

## УПРУГИЕ И ФОТОУПРУГИЕ СВОЙСТВА ГАДОЛИНИЙ–СКАНДИЙ–ГАЛЛИЕВОГО ГРАНАТА, ЛЕГИРОВАННОГО ЭРБИЕМ

Л.М. Ершова, Е.В. Жариков, В.Ф. Китаева, В.В. Осико, И.Р. Рустамов, Н.Н. Соболев

УДК 535.36

*Методом мандельштам-бриллюэновского (МБ) рассеяния света измерены скорости распространения гиперзвуковых волн в кристалле гадолиний-скандий-галлиевого граната, легированного ионами эрбия. Изучены упругие, фотоупругие и теплофизические свойства этого кристалла.*

Эрбий-содержащие редкоземельные гранаты привлекают внимание исследователей как эффективные активные среды твердотельных лазеров для генерации в области 3 мкм. Полученные в последнее время результаты по генерации иттрий-эрбий-алюминиевого граната /1/ позволяют говорить о его практическом применении.

Кристаллы гадолиний-скандий-галлиевого граната (ГСГГ), легированные эрбием, являются перспективным лазерным материалом для генерации в области 3 мкм. Они обладают более высокими спектрально-люминесцентными характеристиками, чем кристаллы иттрий-эрбий-алюминиевого граната /2/. Особый интерес к кристаллам ГСГГ вызван тем, что эти кристаллы, активированные ионами  $Nd^{3+}$  и  $Cr^{3+}$ , уже зарекомендовали себя как высокоэффективный лазерный материал для генерации на длине волн 1,06 мкм /3/, а также для получения перестраиваемой генерации в области 0,766–0,82 мкм /4/.

В настоящей работе проведены исследования кристалла ГСГГ с высоким содержанием  $Er^{3+}$  (33 ат. %). Как было показано в /5/, введение высоких концентраций эрбия в кристаллы со структурой граната приводит к заметному изменению параметра фотоупругого взаимодействия в этих кристаллах. Поэтому исследование упругих и фотоупругих свойств этих кристаллов представляет как научный, так и практический интерес.

Как и все гранаты, гадолиний-скандий-галлиевый гранат, легированный эрбием,  $(GdScGaG-Er)$  имеет кубическую объемноцентрированную решетку. Пространственная группа  $Ia3d$ , точечная группа  $m3m$ . Показатель пре-

ломления кристалла на длине волны  $\lambda = 0,4765$  мкм излучения аргонового лазера, на которой проводились исследования, составляет 1, 992. Он определен нами по методу призмы /6/.

Исследованный образец представлял собой десятигранную призму, в основании которой лежал восьмиугольник. Грани призмы ориентировались нормально к осям 2-го и 4-го порядков. Точность ориентировки граней образца составляла 2–3 градуса.

Эксперимент. Поляризационные  $V\Sigma$ ,  $H\Sigma$ ,  $VV$ ,  $VH$ ,  $HV$  и  $HH$ -спектры света\*), рассеянного на фонах, распространяющихся вдоль кристаллографических направлений  $[100]$ ,  $[110]$ ,  $[11\sqrt{2}]$ , регистрировались для кристалла  $GdScGaG-Er$  на установке, описанной в /7/.

Из смещения компонент МБ определялись скорость распространения гиперзвука и упругие постоянные кристалла, из интенсивности — фотоупругие постоянные. Необходимые расчетные соотношения приведены в /7,8/.

Таблица 1. Скорости гиперзвуковых волн и интенсивности компонент МБ.

Ориентация	Направление распространения звука	Тип волны	Скорость гиперзвука, км/с	Интенсивность МБ компонент					
				$V\Sigma$	$H\Sigma$	$VV$	$VH$	$HV$	$HH$
2–2	$[100]$	T	$3,49 \pm 0,03$	35	46	—	30	34	—
		L	$6,40 \pm 0,05$	13	12	8	—	—	9
4–4	$[110]$	T	$3,52 \pm 0,02$	53	40	—	27	27	—
		L	$6,41 \pm 0,07$	15	26	—	—	—	20
4–2	$[11\sqrt{2}]$	T	$3,48 \pm 0,03$	—	—	—	74	8	—
		qT	$3,56 \pm 0,03$	128	12	19	—	—	7
		qL	$6,40 \pm 0,06$	10	50	7	—	—	30

Полученные значения скоростей гиперзвука для исследованных направлений распространения гиперзвука в кристалле приведены в табл. 1. Здесь же при-

\*) Первый индекс — поляризация возбуждающего света, второй — рассеянного, V — вертикальная (по отношению к плоскости рассеяния) поляризация, H — горизонтальная,  $\Sigma$  — рассеянный свет неполяризован.

водятся и относительные интенсивности компонент МБ. Рассчитанные значения упругих и фотоупругих постоянных исследованного кристалла представлены в табл. 2. Точность определения упругих постоянных была  $\sim 1\%$ , фотоупругих  $\sim 20\%$ .

Таблица 2. Параметры упругого и фотоупругого взаимодействия.

Упругие константы $\times 10^{-12}$ дин/см <sup>2</sup>			Упругая анизотропия	Пара- метр Коши	Фотоупругие константы			Фотоупр. анизотропия	
$c_{11}$	$c_{12}$	$c_{44}$	$\frac{c_{11} - c_{12}}{2c_{44}}$	$\frac{c_{12}}{c_{44}}$	$P_{11}$	$P_{12}$	$P_{44}$	$\frac{P_{11} - P_{12}}{2P_{44}}$	$\frac{P_{12}}{P_{44}}$
2,74	1,102	0,817	1,00	1,35	-0,103	-0,040	-0,060	0,53	0,67

Из упругих постоянных были рассчитаны упругие модули кристалла (модуль всестороннего растяжения-сжатия В, модуль сдвига G, модуль Юнга E), коэффициент Пуассона  $\sigma$ , температура Дебая  $\Theta$  [8]. Из температуры Дебая оценена решеточная теплопроводность  $\kappa_D$  и удельная теплоемкость  $c_V$ . Правомерность таких оценок следует из [8]. Результаты проведенных расчетов приведены в табл. 3.

Таблица 3. Параметры упругости, динамики решетки и теплофизических свойств.

Пара- метр решет- ки а, Å	Молек. вес М	Модуль всестор. сжатия $V \cdot 10^{-12}$ дин/см <sup>2</sup>	Модуль сдвига $G \cdot 10^{-12}$ дин/см <sup>2</sup>	Модуль Юнга $E \cdot 10^{-12}$ дин/см <sup>2</sup>	Коефф. Пуас- сона $\sigma$	Темп. Дебая $\Theta$ , К	Коефф. теплопр. $\kappa_D$ Вт/см <sup>2</sup> ·К	Удельная теплоемк. $c_V$ , Дж/г·К
12,50	984	1,65	0,82	2,11	0,29	513	0,073	0,43

Обсуждение результатов. Анализ табл. 1 и 2 показывает следующее.

1. Кристалл GdScGaG—Er изотропен по упругим свойствам; его параметр анизотропии  $(c_{11} - c_{12})/2c_{44} = 1$ . Симметрия межатомного взаимодействия в кристалле далека от центральной, т. к. параметр Коши, характеризующий симметрию силового взаимодействия, в этом кристалле сильно отличается от 1:  $c_{12}/c_{44} = 1,35$ .

II. Для спектров МБР кристалла  $GdScGaG-Er$ , так же как и для кристалла  $GdScGaG-Nd, Cr$  /8/, характерны две особенности: 1) малая интенсивность продольных компонент по сравнению с интенсивностью поперечных в  $V\Sigma$ -спектрах; 2) резкая зависимость относительных интенсивностей компонент МБ от ориентации кристалла. Так в  $V\Sigma$ -спектре для ориентаций 2-2, 4-4, 4-2 отношение интенсивности поперечной компоненты к продольной равно соответственно 2,7; 3,4; 12,8.

Первая особенность объясняется характером фотон-фононного взаимодействия, вторая — связана с большой величиной фотоупругой анизотропии в кристалле  $GdScGaG-Er$  /8/.

III. Сравнение результатов исследования кристаллов  $GdScGaG$ , легированных  $Nd$ ,  $Cr$  и  $Er$ , показывает, что при указанных концентрациях легирующих ионов замена ионов  $Nd^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$  на  $Er^{3+}$  не изменяет характер фотоупругого и упругого взаимодействий.

Поступила в редакцию 27 февраля 1984 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Х.С. Багдасаров и др., Изв. АН СССР, сер. физич., 46, 1496 (1982).
2. Е.В. Жариков и др., Препринт ФИАН № 196, М., 1983 г.
3. Е.В. Жариков и др., Квантовая электроника, 10, 140 (1983).
4. Е.В. Жариков и др., Квантовая электроника, 10, 1916 (1983).
5. В.Ф. Китаева и др., ФТТ, 22, 1379 (1980).
6. С.А. Балабанова и др., Препринт ФИАН № 231, М., 1983 г.
7. И.Л. Чистый и др., ФТТ, 17, 1434 (1975).
8. Е.В. Жариков и др., Препринт ФИАН № 200, М., 1983 г.