

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ $Gd_3Al_2Ga_3O_{12}:Ce$

© 2016 г. В.М. КАСИМОВА¹, О.А. БУЗАНОВ², Н.С. КОЗЛОВА¹,
А.П. КОЗЛОВА¹, Д.А. СПАССКИЙ³

¹Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва,

²ОАО «Фомос-Материалс», г. Москва,

³НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына,

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

e-mail: kasimovavalya@mail.ru

Введение

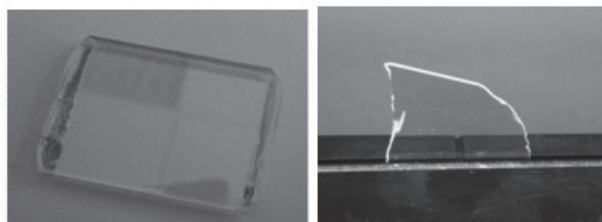
Монокристаллический гадолиний - алюминий - галлиевый гранат, легированный церием ($Gd_3Al_2Ga_3O_{12}:Ce^{3+}$, GGAG:Ce), - кристалл кубической сингонии типа гранатов, был впервые синтезирован в Японии в 2011 году [1]. В настоящее время в России кристаллы выращиваются методом Чохральского в компании ОАО "Фомос - Материалс" в иридиевом тигле и атмосфере смеси аргона и (1-2)% кислорода.

$Gd_3Al_2Ga_3O_{12}:Ce^{3+}$ является перспективным сцинтилляционным материалом, характеристики которого, такие как световыход, время высвечивания и энергетическое разрешение, позволяют рассматривать данный кристалл для применения в медицинской аппаратуре (в качестве элемента датчика позитронно-эмиссионного томографа (ПЭТ)), в атомной физике и других областях. [2]

Исследование свойств монокристаллов $Gd_3Al_2Ga_3O_{12}:Ce^{3+}$ является актуальной задачей. Целью данной работы является измерение оптических и люминесцентных свойств GGAG:Ce.

Методика исследования

Оптические свойства GGAG:Ce (показатель преломления, показатель поглощения и коэффициент экстинкции) исследовались на спектрофотометре «Cary – 5000» с универсальной измерительной приставкой «UMA» фирмы «Agilent Technologies» в диапазоне длин волн (200 – 720) нм. Были использованы образцы в виде полированных пластин (толщиной $d \approx 0,5$ мм и $d \approx 3$ мм), вырезанных перпендикулярно оси роста кристаллов. Внешний вид образцов представлен на рис. 1 (а, б).



а) $d \approx 3$ мм

б) $d \approx 0,5$ мм

Рис. 1. Внешний вид исследуемых образцов $Gd_3Al_2Ga_3O_{12}:Ce$.

В первую очередь были получены спектры пропускания (Т) при нормальном падении неполяризованного света и отражения (R) при малом угле падения света. Эти данные использовались для вычисления показателя поглощения α по преобразованной формуле по закону Бугера-Ламберта [3]:

$$\alpha = -\frac{\ln\left(\frac{T}{(1-R)^2}\right)}{d} \quad (1)$$

где d – толщина образца.

Коэффициент экстинкции k рассчитывался по формуле [4]:

$$k = \frac{\alpha \cdot \lambda}{4\pi} \quad (2)$$

где α – показатель поглощения,
 λ – длина волны света.

Кристаллы GGAG:Ce характеризуются одним показателем преломления n . Определение показателя преломления осуществлялось двумя спектрофотометрическими методами, основанными на измерении коэффициентов отражения.

1. По углу Брюстера

Согласно закону Брюстера, если падающий свет поляризован в плоскости падения (p -поляризация), то при некотором угле падения (угол Брюстера, φ_{Br}) отражение исчезает [5, 6]. Тангенс угла Брюстера связан с показателем преломления следующим соотношением [5, 6]:

$$\operatorname{tg} \varphi_{Br} = \frac{n}{n_0} \quad (3)$$

где n - показатель преломления материала,
 n_0 – показатель преломления среды ($n_0=1$ - показатель преломления воздуха).

2. По спектру отражения при угле падения света, близком к нормальному

При падении света под малым углом, близком к нормальному, коэффициент отражения света (R) связан с показателем преломления соотношением (4) [4, 6]:

$$R = \frac{(n-1)^2 + k^2}{(n+1)^2 + k^2} \quad (4)$$

Если коэффициент экстинкции мал, то показатель преломления определяется соотношением (5):

$$n = \frac{1 + \sqrt{R}}{1 - \sqrt{R}} \quad (5)$$

Был проведен люминесцентный анализ данных кристаллов. Измерения спектра возбуждения и спектров люминесценции проводили при температуре $T = 79$ К при энергиях возбуждения, соответствующих длинам волн $\lambda = 280$ и 350 нм. В качестве источника возбуждения люминесценции использовали дейтериевую лампу.

Результаты

Спектры показателя поглощения α и коэффициента экстинкции k , полученные при нормальном падении на пластине $d \approx 0,5$ мм, представлены на рис. 2.

Спектр коэффициента поглощения представляет собой немонотонную зависимость с ярко выраженными сильными полосами поглощения:

- широкая полоса в области $\lambda = 440$ нм;
- полоса с максимумом при $\lambda = 340$ нм;

- полоса с максимумом при $\lambda = 270$ нм;
- край собственного поглощения $\lambda \sim 230$ нм.

Данные результаты по показателю поглощения хорошо согласуются с результатами работы [1].

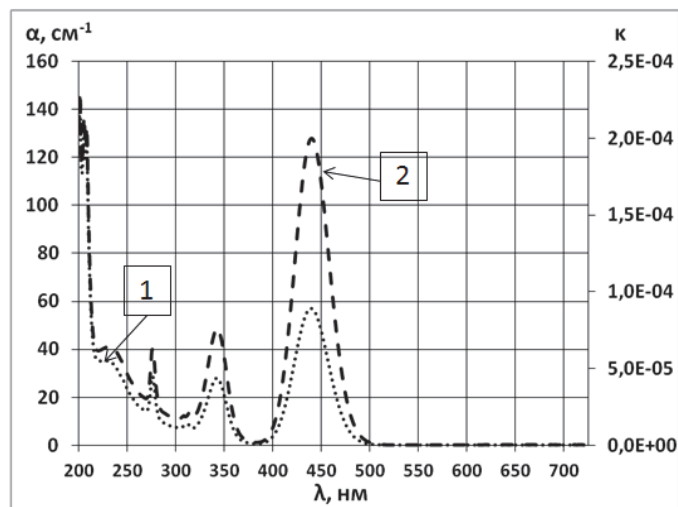


Рис. 2. Спектры показателя поглощения (1) и коэффициента экстинкции(2) $Gd_3Al_2Ga_3O_{12}:Ce^{3+}$.

Спектральная зависимость коэффициента экстинкции во всем исследованном диапазоне не превышает $2,5 \cdot 10^{-4}$. Величина коэффициента экстинкции очень мала и ею можно пренебречь при определении показателя преломления по формулам (4, 5).

По закону Брюстера были получены показатели преломления на 6 длинах волн. Эти величины были аппроксимированы с использованием уравнения Коши вида (6) [7], а также получены материальные константы этого уравнения:

$$n = A + \frac{B}{\lambda} + \frac{C}{\lambda^2} \quad (6)$$

где A, B, C – материальные константы ($A = 1,9$, $B = -5250$, $C = 2,15 \cdot 10^9$ [8]).

Дисперсионные зависимости $n(\lambda)$, полученные двумя спектрофотометрическими методами, хорошо согласуются между собой (рис. 3).

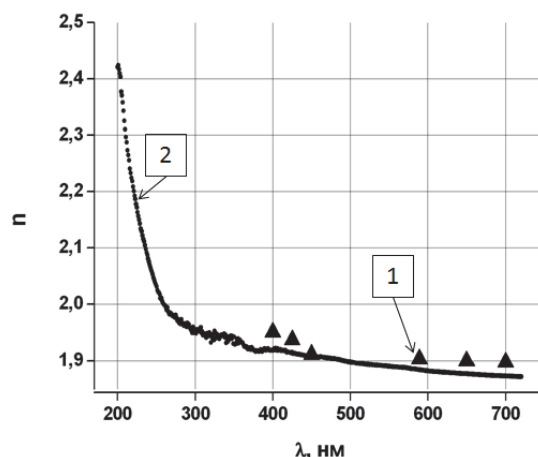


Рис. 3. Дисперсионная зависимость показателя преломления $Gd_3Al_2Ga_3O_{12}:Ce^{3+}$. 1 – метод Брюстера; 2 – метод отражения от одной грани при нормальном падении света.

Нормированные спектр возбуждения и спектры люминесценции, полученные при энергиях возбуждения, соответствующих длинам волн $\lambda = 280$ и 350 нм, представлены на рис. 4.

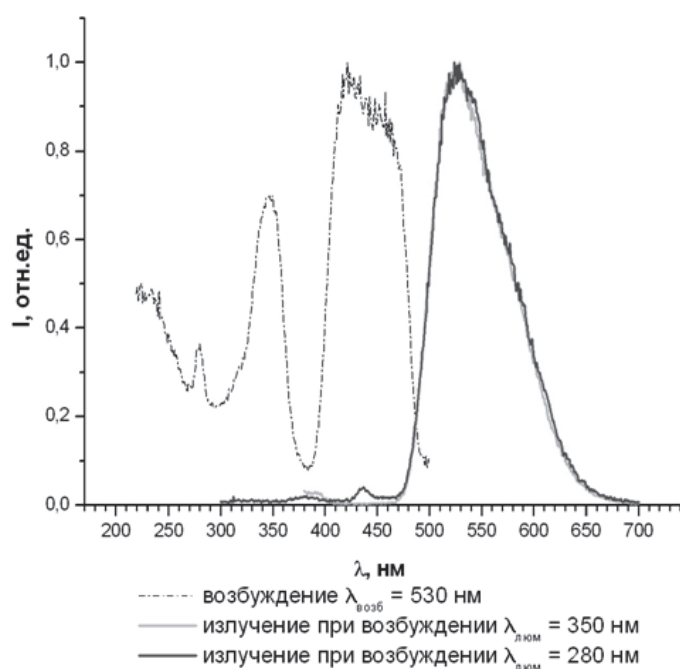


Рис. 4. Спектры возбуждения и люминесценции кристалла $Gd_3Al_2Ga_3O_{12}:Ce^{3+}$.

Максимум высвечивания соответствует длине волны $\lambda = 530$ нм, что хорошо совпадает с максимумом чувствительности фотоэлектронного умножителя, используемого в ПЭТ [8].

Заключение

В ходе работы получены спектры показателя поглощения и коэффициента экстинкции с ярко выраженными полосами поглощения $\lambda = 270, 340$ и 440 нм и краем поглощения $\lambda = 230$ нм. Получены дисперсионные зависимости показателя преломления $Gd_3Al_2Ga_3O_{12}:Ce^{3+}$ двумя спектрофотометрическими методами, полученные результаты хорошо согласуются между собой.

Получены спектр возбуждения и спектры люминесценции. Максимум максимум высвечивания, соответствующей длине волны $\lambda = 530$ нм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Effect of codoping on scintillation and optical properties of a Ce-doped $Gd_3Ga_3Al_2O_{12}$ scintillator / Tyagi M., Meng F., Koschan M., e.a. // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2013, v. 46, №. 47, p. 475302.
2. Касимова В.М., Бузанов О.А., Козлова Н.С., Козлова А.П. Сцинтилляционный материал $Gd_3Al_2Ga_3O_{12}:Ce$ // Материалы Международной научно-технической конференции «INTERMATIC–2015», 1–5 декабря 2015 г., Москва. – М.: МИРЭА, 2015, ч. 2, с. 79-82.
3. Шалимова К.В. Физика полупроводников: учебное пособие. – М.: Энергия. – 1971.
4. Вавилов В.С. Действие излучений на полупроводники. – М: Государственное издательство физико-математической литературы. – 1963. – С.264.
5. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. – М.: Наука. – 1970. – С. 855.
6. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Наука. – 1976. – С. 848.
7. Борисенко С.И. Показатель преломления света и методы его экспериментального определения. - Томск: Томск. политех. ун-т. - 2014. – С. 146.
8. Оптические свойства и показатели преломления кристаллов $Gd_3Al_2Ga_3O_{12}:Ce^{3+}$ // Н.С. Козлова, О.А. Бузанов, Е.В. Забелина и др. // КРИСТАЛЛОГРАФИЯ. – 2016, т. 61, № 5, с.1-5.