

СПЕКТРЫ МОЛЕКУЛЯРНОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА
В КРИСТАЛЛАХ Y_2O_3 И Sc_2O_3

В. И. Александров, В. Ф. Китаева, В. В. Осипко,
Н. Н. Соболев, В. М. Татаринцев, И. Л. Чистый

УДК 535.36

Исследованы спектры Манделъштама-Бриллюэна в кубических кристаллах Y_2O_3 и Sc_2O_3 . Установлено, что основной вклад в рассеяние света в $V\Sigma$ -спектрах этих кристаллов дают поперечные фононы. Из спектров определены упругие и некоторые фотоупругие константы кристаллов.

Кристаллы Y_2O_3 и Sc_2O_3 относятся к классу симметрии $m\bar{3}$ и имеют кубическую объемноцентрированную решетку. Окисел Y_2O_3 является составной частью кристаллов гранатов, а с окислами ZnO_2 и HfO_2 Y_2O_3 образует твердые растворы. В работах [1,2] было показано, что особенностью $V\Sigma$ -спектров*) гранатов и твердых растворов является чрезвычайно малая интенсивность продольных (L) компонент Манделъштама-Бриллюэна (МБ) по сравнению с поперечными (Т) компонентами МБ: для гранатов - при любых ориентациях кристалла, для твердых растворов - при некоторых определенных ориентациях. То есть и в гранатах, и в твердых растворах при освещении их светом, поляризованным перпендикулярно плоскости рассеяния, в процессе рассеяния участвуют в основном поперечные фононы. Представляло определенный интерес выяснить особенности молекулярного рассеяния света и в кристалле Y_2O_3 . Окисел Sc_2O_3 входит в состав сложных гранатов типа $Gd_2O_3Sc_2O_32Al_2O_3$ и, по-видимому, может также, как и окисел Y_2O_3 , образовывать твердые растворы с окислами ZnO_2 и HfO_2 . Интересно было изучить акустические и фотоупругие свойства кристалла Sc_2O_3 и сравнить их со свойствами кристалла Y_2O_3 .

*) Первый индекс характеризует направление поляризации падающего света, второй - рассеянного: V - перпендикулярно плоскости рассеяния, H - параллельно, Σ - свет неполяризован.

Исследуемые образцы кристаллов Y_2O_3 и Sc_2O_3 имели форму параллелепипедов, ориентированных тремя взаимно перпендикулярными гранями в направлениях $[110]$, $[\bar{1}10]$ и $[001]$. Размеры ребер параллелепипедов составляли от 0,6 до 3 мм. Точность ориентировки граней составляла $3\pm 5^\circ$. Кристаллы Sc_2O_3 были выращены в ФИАНе методом направленной кристаллизации из расплава на воздухе.

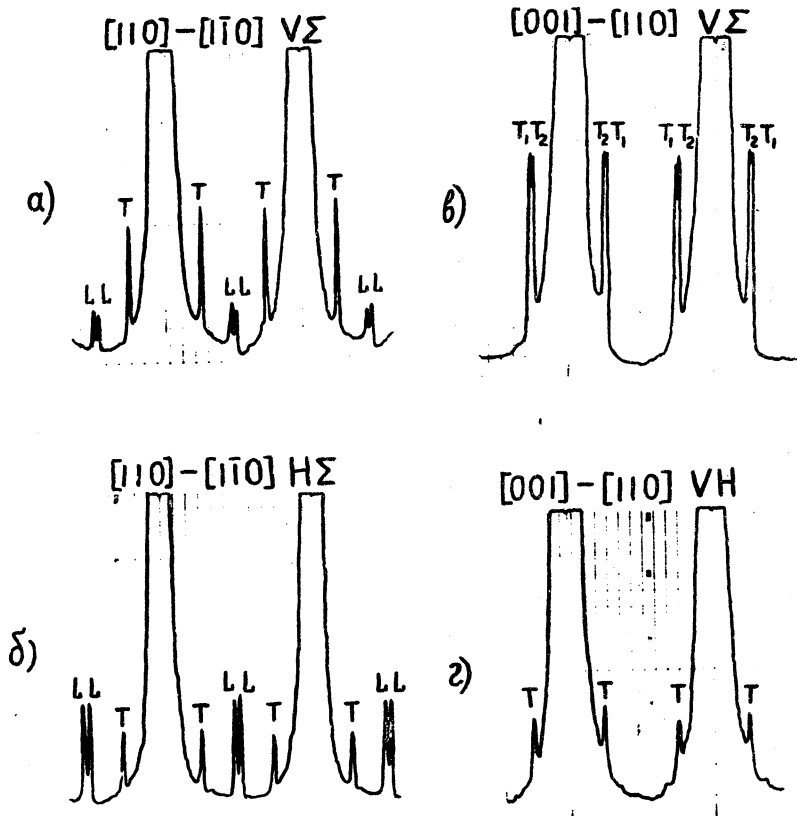
Кристалл Y_2O_3 был выращен в ГИРЕЦМЕТе. ^{жк)}

Эксперимент. Исследование кристаллов Y_2O_3 и Sc_2O_3 проводилось на установке с фотоэлектрической регистрацией спектров, описанной в /1/. В качестве источника возбуждения рассеяния использовалась линия $\lambda = 5145 \text{ \AA}$ Ag^+ лазера. Для ослабления сильного паразитного рассеяния на несмещенной частоте в кристалле Sc_2O_3 использовался J_2 - фильтр /3/. Типичные спектры молекулярного рассеяния света в кристаллах Y_2O_3 и Sc_2O_3 приведены на рис. I и 2. В том случае, когда рассеяние света происходит на гиперзвуковой волне, распространяющейся в направлении $[100]$ (падающий и рассеянный свет направлены соответственно вдоль $[110]$ и $[\bar{1}10]$, случай I), в спектре рассеяния наблюдаются как продольные (L), так и поперечные (T) компоненты. В $\nu\Sigma$ - спектре свет рассеивается преимущественно T фононами, в $\nu\Gamma$ - спектре - примерно в равной степени T- и L-фононами. В случае, когда свет рассеивается на гиперзвуковой волне, распространяющейся в направлении $[\bar{1}1\sqrt{2}]$ (направление падающего света $[001]$, а рассеянного $[\bar{1}10]$, случай 2), наблюдаются только T-компоненты. L-компоненты не наблюдаются ни в $\nu\Sigma$, ни в $\nu\Gamma$ -спектрах (см. рис. Iв,г).

В кристалле Sc_2O_3 для случая I не удалось записать $\nu\Sigma$ -спектр даже с помощью J_2 -фильтра. Распределение интенсивности в $\nu\Sigma$ -спектре (рис. 2а) подобно распределению интенсивности в $\nu\Gamma$ -спектре кристалла Y_2O_3 (рис. Iб). Спектры рис. 2б, в показывают, что в случае 2 рассеяние света в Sc_2O_3 , как и в Y_2O_3 , происходит практически только на поперечных фононах; интенсивность L-компонент ничтожно мала (на рис. 2в присутствует только стоксова L-компонента; антистоксова L-компонента поглощена J_2 -фильтром).

^{жк)}

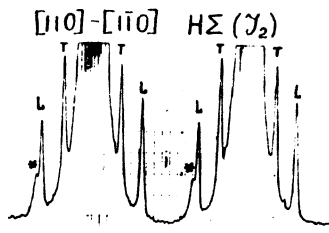
Считаем своим долгом выразить благодарность А. И. Пустыльнику за представление нам для исследований кристалла Y_2O_3 .



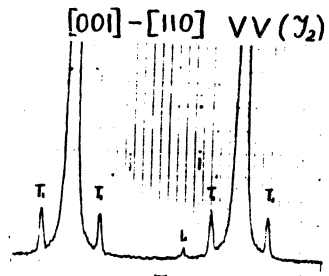
Р и с.1. Спектры молекулярного рассеяния света в кристалле Y_2O_3 (толщина эталона Фабри-Перо - 2 мм). L - продольные и T - поперечные компоненты МБ

Из спектров мандельштам-бриллюэновского рассеяния были определены относительные интенсивности компонент МБ и скорости звуковых волн. Полученные значения приведены в таблице I.

Из таблицы I видно, что скорость продольных звуковых волн в кристалле Y_2O_3 составляет $\sim 6,70 + 6,90$ км/сек, поперечных -

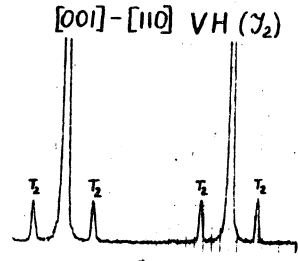


α



δ

Р и с.2. Спектры молекулярного рассеяния света в кристалле Sc_2O_3 (толщина эталона Фабри-Перо - 1 мм). L и T - продольные и поперечные компоненты МБ. Спектры записаны с J_2 -фильтром. Его параметры: длина кванты 150 мм, температура $\sim 70^\circ C$. Звездочкой помечена паразитная компонента от второй системы колец эталона Фабри-Перо



ε

Таблица I

Скорости гиперзвука и относительные интенсивности компонент МБ в Y_2O_3 и Sc_2O_3

Направление и поляризация звука	Y_2O_3					Sc_2O_3				
	Скорость звука, км/сек	Интенсивность компонент				Скорость звука, км/сек	Интенсивность компонент			
		VΣ	HΣ	VH	VΣ		HΣ	VH	VV	
[100]	L	6,75±0,02	35	180	-	-	8,66±0,02	92	-	-
	T	3,71±0,03	100	100	-	-	4,87±0,02	100	-	-
[110]	qT ₁	3,43±0,02	-	-	-	100	4,46±0,02	-	-	100
	T ₂	3,69±0,01	-	-	40	100	4,68±0,05	-	100	-
	qL	6,91 [*]	-	-	-	-	8,98±0,03	-	10	-

* Значение скорости рассчитано из инварианта /5/.

3,40+3,70 км/сек. В кристалле Sc_2O_3 скорости звуковых волн значительно выше: скорость продольных волн - 8,60+9,00 км/сек, а поперечных 4,70+4,90 км/сек. Скорости гиперзвука использовались для расчета упругих констант кристаллов, а относительные интенсивности компонент МБ - для расчета отношений фотоупругих констант (расчет проводился с помощью соотношений, приведенных в /1,5/). Для кристалла Y_2O_3 , спектры которого записаны без J_2 -фильтра, значения фотоупругих констант более надежны. Для кристалла Y_2O_3 было измерено также абсолютное значение фотоупругой константы P_{44} путем сравнения спектров МБ исследуемого и известного кристаллов /1/. Результаты расчета упругих и фотоупругих констант представлены в табл. 2

Таблица 2

Упругие и фотоупругие константы Y_2O_3 и Sc_2O_3

Кристаллы	Плотность $\rho/\text{см}^3$	Показатель преломления ($\lambda 5145\text{\AA}$)	Упругие константы $\times 10^{-12}$ дин/см ²			Фотоупругие константы		
			c_{11}	c_{12}	c_{44}	P_{12}	P_{44}	$P_{11}-P_{13}$
Sc_2O_3	3,87	2,01	2,90	1,51	0,89		0,1 ^{ж)}	0,245
Y_2O_3	4,98	1,944	2,27	1,38	0,686	0,057	0,076	0,260

Обсуждение результатов. С помощью упругих констант были определены параметры упругой анизотропии $(c_{11}-c_{12})/2c_{44}$, параметр Коши (c_{11}/c_{12}) и температура Дебая $\theta_{\text{Д}}^{\text{жж)}}$ исследованных кристаллов. Они равны соответственно 0,65, 2 и 460°K для Y_2O_3 и 0,78, 1,7 и 670°K для Sc_2O_3 . Полученные данные свидетельствуют о том, что упругая анизотропия в кристалле Y_2O_3 выше, чем в Sc_2O_3 , а симметрия межатомного взаимодействия в обоих кристаллах далека от центральной. $\theta(\text{Sc}_2\text{O}_3)$ намного превышает $\theta(\text{Y}_2\text{O}_3)$, что указывает на бо-

ж) Величина фотоупругой константы P_{44} кристалла Sc_2O_3 принята равной 0,1, а значение $P_{11}-P_{13}$ выражено в единицах P_{44} .

жж) Расчет температур Дебая по упругим константам проведен по методу Де-Лоня /7/.

лее высокую энергию силового взаимодействия в кристаллической решетке Sc_2O_3 .

Из полученных фотоупругих констант был определен параметр фотоупругой анизотропии $|(p_{11}-p_{13})/2p_{44}|$. Он равен 1,7 для Y_2O_3 и 1,2 для Sc_2O_3 , т.е. фотоупругая анизотропия в Y_2O_3 выше, чем в Sc_2O_3 .

Проведенные исследования показывают, что основной вклад в рассеяние света в $\nu\Sigma$ -спектрах кристалла Y_2O_3 дают поперечные фононы. Подобная ситуация имеет место в кристалле сапфира ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) и в кристалле иттрий-алюминиевого граната ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$), куда окислы Al_2O_3 и Y_2O_3 входят как составные элементы. То есть способность рассеивать свет преимущественно на поперечных фононах в $\nu\Sigma$ -спектрах, свойственная окислам Al_2O_3 и Y_2O_3 , сохраняется в сложном соединении, образованном этими окислами.

Поступила в редакцию
21 ноября 1975 г.

Л и т е р а т у р а

1. И. Л. Чистый, В. В. Китаева, Н. Н. Соболев, Б. П. Стариков, М. И. Тимошечкин. ФТТ, 17, № 5, 1434 (1975).
2. В. И. Александров, В. Ф. Китаева, В. В. Осико, Н. Н. Соболев, В. М. Татаринцев, И. Л. Чистый. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 3, 21 (1975).
3. I. L. Chisty, V. F. Kitaeva, N. N. Sobolev. IEEE J. Quant. El., QE-10, N 12, 38 (1974).
4. Y. Nigara. Japanese J. Appl. Opt., 7, N 4, 404 (1968).
5. В. П. Александров, В. Ф. Китаева, И. В. Козлов, В. В. Осико, Н. Н. Соболев, В. М. Татаринцев, И. Л. Чистый. Кристаллография, 18, 1085 (1973).
6. P. N. Borchers. Optica Acta, 20, N 2, 147 (1973).
7. G. A. Alers. Physical Acoustics, v. IIIB (ed. by W.P. Mason), Academic Press, N.Y.-London, 1965. Имеется перевод: "Физическая акустика", т.ЗБ перев. с англ. под ред. И. Л. Фабелинского, "Мир", М., 1968 г., стр. 13.