

НЕЛИНЕЙНОЕ ОБЪЕМНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ В КРИСТАЛЛАХ  $Y_{3-x}Er_xAl_5O_{12}$ 

В.И.Жеков, Т.М.Мурина, А.В.Попов, А.М.Прохоров

Впервые обнаружено нелинейное объемное поглощение на примесных частицах субмикронного размера в кристаллах иттрий-эрбий-алюминиевого граната. Показано, что локальные коэффициенты поглощения таких частиц достигают значений  $\geq 10^3 \text{ см}^{-1}$ .

Измерение объемного поглощения ( $\alpha$ ) в кристаллах, стеклах, волокнах методом адиабатической лазерной калориметрии с использованием непрерывных лазеров проводилось во многих работах <sup>1-3</sup>. В работе <sup>4</sup> для измерения  $\alpha$  в кристаллах  $Y_{3-x}Er_xAl_5O_{12}$  предложено использовать импульсно-периодические лазеры. При нагреве кристаллов с длительностью импульса 50 мкс и более значение  $\alpha$  не изменялось и совпадало со значением при нагреве кристалла непрерывным лазером. При сокращении длительности импульса на порядок (1 мкс и менее) нами впервые было наблюденo нелинейное объемное поглощение лазерного излучения в кристаллах  $Y_{3-x}Er_xAl_5O_{12}$ .

Предположим, что в кристалле присутствуют дефекты с большими локальными коэффициентами поглощения. В этом случае необходимо учитывать соотношения между длительностью импульса излучения лазера  $t_n$  и характерным временем теплообмена между кристаллом и частицей  $t_x$ . Действительно, если выполняется условие:

$$t_n < t_x = R^2/g, \quad (1)$$

где  $R$  — радиус дефекта,  $g$  — коэффициент температуропроводности, то дефект может сильно перегреваться относительно кристалла при достаточных энергиях лазерного импульса.

Процесс нагрева лазерным излучением поглощающего дефекта в стекле с учетом тепловыделения в материал рассматривался на основе решения уравнения теплопроводности в работе <sup>5</sup>. Предполагалось, что теплофизические свойства дефекта при его разогреве остаются неизменными. В работе <sup>6</sup> рассматривалось влияние изменения теплофизических свойств дефекта кристалла от температуры на пороги лазерного разрушения. Для конкретных оценок порогов лазерного разрушения в теорию феноменологически закладывался параметр нелинейности поглощения разогретого дефекта.

Измерение  $\alpha$  в кристаллах  $Y_{3-x}Er_xAl_5O_{12}$  проводилось методом адиабатической лазерной калориметрии с помощью импульсно-периодического  $Y_3Al_5O_{12} - Nd^{3+}$ -лазера ( $\lambda = 1,06 \text{ мкм}$ ). Схема установки представлена на рис. 1. Луч лазера пропускался вдоль оси образца, имеющего цилиндрическую форму ( $\phi = 6 \text{ мм}$ ;  $L = 70 \text{ мм}$ ). Длительность импульса излучения лазера варьировалась от 200 мкс до 10 нс, при этом сохранялась геометрия эксперимента, средняя мощность излучения и частота повторения импульсов. Увеличение температуры образца после включения лазера связано с объемным и поверхностным поглощением кристалла. Измерение проводилось на начальном участке зависимости  $d\theta/dt$  до прихода тепловой волны от торцов образца  $t < (L/2)^2 (1/6g)$  <sup>1</sup>.

Торцы и боковая поверхность образцов обрабатывались по 14 и 12 классу чистоты соответственно.

Коэффициент объемного поглощения определялся по формуле <sup>3</sup>;

$$\alpha = \frac{c\rho R^2}{P} \left( \frac{d\theta}{dt} \right)_{t=0}, \quad (2)$$

где  $\rho$  — удельный вес образца,  $P = 1/2 (n + 1/n) P_{\text{изм}}$ ,  $P_{\text{изм}}$  — мощность лазера,  $n$  — показатель преломления материала,  $\left( \frac{d\theta}{dt} \right)_{t=0}$  — тангенс угла наклона зависимости температуры

( $\theta$ ) образца от времени в начальный момент времени,  $R$  — радиус образца,  $c$  — теплоемкость иттрий-эрбий-алюминиевого граната.

Точность измерения  $\alpha$  составляла  $\pm 5\%$ .

На рис. 2 приведена зависимость  $\alpha$  от длительности лазерного импульса. Из рисунка видно, что при  $t_{\text{л}} = 200 \div 50$  мкс  $\alpha$  практически не изменяется и равно  $6 \cdot 10^{-4}$  см $^{-1}$ . При нагреве кристаллов излучением с длительностью 1 мкс и 10 нс наблюдается увеличение  $\alpha$ . Коэффициенты объемного поглощения при  $t_{\text{л}} = 1$  мкс и  $t_{\text{л}} = 10$  нс соответственно равны  $2,5 \cdot 10^{-3}$  и  $8 \cdot 10^{-3}$  см $^{-1}$ .

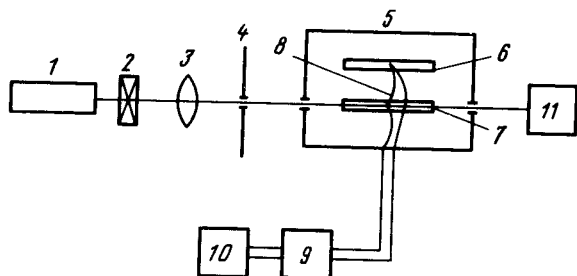


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для измерения коэффициентов объемного поглощения в кристаллах  $Y_{3-x}Er_xAl_5O_{12}$  методом адиабатической лазерной калориметрии: 1 — лазер, 2 — механический затвор, 3 — линза  $f = 200$  мм, 4 — диафрагма, 5 — теплоизолирующая камера, 6 — контрольный кристалл, 7 — исследуемый кристалл, 8 — термопара медь-константан, 9 — усилитель постоянного тока, 10 — самописец, 11 — калориметр

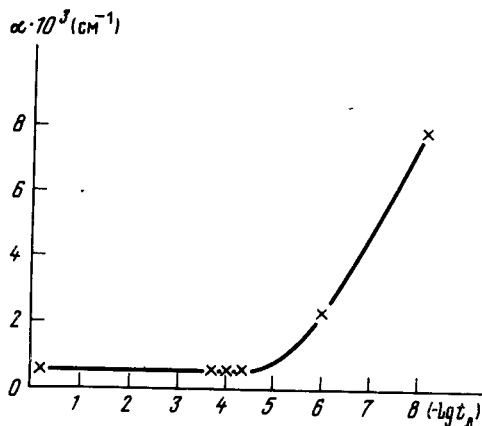


Рис. 2. Зависимость коэффициента объемного поглощения кристалла  $Y_{3-x}Er_xAl_5O_{12}$  от длительности импульса  $Y_3Al_5O_{12} - Nd^{3+}$ -лазера

Зависимость  $\alpha$  от длительности лазерного импульса свидетельствует о том, что данные кристаллы содержат сильно поглощающие дефекты.

Если предположить, что коэффициент температуропроводности дефекта и кристалла одного порядка ( $g \cong 10^{-2}$  см $^2$ /с для  $Y_3Al_5O_{12}$ ), то оценка размера ( $\alpha$ ) локального дефекта по формуле (1) дает значение  $\alpha \cong 0,5 \div 0,1$  мкм.

Оценим средний коэффициент локального поглощения дефектов. Дополнительный вклад в объемное поглощение от поглощения на перегретых дефектах можно представить в виде:

$$\Delta\alpha_{\text{изм}} = \alpha_{\text{лок}} V N, \quad (3)$$

где  $\alpha_{\text{лок}}$  — средний локальный коэффициент поглощения дефектов,  $V$  — объем дефекта ( $V \cong 8 \cdot 10^{-15}$  см $^3$ ),  $\Delta\alpha_{\text{изм}} = \alpha(t_{\text{л}} = 10 \text{ нс}) - \alpha(t_{\text{л}} = 50 \text{ мкс})$   $N$  — концентрация дефектов.

В работе <sup>7</sup> приведена оценка концентрации кластеров, инородной фазы, которые могут быть ответственны за лазерное разрушение кристаллов  $Y_3Al_5O_{12} - Nd^{3+}$ . Согласно этой работы концентрация таких дефектов может составлять значение  $\sim 10^9$  см $^{-3}$ . Следовательно, локальный коэффициент поглощения дефектов может достигать значений  $10^{-3}$  см $^{-1}$  и более. Если предположить, что в кристаллах  $Y_{3-x}Er_xAl_5O_{12}$  дефектами являются металлические включения (коэффициент поглощения  $\sim 10^5$  см $^{-1}$ ), то концентрация дефектов, как показывает оценка, находится в пределах  $10^6 \div 10^7$  см $^{-3}$ .

В заключение отметим. Нами впервые обнаружено поглощение на примесных частицах субмикронного размера в лазерных кристаллах. Разработанная методика измерения  $\alpha$  при нагреве кристаллов лазерными импульсами различной длительности позволяет выделять такие дефекты и анализировать характер нелинейного поглощения не разрушая кристалл.

## Литература

1. *Артюшенко В.Г., Дианов Е.М., Никитин Е.П.* Квантовая электроника, 1978, 5, 1065.
2. *Плотниченко В.Г., Сысоев В.К., Фирсов И.Г.* Квантовая электроника, 1981, 8, 1495.
3. *Брюшкова Р.И., Дианов Е.М., Никитин Е.П., Прохоров А.М.* Квантовая электроника, 1976, 3, 2500.
4. *Багдасаров Х.С., Жеков В.И., Кислицев А.В., Мурина Т.М., Попов А.В., Тарасова Н.В., Тимошенкин М.И., Федоров Е.А.* Препринт ИОФАН, 1986, № 46.
5. *Horner R.W., Uhlmann D.R.* J. Appl. Phys., 1970, 41, 4023.
6. *Данилейко Ю.К., Маненков А.А., Прохоров А.М., Хаимов-Мальков В.Я.* ЖЭТФ, 1972, 63, 1032.
7. *Данилейко Ю.К.* Изв. АН СССР, серия Физическая, 1982, 46, 1119.

Институт общей физики  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
16 января 1987 г.