

ЗАВИСИМОСТЬ СВОЙСТВ МОНОКРИСТАЛЛА ТВЕРДОГО РАСТВОРА
 $ZrO_2 - Y_2O_3$ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ Y_2O_3

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

УДК 0:535.36

Методом манделъштат-бриллюэновского рассеяния света исследована зависимость упругих и фотоупругих свойств монокристаллов твердого раствора $ZrO_2 - Y_2O_3$ от концентрации окиси иттрия в диапазоне изменения молярных концентраций Y_2O_3 от 10% до 20%. Найдена концентрация стабилизирующей примеси, соответствующая максимальной структурной упорядоченности монокристалла твердого раствора $ZrO_2 - Y_2O_3$.

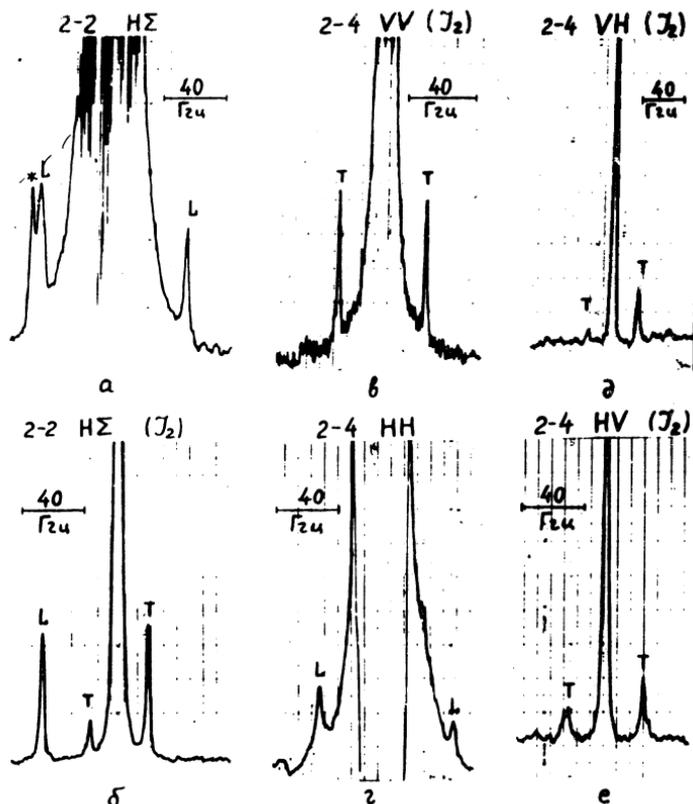
В настоящей работе методом манделъштат-бриллюэновского рассеяния света исследовалась зависимость упругих и фотоупругих свойств монокристаллов $ZrO_2 - Y_2O_3$ от концентрации окиси иттрия в диапазоне изменения молярных концентраций Y_2O_3 от 10 до 20%.

Исследования проводились на экспериментальной установке, подробно описанной нами в работе /1/.

Источником возбуждения рассеянного света являлось излучение Ar^+ лазера на длине волны $\lambda = 5145\text{Å}$. Спектр рассеянного света исследовался с помощью эталона Фабри-Перо, сканируемого давлением, и регистрировался фотоэлектрически с применением техники счета фотонов /2/. В некоторых образцах $ZrO_2 - Y_2O_3$ спектры М.Б. рассеяния сильно маскировались паразитным рассеянием на дефектах кристаллической структуры в объеме образцов, и их оказалось возможным получить лишь с применением J_2 -фильтра по методике, описанной в работе /1/.

Исследуемые образцы монокристаллов $ZrO_2 - Y_2O_3$ вырезались в форме параллелепипедов, три взаимно перпендикулярные ребра которых были ориентированы вдоль осей 2-го и 4-го порядка. Длина ребер составляла 3+8 мм. Точность ориентировки граней 3° .

Типичные спектрограммы М. Б. рассеяния света приведены на рис. 1 и 2. Рис. 1 относится к кристаллу $0,9 \text{ ZrO}_2 - 0,1 \text{ Y}_2\text{O}_3$. В этом кристалле было много объемных дефектов, и паразитное рассеяние



Р и с. 1. Спектрограммы М. Б. рассеяния света в кристалле $0,9 \text{ ZrO}_2 - 0,1 \text{ Y}_2\text{O}_3$

на несмещенной частоте полностью маскировало продольные (L) и поперечные (T) компоненты в $V\Sigma$ -спектре^{*)} ориентации 2-2 (па-

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

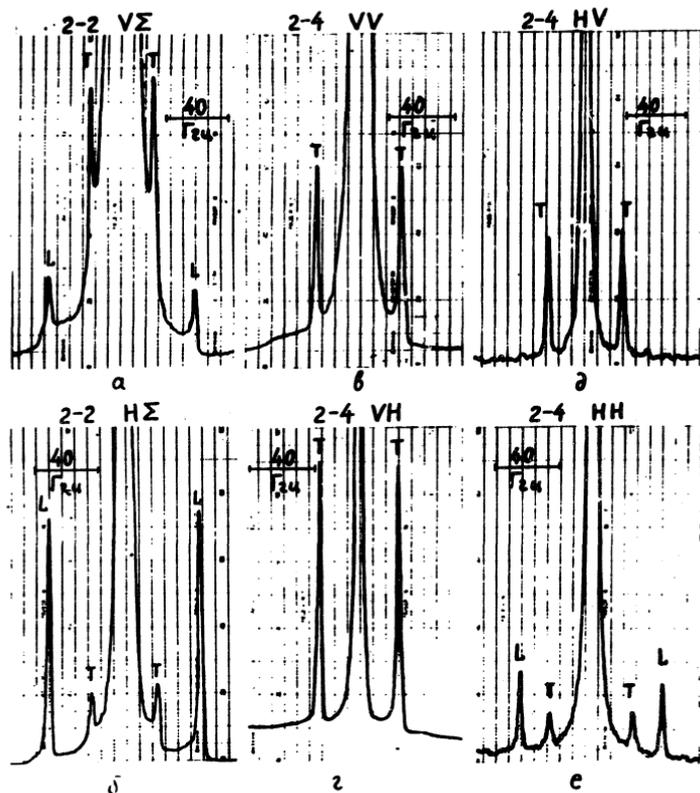
дакий и рассеянный свет распространяются по взаимно перпендикулярным осям 2-го порядка). В ориентации 2-2 без J_2 -фильтра L-компоненты наблюдались только в HE-спектре (рис.1а), в ориентации 2-4 - HH-спектре (рис.1г). С J_2 -фильтром наблюдались как L-, так и T-компоненты (рис.1б). Однако спектры, наблюдаемые с J_2 -фильтром, асимметричны. Причина асимметрии спектра рассеянного света, прошедшего J_2 -ячейку, заключается в наличии дополнительных линий поглощения J_2 , частота которых близка к частотам спектральных компонент М.Б. рассеяния света [3]. Необходимо отметить, что J_2 -фильтр в спектрах М.Б. искажает только распределение интенсивностей, но никак не сказывается на положении максимумов компонент, поскольку ширина компонент М. Б. при возбуждении рассеяния излучением одночастотного лазера много меньше ширины линий поглощения J_2 .

На рис. 2 приведены спектрограммы для кристалла $0,8 \text{ ZrO}_2 - 0,2 \text{ Y}_2\text{O}_3$. Этот кристалл был более высокого оптического качества, и его спектры записаны без J_2 -фильтра. Анализ полученных спектрограмм показывает, что характерным для спектров молекулярного рассеяния света в монокристаллах $\text{ZrO}_2 - \text{Y}_2\text{O}_3$ является сравнительно резкая зависимость характера спектра от направления звуковой волны, на которой происходит рассеяние света.

В случае ориентации 2-2 (рис.2а,б) свет рассеивает фононы, распространяющиеся вдоль оси 4-го порядка. В этом случае наблюдаются как продольные, так и поперечные компоненты М.Б., независимо от того, как поляризован возбуждающий свет - перпендикулярно плоскости рассеяния или в плоскости рассеяния, но характер спектра существенным образом зависит от поляризации падающего света: в случае V Σ -спектра поперечные фононы рассеивают свет интенсивнее продольных, а в случае HE-спектра - наоборот.

В случае ориентации 2-4 свет рассеивает фононы, распространяющиеся в плоскости симметрии, проходящей через диагонали противоположных граней кубической решетки кристалла. В этом случае (рис.2в,г,д) свет рассеивается преимущественно поперечными фононами. Продольные компоненты совсем не наблюдаются, если возбуждающий свет поляризован перпендикулярно плоскости рассеяния. Вклад продольных фононов в рассеяние заметен только в HH-спектрах (рис.2е).

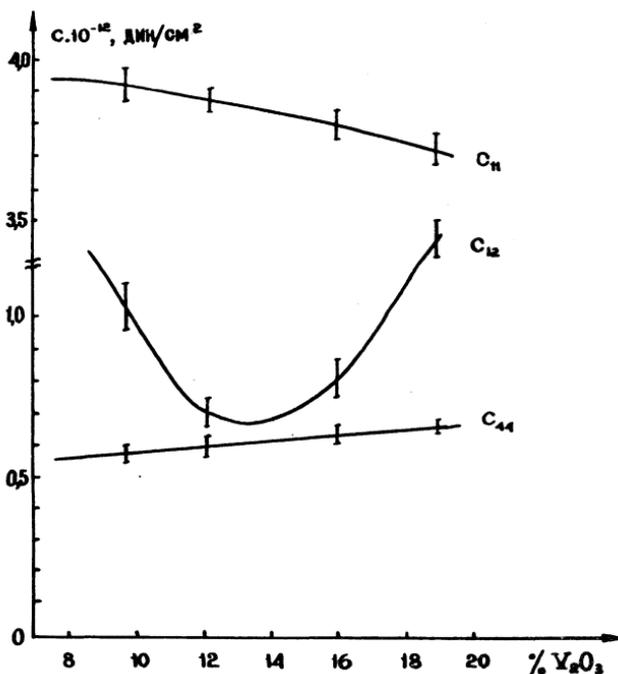
Полученные спектрограммы использовались для определения смещения компонент М.Б. и их относительных интенсивностей. Из смещения компонент М.Б. определялись скорости распространения гиперзвука в твердых растворах $ZrO_2 - Y_2O_3$. Необходимые для рас-



Р и с. 2. Спектрограммы М.Б. рассеяния света в кристалле $0,8 ZrO_2 - 0,2 Y_2O_3$

чета скоростей показатели преломления кристаллов определялись по методу призмы. С увеличением концентрации Y_2O_3 от 10% до 20% скорость продольной звуковой волны, распространяющейся вдоль оси 4-го порядка (ориентация 2-2) монотонно убывает от 8,15 до 8,04 км/сек, а скорость поперечной волны монотонно увеличивает-

ся от 3,20 до 3,50 км/сек. В ориентации 4-2 скорости поперечных и продольных звуковых волн изменяются с увеличением концентрации Y_2O_3 немонотонно. Наибольшие изменения претерпевает скорости чисто поперечной звуковой волны T_2 .



Р и с. 3. Зависимость упругих констант монокристаллов $ZrO_2 - Y_2O_3$ от молярной концентрации Y_2O_3

С ростом концентрации Y_2O_3 существенно изменяются и относительные интенсивности компонент: продольные и поперечные компоненты все более отличаются друг от друга по интенсивности.

Скорости продольных и поперечных звуковых волн и относительные интенсивности компонент М.Б. использовались для расчета упругих и относительных фотоупругих констант кристаллов /4/.

Результаты расчета относительных фотоупругих констант приведены в таблице. В этой же таблице приведены также значения плотности ρ , показателя преломления \bar{n} , а также параметры упру-

гой и фотоупругой анизотропии исследованных кристаллов. Рис. 3 иллюстрирует зависимость упругих констант c_{11} , c_{12} и c_{44} монокристаллов $ZrO_2 - Y_2O_3$ от концентрации Y_2O_3 .

Таблица I

Упругие и фотоупругие свойства монокристаллов $ZrO_2 - Y_2O_3$.

Содерж Y_2O_3 , мол.%	ρ , г/см ³	Упругая анизотро- пия $\frac{c_{11}-c_{12}}{2c_{44}}$	n	Фотоупругие константы			Анизо- тропия $\frac{P_{11}-P_{12}}{2P_{44}}$
				P_{11}	P_{12}	P_{44} *)	
10	5,95	2,401	2,193	-	-	-	1,80
12	5,89	2,559	2,183	0,285	-0,115	0,100	2,00
16,5	5,81	2,347	2,177	-	-	-	2,63
20	5,76	2,001	2,174	0,470	-0,101	0,100	2,85

*) Величина константы P_{44} условно принята за 0,100

Анализ полученных результатов показывает, что:

1. В твердых растворах $ZrO_2 - Y_2O_3$ имеются направления возбуждающего и рассеянного света, для которых продольные волны практически не дают вклада в рассеянный свет. Отсутствие продольных компонент М.Б. в $\nu\bar{\Sigma}$ -спектре рассеянного света наблюдалось ранее в тригональных кристаллах сапфира /5/. ниобата лития /6/, а позже в кубическом монокристалле твердого раствора $HfO_2 - Y_2O_3$ /7/ и качественно объясняется в работе /5/. По-видимому, это объяснение носит общий характер, и во всех тех случаях, когда продольные волны не рассеивают свет, создаваемые продольной волной деформации чистого сдвига и всестороннего сжатия взаимно компенсируют возникающие при этом изменения диэлектрической проницаемости.

2. Скорости продольных и поперечных звуковых волн в твердых растворах $ZrO_2 - Y_2O_3$ существенным образом зависят от направления их распространения, т.е. монокристаллы $ZrO_2 - Y_2O_3$ сильно анизотропны для скорости звука.

3. Константы c_{11} и c_{44} (см.рис.3) монотонно меняются с концентрацией примеси Y_2O_3 , а константа c_{12} - немонотонно. Наблю-

даемый характер зависимости упругих констант от концентрации Y_2O_3 показывает, что параметр Коши c_{12}/c_{44} становится $\sim I$ при концентрации $Y_2O_3 \sim 14\%$, т.е. при этой концентрации силы взаимодействия между ионами кристалла становятся центральными, а сам кристалл характеризуется максимальной структурной упорядоченностью.

4. Упругая анизотропия этих кристаллов весьма значительна, и в зависимости от концентрации Y_2O_3 ее величина колеблется в пределах $2+2,6$. Фотоупругая анизотропия этих кристаллов, как следует из таблицы, также велика. Она увеличивается с ростом концентрации от $I,80$ до $2,85$.

Получила в редакцию
13 декабря 1974 года.

Л и т е р а т у р а

1. I. L. Chisty, V. F. Kitaeva, N. N. Sobolev. *IEEE J. Quant. Electr.*, QE-10, №12, 38 (1974).
2. И. М. Арефьев, В. А. Гладкий, В. А. Станков. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 5, 57 (1972).
3. V. T. Love. *Phys. Rev. Letts.*, 31, 822 (1973).
4. И. Л. Фабелинский. Молекулярное рассеяние света, "Наука", 1965 г.
5. И. Л. Чистый, В. Ф. Китаева, Н. Н. Соболев, В. П. Бахар. *ЖЭТФ*, 63, в.4 (10), 1477 (1972).
6. З. М. Хашхожев, В. В. Леманов, Р. В. Писарев. *ФТТ*, 12, 128 (1970); *Изв. АН СССР, сер. физ.*, 35, 987 (1971).
7. В. И. Александров, В. Ф. Китаева, И. В. Козлов, В. В. Осико, Н. Н. Соболев, В. М. Татаринцев, И. Л. Чистый. *Кристаллография*, 18, 1085 (1973).