

## Сравнение оптических характеристик монокристалла и оптической керамики $\text{CaF}_2$

О.В.Палашов, Е.А.Хазанов, И.Б.Мухин, И.А.Миронов,  
А.Н.Смирнов, К.В.Дукельский, П.П.Федоров, В.В.Осико, Т.Т.Басиев

*Методом термонаведенной деполяризации лазерного излучения ( $\lambda = 1076$  нм) исследованы образцы монокристалла и оптической керамики  $\text{CaF}_2$ . Получены оценки коэффициента поглощения для монокристалла ( $\alpha < 4.5 \times 10^{-4} \text{ см}^{-1}$ ) и керамики ( $\alpha < 1.33 \times 10^{-3} \text{ см}^{-1}$ ).*

**Ключевые слова:** термонаведенная деполяризация, оптическая керамика, оптическое поглощение, флюорит.

В последние годы возрос интерес к оптическим керамическим материалам, в том числе к активным лазерным элементам [1, 2]. На керамических образцах алюмоиттриевого граната достигнуты спектрально-генерационные характеристики, не уступающие характеристикам монокристаллов. Интерес представляет и развитие технологии получения фторидной лазерной керамики [3].

Целью настоящей работы является сравнение оптических характеристик монокристаллического флюорита и оптически прозрачной керамики того же химического состава методом термонаведенной деполяризации лазерного излучения. Объектами исследования служили два образца  $\text{CaF}_2$  с практически одинаковыми геометрическими размерами ( $9 \times 13 \times 45$  мм). Один из них был вырезан из монокристаллической булы, выращенной методом вертикально направленной кристаллизации (ориентация [001]), второй – из куска искусственной оптической керамики, синтезированной и исследованной авторами работы [3].

Схема измерения представлена на рис.1. Линейно поляризованное излучение лазера 1 падает на шпатовый клин 2, обеспечивающий идеальную линейную поляризацию. Шпатовый клин 3 настроен так, чтобы на CCD-камеру 4 попадало минимум излучения. Контраст шпатовых клиньев был не хуже  $10^{-6}$ . После прохождения образца 5 излучение становилось деполяризованным. Объектив 6 переносил изображение с выходного торца образца на CCD-камеру. Под деполяризацией  $\gamma$  понимается отношение  $P_1/(P_1 + P_2)$ , где  $P_1$  и  $P_2$  – мощности излучения в деполяризованной и поляризованной компоненте соответственно. Полученные результаты представлены на рис.2 и 3.

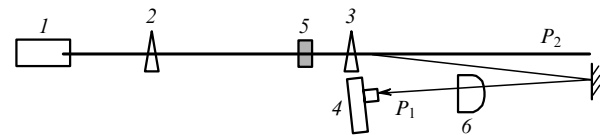


Рис.1. Схема измерения деполяризации в керамическом образце и кристалле  $\text{CaF}_2$ : 1 – лазер ( $\lambda = 1076$  нм); 2, 3 – шпатовые клинья; 4 – CCD-камера; 5 – образец; 6 – объектив.

Из рис. 2 видно, что деполяризация в обоих образцах локализована, в основном, в углах апертуры, что, видимо, связано с напряжениями, возникающими при резке или обработке. Деполяризация в керамике незначительна (в лучших областях –  $10^{-3}$ ), хотя и несколько больше, чем в монокристалле.

Поглощение в образцах определялось по результатам измерения деполяризации при большой мощности (рис.3) с использованием следующей методики. Изначально любой кубический кристалл оптически изотропен. При поглощении излучения в нем выделяется тепло и, следовательно, появляются температурные градиенты, что приводит к механическим напряжениям. Вследствие фотоупругого эффекта такие механические напряжения вызывают термонаведенную деполяризацию  $\gamma_T$ , которая имеет распределение в виде «мальтийского креста». При малых тепловыделениях в случае кристалла с ориентацией [001] [4] и керамики [5, 6]  $\gamma_T$  для гауссова пучка определяется формулами

$$\gamma_{T[001]} = 0.137 \frac{p^2}{8} [1 + (\xi^2 - 1) \cos^2(2\theta)],$$

$$\gamma_{T\text{cer}} = 0.137 \frac{p^2}{8} \left( \frac{1 + 2\xi_{\text{eff}}}{3} \right)^2,$$

где

$$p = \frac{Q\alpha L(P_1 + P_2)}{\lambda k}; \quad Q = \alpha_T \frac{n_0^3}{4} \frac{1 + \nu}{1 - \nu} (p_{11} - p_{12});$$

$$\xi = \frac{2p_{44}}{p_{11} - p_{12}}; \quad \xi_{\text{eff}} = 1 + (\xi - 1) \frac{225}{256};$$

О.В.Палашов, Е.А.Хазанов, И.Б.Мухин. Институт прикладной физики РАН, Россия, 603950 Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46

И.А.Миронов, А.Н.Смирнов, К.В.Дукельский. Научно-исследовательский и технологический институт оптического материаловедения ВНЦ «ГОИ им. С.И.Вавилова», Россия, 192171 Санкт-Петербург, ул. Бабушкина, 36, к.1

П.П.Федоров, В.В.Осико, Т.Т.Басиев. Научный центр лазерных материалов и технологий Института общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Россия, 119991 Москва, ул. Вавилова, 38; e-mail: basiev@lst.gpi.ru

Поступило в редакцию 30 ноября 2006 г.

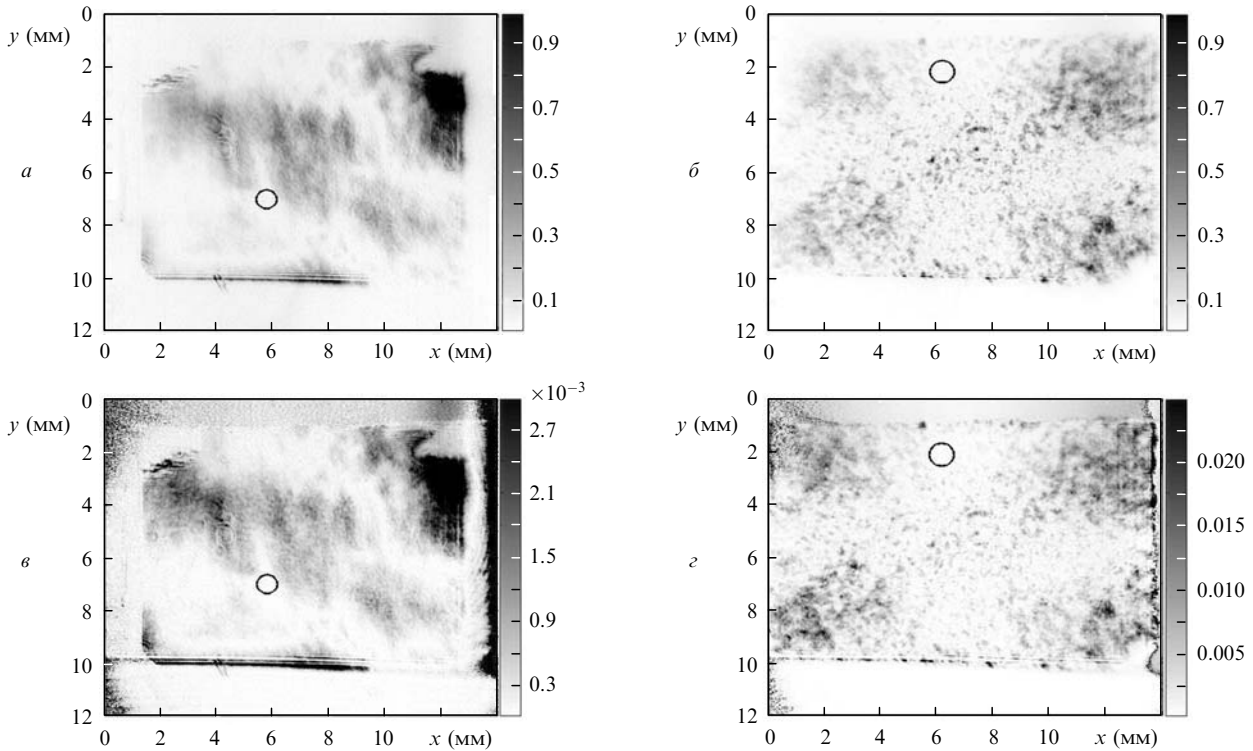


Рис.2. Пространственное распределение деполаризованной компоненты (а, б) и деполаризации (в, з) в монокристалле (а, в) и керамике (б, з) при мощности излучения 1 Вт.

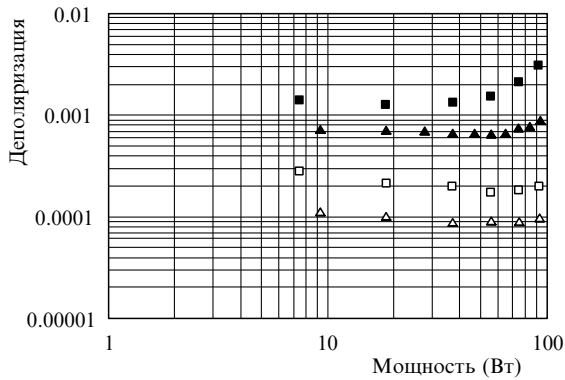


Рис.3. Зависимость деполаризации в областях, отмеченных на рис.2 кружками, от мощности излучения для керамики (темные точки) и монокристалла (светлые точки) при  $\theta = 45^\circ$  (квадраты) и  $\theta = 0$  (треугольники).

$\alpha$  – коэффициент поглощения в образце;  $\lambda$  – длина волны;  $\theta$  – угол между поляризацией и одной из кристаллографических осей;  $p_{11} = 0.056$ ,  $p_{12} = 0.228$ ,  $p_{44} = -0.024$  – фотоупругие коэффициенты;  $\kappa = 10.3 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$  – теплопроводность;  $\nu = 0.24$  – коэффициент Пуассона;  $n_0 = 1.428$  – показатель преломления;  $\alpha_T = 18 \times 10^{-6} \text{ К}^{-1}$  – коэффициент линейного расширения;  $L = 45 \text{ мм}$  – длина образца. Таким образом, зная величину термонаведенной

деполаризации  $\gamma_T$  и константы среды, нетрудно вычислить коэффициент поглощения  $\alpha$ .

Как видно из рис.3, в кристалле при мощности до 100 Вт термонаведенная деполаризация меньше «холодной». Следовательно, мы не можем точно рассчитать поглощение. Однако можно утверждать, что оно не достигает  $4.5 \times 10^{-4} \text{ см}^{-1}$ . В керамике мы также не увидели термонаведенной деполаризации («мальтийский крест»), однако начало подъема на рис.3 говорит о том, что поглощение в керамике больше, чем в кристалле. По нашим оценкам, оно не превышает  $1.33 \times 10^{-3} \text{ см}^{-1}$ .

Таким образом, приготовленная керамика фторида кальция имеет оптическое качество и характеризуется низким поглощением.

1. Kaminskii A.A., Eichler H.J., Ueda K., et al. *Phys. Stat. Sol. (a)*, **181** (2), R19 (2000).
2. Каминский А.А., Акчурин М.Ш., Альшиц В.И. и др. *Кристаллография*, **48** (3), 562 (2003).
3. Попов П.А., Дукельский К.В., Миронов И.А., Смирнов А.Н., Смолянский П.А., Федоров П.П., Осико В.В., Баснев Т.Т. *Докл. РАН*, **412** (2007) (в печати).
4. Мухин И.Б., Палашов О.В., Хазанов Е.А., Иванов И.А. *Письма в ЖЭТФ*, **81**, 120 (2005).
5. Каган М.А., Хазанов Е.А. *Квантовая электроника*, **33**, 876 (2003).
6. Mukhin I. B., Palashov O. V., Khazanov E. A., Ikesue A., Aung Y. L. *Opt. Express*, **13**, 5983 (2005).