

УДК 539.26, 538.958, 621.373.8

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ И НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОЗРАЧНОЙ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ  $\text{Co}^{2+}:\text{MgAl}_2\text{O}_4$ Скопцов Н. А.<sup>1</sup>, Лойко П.А.<sup>1,2</sup>, Глазунов И. В.<sup>1</sup>, Маляревич А. М.<sup>1</sup>, Кулешов Н.В.<sup>1</sup>, Юмашев К. В.<sup>1</sup>, Adrian Goldstein<sup>3</sup>, Zeev Burshtein<sup>4</sup>, Ehud Galum<sup>3</sup><sup>1</sup> НИЦ «Оптических материалов и технологий» БНТУ, Минск, Республика Беларусь,<sup>2</sup> Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Российская Федерация<sup>3</sup> Israel Ceramic and Silicate Institute, Haifa, Israel<sup>4</sup> Materials engineering department, Ben-Gurion University of the Negev, Beer-Sheva, Israel

Модуляция добротности резонатора лазера – это распространенный метод получения сверхкоротких импульсов [1, 2]. При пассивной модуляции добротности используют компактный внутрирезонаторный элемент - пассивный затвор. Преимущество пассивной модуляции перед активной в отсутствии силовой и управляющей электроники, которая увеличивает размеры, вес и стоимость лазера.

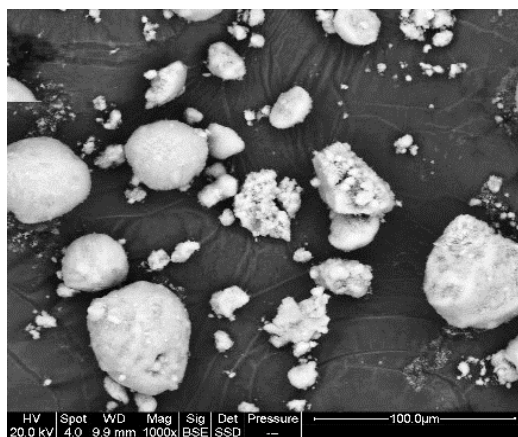
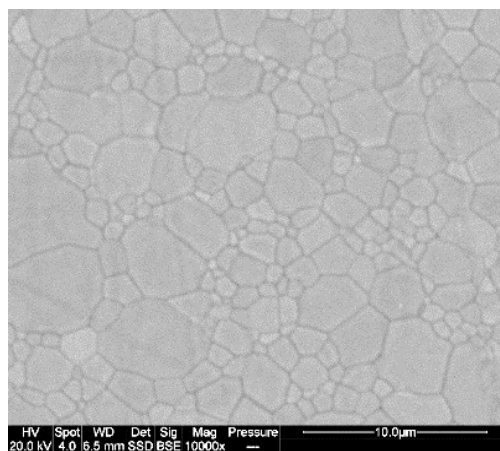
Сегодня широкое распространение получили пассивные затворы на основе монокристалла шпинели кобальта  $\text{Co}^{2+}:\text{MgAl}_2\text{O}_4$  для получения модуляции добротности эрбиевых лазеров в спектральном диапазоне 1,3–1,7 мкм. В настоящей работе мы представляем результаты исследования прозрачной поликристаллической керамики  $\text{Co}^{2+}:\text{MgAl}_2\text{O}_4$ . Ключевое отличие разработанной керамики – значительное снижение стоимости производства, по сравнению с выращиванием монокристаллов.

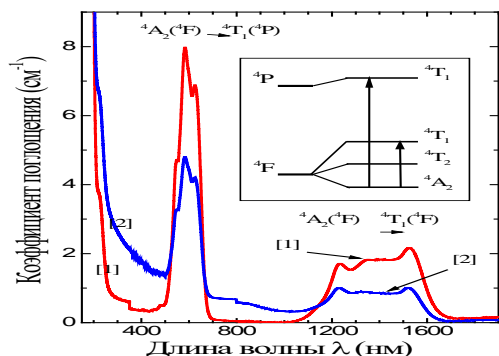
В качестве исходного сырья для получения керамики использовался порошок шпинели, содержащий кобальт. Порошок был синтезирован методом осаждения гидроксидов [3, 4]. Средний размер зерен полученного порошка составляет 0,15 мкм. Керамика была приготовлена из порошка методом спекания. Спекание производилось в несколько этапов с постепенным повышением давления и температуры. На конечной стадии спекание проходило под давлением аргона  $\text{Ar}$  200 МПа при температуре 1580°C в течение 4 часов. Содержание кобальта в полученных образцах  $\text{Co}^{2+}:\text{MgAl}_2\text{O}_4$  составляет 0,04 ат. % и 0,07 ат. %, что соответствует 0,020 вес. % и 0,035 вес. %. Концентрация ионов кобальта в образцах  $5,7 \cdot 10^{18}$  и  $1 \cdot 10^{19}$  см<sup>-3</sup>, соответственно. Из образцов были изготовлены круглые полированные пластинки толщиной 1,34 и 1,77 мм, соответственно. Плотность образцов 3,57 г/см<sup>3</sup>.

Для определения структуры кристаллической фазы, выполнен рентгенофазовый анализ (РФА). Измерение производилась с помощью дифрактометра APD-2000 ItalStructures. Размер гранул исходного кристаллического порошка (рисунок 1) и морфология поверхности керамики (рисунок 2) и были определены на сканирующем электронном микроскопе (SEM) Quanta 200.

Регистрация спектров поглощения осуществлялась с помощью спектрофотометра Cary Varian 5000. На рисунке 3 представлены спектры поглощения керамики шпинели,

содержащей ионы кобальта. Оба спектра идентичны и являются характерными спектрами ионов кобальта в тетраэдрической позиции. Широкая полоса поглощения в области 1,2–1,7 мкм соответствует переходу между основным  $^4\text{A}_2(^4\text{F}_{9/2})$  и возбужденным  $^4\text{T}_1(^4\text{F})$  состоянием иона кобальта. Данная полоса представляет интерес для получения модуляции добротности лазеров. Полоса в области 0,5–0,7 мкм соответствует переходу из основного состояния  $^4\text{A}_2(^4\text{F}_{9/2})$  в возбужденное состояние  $^4\text{T}_1(^4\text{P})$ .

Рисунок 1 – SEM изображение гранул кристаллического порошка  $\text{Co}^{2+}:\text{MgAl}_2\text{O}_4$ Рисунок 2 – SEM изображение полированной поверхности керамики  $\text{Co}^{2+}:\text{MgAl}_2\text{O}_4$


 Рисунок 3 – Спектр поглощения керамики  $\text{Co}^{2+}:\text{MgAl}_2\text{O}_4$ 

Исследована зависимость пропускания ситаллов от интенсивности падающего лазерного излучения (рисунок 4). Образцы облучались лазерными импульсами с энергией 1,3 мДж, длительностью 85 нс на длине волны 1540 нм. Диаметр сфокусированного пятна на образце составлял 70 мкм. Для обработки экспериментальных данных, которые показывают, что ситалл с нанокристаллами  $\text{Co}^{2+}:\text{Ga}_2\text{O}_3$ , хорошо просветляется, использовалась модель медленно релаксирующего насыщающегося поглотителя [5]:

$$\frac{dE_0}{dz} = -I_{sa} \cdot \frac{\ln(1/T_0)}{L} \cdot \left[ (1-\gamma) \cdot \left(1 - e^{-\frac{E_0}{I_{sa}}}\right) + \gamma \cdot \frac{E_0}{I_{sa}} \right],$$

где  $I_{sa} = h\nu / \sigma_a$  – интенсивность насыщения поглощения;  $\gamma = \sigma_{esa} / \sigma_a$  – контраст просветления;  $\sigma_a$  и  $\sigma_{esa}$  – поперечные сечения поглощения из основного и возбужденного состояний, соответственно. По результатам моделирования определены контраст просветления  $\gamma = 0,12$ , поперечные сечения поглощения из основного  $\sigma_a = 2,9 \cdot 10^{-19} \text{ см}^2$  и возбужденного  $\sigma_{esa} = 0,35 \cdot 10^{-19} \text{ см}^2$  состояний.

УДК 536.2

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРА НАБЛЮДЕНИЯ

Маханько Д.С., Луговик А.Ю., Шкадаревич А.П.

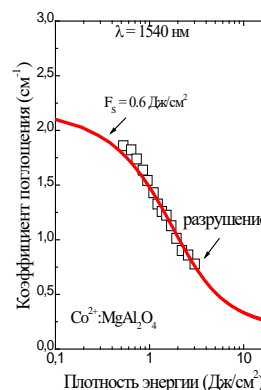
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Оптико-электронный прибор – сложная система, составными частями которой являются оптические и механические устройства, лазеры, приемники излучения, электронные блоки, устройства волоконной и интегральной оптики и т. д. Классификация оптико-электронных приборов представлена на рисунке 1. Требования к ОЭП определяются, исходя из необходимости решения задач военного характера, а также ряда проблем народнохозяйственного значения (космическая съемка, исследование природных

ресурсов), которые не решаются визуальными оптическими и радиоэлектронными приборами.

Тепловой режим оптико-электронного прибора (ОЭП) оказывает влияние как на качество и надежность работы отдельных его узлов, так и на работу прибора в целом. Нарушение теплового режима приводит к искажению полезного сигнала, к появлению шумов в приборе, что в свою очередь влияет на качество работы прибора.

В процессе работы прибор подвергается различным тепловым воздействиям. В результате в оптической системе возникает в общем случае


 Рисунок 4 – Зависимость коэффициента поглощения от плотности энергии для керамики  $\text{Co}^{2+}:\text{MgAl}_2\text{O}_4$ 

Таким образом, в работе синтезированы новые лазерные материалы – прозрачной поликристаллической керамики  $\text{Co}^{2+}:\text{MgAl}_2\text{O}_4$ . Исследованы структурные, спектрально-люминесцентные и нелинейно-оптические свойства.

Показано, что прозрачная поликристаллическая керамика  $\text{Co}^{2+}:\text{MgAl}_2\text{O}_4$  являются перспективной средой для пассивной модуляции добротности лазеров спектрального диапазона 1,3–1,7 мкм.

1. F. J. McClung and R. W. Hellwarth, "Giant Optical Pulsations from Ruby" // *J. Appl. Phys.*, 33 [3] 828-9 (1962).
2. J. Hecht, *Understanding Lasers*. J. Wiley Interscience, N.Y., 2001.
3. R. J. Bratton, "Cociprecipitates Yielding  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  Spinel Powders" // *Am. Ceram. Soc. Bull.*, 48 [8] 759-62 (1969).
4. J. Rufner, D. Anderson, K. van Benthem and R. H. R. Castro, "Synthesis and Sintering Behavior of Ultrafine (<10 nm) Magnesium Aluminate Spinel Nanoparticles" // *J. Am. Ceram. Soc.*, 96 [7] 2077-85 (2013).
5. Denisov I.A., Demchuk M.L., Kuleshov N.V., Yumashev K.V.  $\text{Co}^{2+}:\text{LiGa}_5\text{O}_8$  saturable absorber passive Q-switch for 1.34  $\mu\text{m}$   $\text{Nd}^{3+}:\text{YAlO}_3$  and 1.54  $\mu\text{m}$   $\text{Er}^{3+}:\text{glass}$  lasers // *Appl. Phys. Lett.*, 77, 2455-2457 (2000).