

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ ГАДОЛИНИЙ-СКАНДИЙ-АЛЮМИНИЕВОГО ГРАНАТА МЕТОДОМ МАНДЕЛЬШТАМ-БРИЛЛЮЭНОВСКОГО РАССЕЙНИЯ СВЕТА

Е.В. Жариков, А.И. Загуменный, В.Ф. Китаева,
Г.Б. Лутц, Д.Б. Терсков

Методом мандельштам-бриллюэновского рассеяния света исследованы упругие и фотоупругие свойства гадолиний-скандий-алюминиевого граната.

В настоящей работе сообщается о результатах исследования мандельштам-бриллюэновского рассеяния в кристалле гадолиний-скандий-алюминиевого граната (ГСАГ). Работа является частью наших систематических исследований упругих свойств кристаллов со структурой граната (см. обзоры /1, 2/).

ГСАГ является типичным представителем семейства редкоземельных скандиевых гранатов /3/ и находит все возрастающее применение в квантовой электронике в качестве матрицы лазерных кристаллов /4/. Специфика ГСАГ определяется прежде всего тем, что тетраэдрические позиции структуры этого соединения заняты ионами алюминия, и он является вторым после иттрий-алюминиевого граната /5/ алюмосодержащим гранатом, исследованным методом мандельштам-бриллюэновского рассеяния света (МБР).

В работе исследовались два образца ГСАГ, выращенного из расплава конгруэнтно плавящегося состава $Gd_{2,88}Sc_{1,89}Al_{3,23}O_{12}$ /7/, имевших форму параллелепипедов размером $9,5 \times 10,5 \times 17$ мм³ и $5 \times 9,5 \times 12$ мм³. В одном образце четыре грани были перпендикулярны оси второго порядка, а две грани — оси четвертого порядка. В другом образце все грани были перпендикулярны осям четвертого порядка. Также был исследован ГСАГ, легированный хромом — $Gd_{2,88}Sc_{1,89}Cr_{0,02}Al_{3,23}O_{12}$. Параметр решетки ГСАГ $a = 12,382$ Å, плотность $5,723$ г/см³. Регистрировались 90°-градусные спектры МБР на фононах, распространяющихся вдоль направлений [100], [110] и $[11\sqrt{2}]$. Исследование упругих свойств ГСАГ методом МБР проводилось на установке, подробно описанной в /8/.

Из смещения МБ компонент по известным соотношениям /5/ определялись упругие постоянные граната C_{11} , C_{12} и C_{44} , а также рассчитывались произведения упругих постоянных на молярный объем C_{11}^M , C_{12}^M и C_{44}^M ($C_{ij}^M = C_{ij} V_M$, где V_M — молярный объем) /2/. Погрешность определения C_{11} , C_{44} составляла 1%, а для C_{12} — 5%.

Полученные значения упругих постоянных и их комбинаций для ГСАГ приведены в табл. 1, 2. Здесь же для сравнения приведены данные для алюминиевых и галлиевых гранатов.

Из интенсивностей МБ компонент ГСАГ и кварца было определено абсолютное значение фотоупругой постоянной $|P_{44}| = 0,07$ для нелегированного ГСАГ, что равно значению P_{44} для иттрий-алюминиевого граната /9/. Точность определения $|P_{44}|$ составляла 25-30 %.

Т а б л и ц а 1

Упругие свойства алюминиевых и галлиевых гранатов

Состав	Упругие постоянные, ГПа			$\frac{C_{11}-C_{12}}{2C_{44}}$	$\frac{C_{12}}{C_{44}}$	Источник
	C_{11}	C_{12}	C_{44}			
$Gd_{2,88}Sc_{1,89}Al_{3,23}O_{12}$	299	101	89	1,11	1,13	Наст. работа
$Gd_{2,88}Sc_{1,89}Cr_{0,02}Al_{3,23}O_{12}$	303	105	87	1,14	1,20	Наст. работа
$Y_3Al_2Al_3O_{12}$	333	114	114	0,96	1,00	/5/
$Gd_3Sc_{1,6}Ga_{3,4}O_{12}$	275	104	81	1,06	1,29	/6/

Как видно из табл. 1, ГСАГ упруго анизотропен (параметр анизотропии $(C_{11}-C_{12})/2C_{44} \neq 1$). Силовое взаимодействие атомов решетки существенно нецентральное (параметр Коши C_{12}/C_{44} значительно отличается от 1). Как и ожидалось, введение легирующей добавки Cr^{3+} в ГСАГ не приводит к заметному изменению упругих свойств. Из данных табл. 1 следует, что значения упругих постоянных ГСАГ ближе к упругим постоянным гадолиний-скандий-галлиевого граната, чем иттрий-алюминиевого.

В работе /2/ было показано, что по упругим свойствам гранаты распадаются на несколько групп — алюминиевые, галлиевые, железистые и другие, различающихся, прежде всего, по виду катионов, входящих в тетраэдрическую подрешетку. В соответствии с этим исследованные гранаты относятся к группе алюминиевых гранатов.

В табл. 2 приведены значения C_{11}^M , C_{12}^M и C_{44}^M для ГСАГ, а также значения этих величин для галлиевых и алюминиевых гранатов, которые, согласно /2/, являются инвариантами для этих групп гранатов. Из табл. 2 видно, что значения C_{11}^M и C_{12}^M для ГСАГ в пределах точности измерения совпадают с соответствующими инвариантами для алюминиевых гранатов. В то же время значение C_{44}^M для ГСАГ существенно отличается от приведенного в /2/ инварианта для алюминиевых гранатов.

Т а б л и ц а 2
Произведение упругих постоянных на молярный
объем алюминиевых и галлиевых гранатов

Состав	Параметр решетки, Å	Произведение упругих постоянных на молярный объем, $10^5 \text{ Па} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{моль}^{-1}$			Источник
		C_{11}^M	C_{12}^M	C_{44}^M	
$\text{Gd}_{2,88}\text{Sc}_{1,89}\text{Al}_{3,23}\text{O}_{12}$	12,382	427	144	126	Наст. работа
$\text{Gd}_{2,88}\text{Sc}_{1,89}\text{Al}_{3,23}\text{O}_{12}\text{Cr}_{0,02}$	12,382	433	150	124	Наст. работа
Алюминиевые гранаты	12,01÷12,06	435±2	148±3	149±2	/2/
Галлиевые гранаты	12,3÷12,6	406±5	160±7	124±6	/2/

По-видимому, это связано с тем, что инвариант для C_{44} , аналогично тому, как это было продемонстрировано в /10/ для модуля всестороннего сжатия и модуля сдвига, надо искать в более общем виде: $(C_{44}^M)^* = C_{44} V_M^\alpha$, где $\alpha \neq 1$.

Авторы благодарят В.Ю. Федоровича за полезное обсуждение.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Китаева В.Ф. и др. Препринт ФИАН № 146, М., 1984; Kitaeva V.F., Zh'arikov E.V., Chisty I.L. Phys. Stat. Sol. (a), **92**, 475 (1985).
2. Жариков Е.В. и др. Препринт ФИАН № 4, М., 1990.
3. Жариков Е.В. Редкоземельные скандиевые гранаты: вопросы материаловедения. Труды ИОФАН, **26**, 50 (1990).
4. Данилов А.А. и др. Квантовая электроника, **16**, 474 (1989).
5. Чистый И.Л. и др. ФТТ, **17**, 1434 (1975).
6. Жариков Е.В. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 1, 23 (1985).
7. Жариков Е.В. и др. ДАН СССР, **308**, 1166 (1989).
8. Китаева В.Ф. и др. ФТТ, **22**, 1379 (1980).
9. Dixon R.T. J. Appl. Phys., **38**, 5149 (1967).
10. Жариков Е.В. и др. Препринт ФИАН № 13, М., 1990.

Поступила в редакцию 16 апреля 1991 г.