курчатовского центра синхротронного излучения (Москва). Возбуждение кристаллов осуществляется „белым“ пучком СИ, прошедшим через бериллиевую фольгу. Такое излучение проникает в гранат на глубину до 20 μm . Образец расположен на держателе азотного криостата. Сверху образца расположена горизонтальная диафрагма, которая одновременно является входной щелью вакуумного монохроматора с вертикальной дисперсией, собранного по схеме Сейи–Намиоки. Монохроматор со сферической дифракционной решеткой (радиус кривизны 0.5 m, 600 штрихов на миллиметр) с алюминиевым покрытием имеет рабочую область от 120 до 700 nm. При всех измерениях спектров люминесценции нормировка на аппаратную функцию не производилась.

Под действием возбуждающего СИ монокристаллы темнели, что, по-видимому, связано с процессом образования дефектов. Со временем (через сутки) наблюдалось частичное исчезновение окраски в исследованных образцах.

На рис. 1 показаны спектры люминесценции пластинок ГГГ с ориентацией (111) и (110), которые содержат ряд узких полос. Наиболее интенсивной является полоса с максимумом на длине волны $\lambda \approx 380$ nm. Полосы с максимумами на длинах волн $\lambda \approx 280$ и 313 nm совпадают с излучательными переходами ${}^6I_{7/2} \rightarrow {}^8S_{7/2}$ и ${}^6P_{7/2} \rightarrow {}^8S_{7/2}$ ионов Gd^{3+} [4]. Следует отметить, что эти полосы люминесценции с малой интенсивностью наблюдаются также в монокристаллических пленках ГГГ, выращенных методом жидкофазной эпитаксии из растворов-расплавов на основе $PbO-B_2O_3$ и $Vi_2O_3-B_2O_3$.

Полосы люминесценции с максимумами на длинах волн $\lambda \approx 380$, 420 и 440 nm могут быть связаны с неконтролируемыми примесями или структурными дефектами кристаллической решетки. Основное отличие спектров люминесценции на рис. 1 состоит в том, что при ориентации (110) по сравнению с ориентацией (111) интенсивность люминесценции в области спектра 240–360 nm уменьшается на порядок величины, а в области спектра 580–660 nm возрастает на порядок. Нельзя исключить,

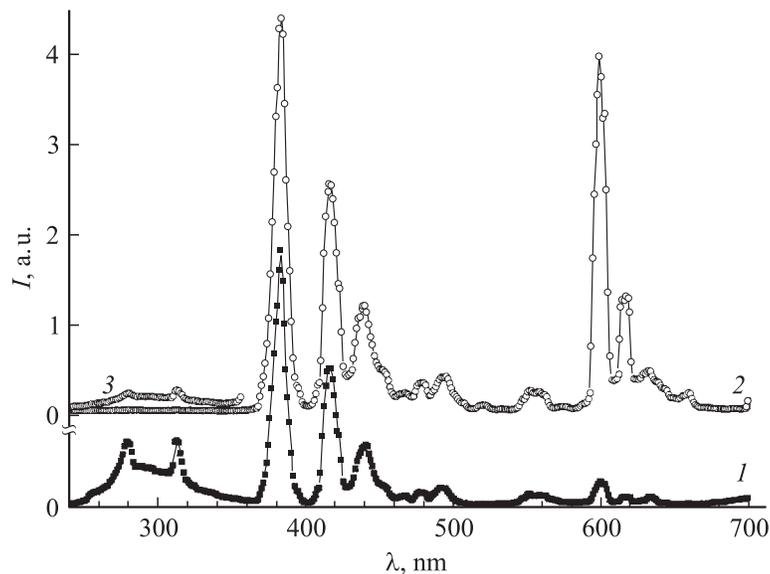


Рис. 1. Спектр люминесценции пластин ГГГ с разной ориентацией: 1 — (111), 2, 3 — (110). Масштаб для кривой 3 увеличен в 30 раз.

что различие обсуждаемых спектров может быть связано не с ориентацией пластин, а с другими причинами, например с различием условий роста монокристаллов ГГГ [5].

На рис. 2 показан спектр люминесценции пластины ГСГГ с ориентацией (111). По сравнению с ГГГ произошло заметное изменение спектра. Максимум на длине волн $\lambda \approx 280$ nm для ионов Gd^{3+} , так же как и максимумы вблизи $\lambda \approx 600$ nm, не наблюдается. Появились две новых полосы свечения с максимумами на длинах волн $\lambda \approx 330$ и 360 nm. Интенсивную люминесценцию области $\lambda \geq 660$ nm можно связать с ионами Cr^{3+} . Заметим, что в отличие от ГГГ и ГСГГ полоса люминесценции с центром на длине волны $\lambda \approx 420$ nm более интенсивная, чем полоса люминесценции с центром на длине волны $\lambda \approx 380$ nm.

По сравнению с ГГГ (рис. 1) в спектре люминесценции ГКМЦГГ (рис. 3) не появилось новых узких полос свечения, однако эти

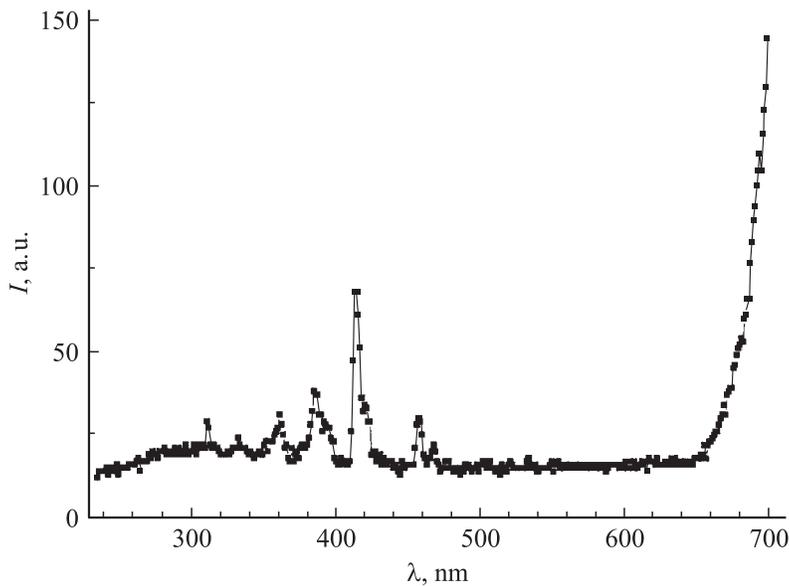


Рис. 2. Спектр люминесценции пластины ГСГГ с ориентацией (111).

полосы люминесценции наблюдаются на фоне широкого максимума, занимающего область спектра $260 \text{ nm} \leq \lambda \leq 550 \text{ nm}$. Основным отличием ГКМЦГГ от ГГГ и ГСГГ является наличие нетрехвалентных ионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Zr^{4+}) в кристаллической решетке граната. Это, по-видимому, приводит к разупорядочению структуры и появлению кислородных вакансий, что и вызывает появление широкого максимума в спектре люминесценции.

Одинаковое соотношение интенсивностей полос люминесценции с максимумами на длинах волн $\lambda \approx 380$ и 420 nm в ГГГ и ГКМЦГГ позволяет заключить, что они связаны с одной и той же примесью. Не исключено, что этой примесью являются ионы Ca^{2+} (при выращивании ГГГ СаО добавляют в шихту для обеспечения зарядовой компенсации примесных ионов Si^{4+}). Полосы люминесценции на длинах волн $\lambda \approx 380, 420$ и 440 nm можно также связать с переходами ${}^5\text{D}_3 \rightarrow {}^7\text{F}_6$, ${}^5\text{D}_3 \rightarrow {}^7\text{F}_5$ и ${}^5\text{D}_3 \rightarrow {}^7\text{F}_4$ примесных ионов Tb^{3+} , которые попадают в монокристалл из шихты.

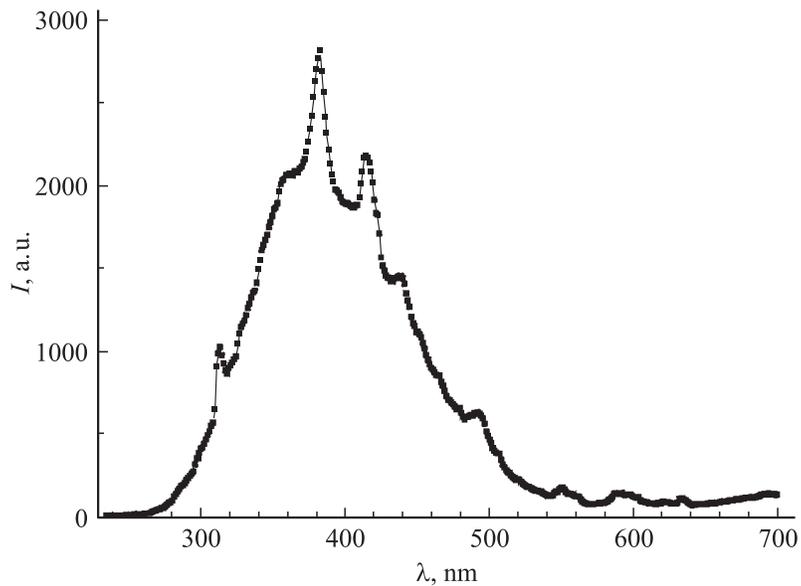


Рис. 3. Спектр люминесценции пластин ГКМЦГГ с ориентацией (110).

Таким образом, в настоящей работе показано, что наличие нетрехвалентных ионов в Gd-содержащем монокристалле граната, т.е. менее совершенная структура монокристалла, приводит к появлению широкого максимума в ультрафиолетовой и видимой части спектра люминесценции при возбуждении синхротронным излучением.

Список литературы

- [1] Тернов И.М., Михайлин В.В., Халилов В.Р. Синхротронное излучение и его применение. М.: Изд. МГУ, 1980. 278 с.
- [2] Зоренко Ю.В. // Оптика и спектроскопия. 1998. Т. 84. В. 6. С. 856–860.
- [3] Эшенфельдер А. Физика и техника цилиндрических магнитных доменов / Пер. с англ. М.: Мир, 1983. 496 с.
- [4] Рандошкин В.В., Васильева Н.В., Плотниченко В.Г. и др. // ФТТ. 2004. Т. 46. В. 6. С. 1001–1007.
- [5] Стрелов В.И. Дис. ... докт. физ.-мат. наук М.: ИК РАН, 2004. 313 с.