

УПРУГИЕ И ФОТОУПРУГИЕ СВОЙСТВА  
ИТТРИЙ-СКАНДИЙ-ГАЛЛИЕВОГО ГРАНАТА

Е. В. Жариков, В. Ф. Китаева, В. Ю. Федорович

Целью настоящей работы явилось исследование упругих и фотоупругих свойств иттрий-скандий-галлиевого граната (ИСГГ)  $Y_3(Sc, Ga)_2 \cdot Ga_3O_{12}$ , являющегося одним из наиболее перспективных лазерных кристаллов [1]. Лазеры на основе ИСГГ эффективно работают на различных длинах волн и демонстрируют рекордные среди твердотельных лазеров значения КПД [2].

Исследования упругих и фотоупругих свойств ИСГГ проводились ме-

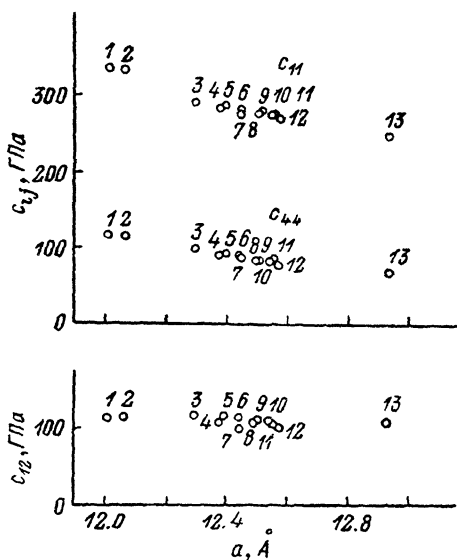


Рис. 1. Зависимости упругих постоянных  $c_{11}$ ,  $c_{44}$  и  $c_{12}$  от параметра решетки  $a$  кристаллов граната с трехвалентными катионами.

1 —  $Y_3Al_5O_{12}$  [8], 2 —  $Y_{2.22}Er_{0.78}Al_5O_{12}$  [3], 3 —  $Y_2Ga_5O_{12}$  [8], 4 —  $Gd_{2.45}Er_{0.55}Ga_5O_{12}$  [3], 5 —  $Gd_5Ga_5O_{12}$  [8-10], 6 —  $Sm_3Ga_5O_{12}$  [8], 7 —  $Y_3(Sc, Ga)_2Ga_3O_{12}$  (данная работа), 8 —  $Gd_2Er(Sc, Ga)_2Ga_3O_{12}$  [11], 9 —  $Nd_3Ga_5O_{12}$  [12], 10 —  $Gd_{2.94}Er_{0.06}(Sc, Ga)_2Ga_3O_{12}$  [12], 11 —  $Gd_3(Sc, Ga)_2Ga_3O_{12}$  [12], 12 —  $Gd_{2.91}Nd_{0.09} \times (Sc, Ga)_{1.98}Cr_{0.02}Ga_3O_{12}$  [12], 13 —  $La_2Nd_{0.3}Lu_{0.7}Lu_2Ga_3O_{12}$  [8].

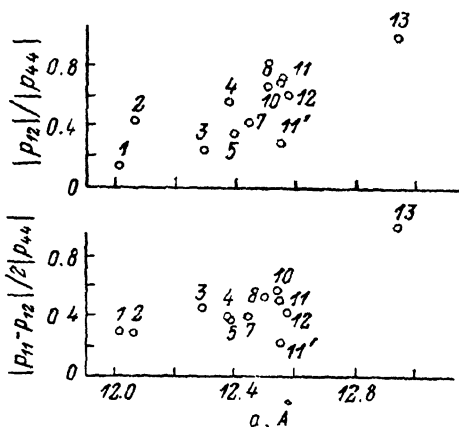


Рис. 2. Зависимости параметра фотоупругого взаимодействия  $|p_{12}|/|p_{44}|$  и параметра фотоупругой анизотропии  $|p_{11}-p_{12}|/2|p_{44}|$  от параметра решетки  $a$  кристаллов граната с трехвалентными катионами.

1 —  $Y_3Al_5O_{12}$  [4, 8], 2 —  $Y_{2.22}Er_{0.78}Al_5O_{12}$  [3], 3 —  $Y_2Ga_5O_{12}$  [8], 4 —  $Gd_{2.45}Er_{0.55}Ga_5O_{12}$  [3], 5 —  $Gd_5Ga_5O_{12}$  [8, 10], 7 —  $Y_3(Sc, Ga)_2Ga_3O_{12}$  (данная работа), 8 —  $Gd_2Er(Sc, Ga)_2Ga_3O_{12}$  [11], 10 —  $Gd_{2.94}Er_{0.06}(Sc, Ga)_2Ga_3O_{12}$  [12], 11 —  $Gd_3(Sc, Ga)_2Ga_3O_{12}$  [12], 11' —  $Gd_3Sc_2Ga_3O_{12}$  [7], 12 —  $Gd_{2.91}Nd_{0.09}(Sc, Ga)_{1.98}Cr_{0.02}Ga_3O_{12}$  [12], 13 —  $La_2Nd_{0.3}Lu_{0.7}Lu_2Ga_3O_{12}$  [8].

тодом манделштам-бриллюэновского (МБ) рассеяния света на установке, подробно описанной в [3]. Исследуемый образец имел форму прямоугольного параллелепипеда, две пары граней которого были перпендикулярны осям второго и одна — оси четвертого порядков. Возбуждение спектра МБ рассеяния света осуществлялось с помощью одночастотного аргонового лазера. Рассеянный свет наблюдался под углом  $90^\circ$  к падающему на кристалл. Спектральным прибором служил трехпроходный интерферометр Фабри—Перо. Использовалась техника счета фотонов. Регистрировались спектры МБ рассеяния на фонах, распространяющихся в кристалле вдоль направлений  $[100]$  и  $[11\sqrt{2}]$ . Из смещений компонент МБ определялись упругие  $c_{ij}$ , а из их относительных интенсивностей — отношения фотоупругих  $p_{ij}$  постоянных кристалла. Сравнение интенсивности компонент МБ ИСГГ и плавянного кварца, принятого за эталон, позволило получить значение  $|p_{44}|$ . Расчет  $c_{ij}$  и  $p_{ij}$  проводился с помощью известных соотношений (см. [4-6]). Показатель преломления ИСГГ  $n(\lambda = 514.5 \text{ нм}) = 1.964$ , плотность  $\rho = 5.33 \text{ кг/м}^3$ . Постоянные  $c_{11}$  и  $c_{44}$  опре-

	Упругие свойства					Фотоупругие свойства			Литература
	ГПа			$\frac{c_{11} - c_{12}}{2c_{44}}$	$\frac{c_{12}}{c_{44}}$	$ p_{44} $	$\frac{ p_{11} - p_{12} }{2 p_{44} }$	$\frac{ p_{12} }{ p_{44} }$	
	$c_{11}$	$c_{12}$	$c_{44}$						
ИСГГ	275	100	85	1.03	1.18	0.077	0.40	0.42	Наст. раб.
ГСГГ	275	104	81	1.06	1.29	0.074	0.54	0.74	[12]

делены с точностью 1,  $c_{12}$  и  $p_{44}$  — с точностью 10, отношения фотоупругих постоянных — с точностью 15 %.

Полученные значения упругих и фотоупругих постоянных ИСГГ приведены в таблице. Для сравнения в таблице приведены также упругие и фотоупругие постоянные ближайшего аналога ИСГГ — кристалла гадолиний-скандий-галлиевого граната (ГСГГ)  $Gd_3(Sc, Ga)_2Ga_3O_{12}$ . Как видно из таблицы, упругие постоянные ИСГГ близки к упругим постоянным ГСГГ. ИСГГ, как и ГСГГ, упруго изотропен ( $(c_{11} - c_{12} - 2c_{44})/2c_{44} \ll 1$ ). Силовое взаимодействие атомов решетки ИСГГ существенно нецентральное ( $c_{12}/c_{44} \neq 1$ ), хотя и в меньшей степени, чем у ГСГГ.

Упругие и фотоупругие постоянные ИСГГ типичны для кристаллов граната с трехвалентными катионами (рис. 1 и 2).

На рис. 1 приведена зависимость упругих постоянных от параметра решетки кристаллов для ряда синтетических гранатов с трехвалентными катионами. Как видно из рис. 1, упругие постоянные  $c_{11}$  и  $c_{44}$  с ростом параметра решетки монотонно уменьшаются, а  $c_{12}$  от параметра решетки практически не зависит.

На рис. 2 представлена зависимость фотоупругих параметров от параметра решетки. Несмотря на достаточно большой разброс данных, здесь отчетливо проявляется тенденция увеличения фотоупругих параметров с ростом параметра решетки. Из рис. 2 видно, что величина отношения  $|p_{11} - p_{12}| / 2|p_{44}|$ , определяющего фотоупругую анизотропию, и отношения  $|p_{12}| / |p_{44}|$ , характеризующего фонон-фононное взаимодействие, у ИСГГ меньше, чем соответствующие величины как для номинально чистого кристалла  $Gd_3(Sc, Ga)_2Ga_3O_{12}$  (см. таблицу), так и для кристаллов, легированных ионами  $Nd^{3+}$ ,  $Er^{3+}$  и  $Cr^{3+}$ . Заметим, что фотоупругие параметры ИСГГ больше, чем фотоупругие параметры гадолиний-скандий-галлиевого граната стехиометрического состава  $Gd_3Sc_2Ga_3O_{12}$ , определенные с помощью статического метода [7]. Вместе с тем следует отметить, что данные [7] выпадают из общей зависимости фотоупругих параметров (рис. 2), и причина этого остается пока неясной. В то же время полученные в настоящей работе значения параметров фотоупругой анизотропии и фотоупругого взаимодействия ИСГГ находятся в хорошем соответствии с приведенными на рис. 2 зависимостями фотоупругих параметров от параметра решетки для гранатов с трехвалентными катионами.

Измеренные значения  $c_{ij}$  позволяют рассчитать [8] целый ряд важных характеристик кристаллов — упругие модули и некоторые теплофизические константы. Для кристалла ИСГГ расчеты дают модуль всестороннего сжатия  $B=158$ , модуль сдвига  $G=86$ , модуль Юнга  $E=218$  ГПа, коэффициент Пуассона  $\nu=0.27$ , температуру Дебая  $\Theta=581$  К; при комнатной температуре: удельные теплоемкости  $c_v=533$ ,  $c_p=534$  Дж/кг·К, теплопроводность  $\kappa=8.4$  Вт/м·К, температуропроводность  $\alpha=2.96 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Жариков Е. В., Осико В. В., Прохоров А. М., Щербаков И. А. Изв. АН СССР. Сер. физ., 1984, т. 48, № 7, с. 1330—1342.
- [2] Данилов А. А., Жариков Е. В., Заваирев Ю. Д. и др. Препринт ИОФАН № 160. М., 1987. 14 с.
- [3] Киталева В. Ф., Соболев Н. Н., Чистый И. Л. и др. ФТТ, 1980, т. 22, № 5, с. 1379—1383.

- [4] Чистый И. Л., Китаева В. Ф., Осико В. В. и др. ФТТ, 1975, т. 17, № 5, с. 1434—1441.
- [5] Чистый И. Л. Труды ФИАН, 1977, т. 102, с. 129—201.
- [6] Жариков Е. В., Китаева В. Ф., Осико В. В. и др. Препринт ФИАН № 200. М., 1983. 10 с.
- [7] Krupke W. F., Shinn M. D., Morion J. E. et al. J. Opt. Soc. Am., 1986, vol. B3, N 1, p. 102—114.
- [8] Kitaeva V. F., Zharikov E. V., Chisty I. L. Phys. Stat. Sol. (a), 1985, vol. 92, p. 475—488.
- [9] Krzesinska M., Szuta-Buchacz T. Phys. Stat. Sol. (a), 1984, vol. 82, p. 421—424.
- [10] Антохов А. Н., Кутуков В. И., Антонов А. В., Иванов И. А. ФТТ, 1985, т. 27, № 4, с. 1224—1226.
- [11] Ершова Л. М., Жариков Е. В., Китаева В. Ф. и др. Краткие сообщения по физике, 1984, № 7, с. 48—51.
- [12] Жариков Е. В., Китаева В. Ф., Кошелева И. В. и др. КСФ, 1985, № 1, с. 23—26.
- [13] Жариков Е. В., Китаева В. Ф., Осико В. В. и др. ФТТ, 1984, т. 26, № 5, с. 1517—1519.
- [14] Lynch R. T., Dillon J. F., van Uitert L. G. J. Appl. Phys., 1973, vol. 44, N 1, p. 225—229.

Физический институт  
им. П. Н. Лебедева АН СССР  
Москва

Поступило в Редакцию  
8 июля 1988 г.

УДК 669.12'235'24'234 : 538.953,955

Физика твердого тела, том 31, в. 2, 1989  
Solid State Physics, vol. 31, № 2, 1989

## ГИГАНТСКОЕ МАГНИТНОЕ ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ В БЛИЗИ МАГНИТНОГО ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА 1-го РОДА В СПЛАВАХ НА ОСНОВЕ $\text{Fe}_{0.49}\text{Rh}_{0.51}$

К. Б. Власов, Е. А. Розенберг, А. В. Четвериков,  
Н. В. Баранов

К настоящему моменту хорошо известно магнитное последствие (МП) после «мгновенного» изменения магнитного поля  $H$ . Экспериментально и теоретически оно в основном изучено для намагниченности в ферромагнетиках [1]. В [2] нами начато исследование МП (также при изменении  $H$ ) для магнетиков в области гетерогенных (при которых меняется концентрация магнитных фаз) магнитных фазовых переходов 1-го рода (МФП-1) порядок—порядок. Такие переходы реализуются в них в отличие от ферромагнетиков не только по  $H$ , но и температуре  $T$ . Отсюда вытекает возможность наблюдения МП в таких объектах и по  $T$ . До сих пор подобный эффект не был обнаружен. Это связано с тем, что в ферромагнетиках МФП по температуре переход 2-го рода (гомогенный и безистерезисный). В магнетиках же, обладающих МФП-1 по температуре, экспериментально реализуемое время  $t$  изменения этой температуры на  $\Delta T$  может превышать  $t_{\text{МП}}$  — характерную длительность МП. В работе сообщается об обнаружении подобного эффекта.

Исследовались поликристаллические сплавы  $(\text{Fe}_{0.965}\text{Ni}_{0.035})_{0.49}\text{Rh}_{0.51}$  и  $\text{Fe}_{0.49}(\text{Rh}_{0.92}\text{Pd}_{0.08})_{0.51}$  — далее сплавы 1 и 2. Как и базовый  $\text{Fe}_{0.49}\text{Rh}_{0.51}$ , они имеют ОЦК структуру типа CsCl, а с ростом  $T$  (при  $T=T_c$ ) в них возникает МФП-1 из антиферро- в ферромагнитное состояние (см. обзор [3]). Добавки 3d- и 4d-металлов уменьшают  $T_c$  [4]. В сплавах 1 и 2 измерялись деформации  $\lambda = (l_r - l_0)/l_0$  (где  $l_r$ ,  $l_0$  — длины образцов при температурах  $T$  и 77 К) по методике [2]. Значения  $\lambda$  определяют термическое расширение при квазистатическом изменении  $T$  и его последствие после измене-