

## УПРУГИЕ СВОЙСТВА САМАРИЕВОГО ФЕРРИТА-ГРАНАТА

© О.П.Квашина, Г.М.Квашин, Т.П.Сорокина

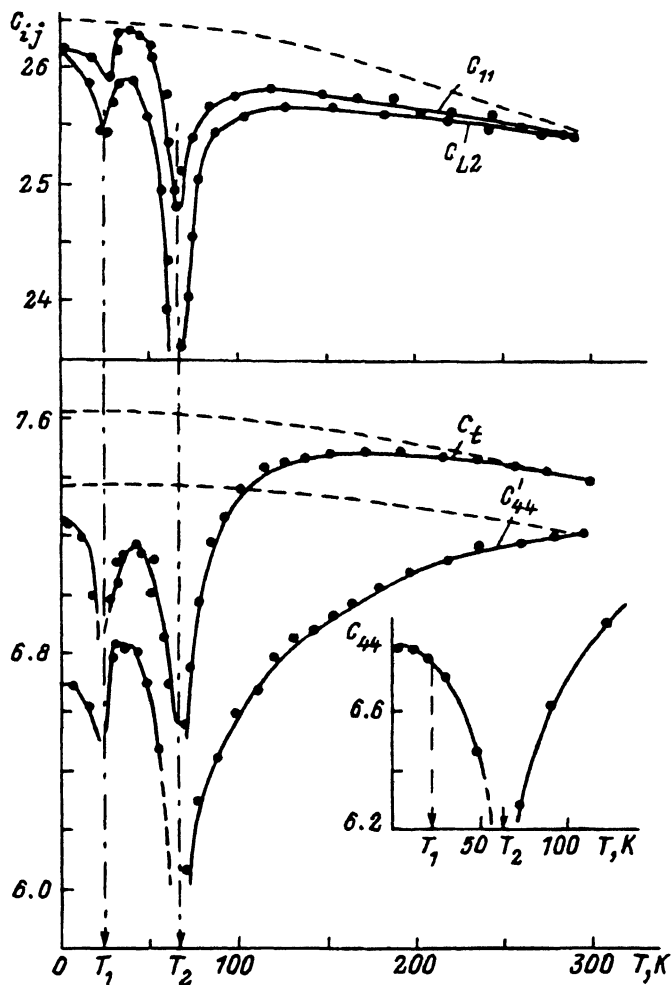
Красноярский государственный аграрный университет,  
660049 Красноярск, Россия  
(Поступила в Редакцию 19 сентября 1995 г.  
В окончательной редакции 20 февраля 1996 г.)

В данной работе приводятся результаты экспериментального исследования упругих свойств самариевого феррита-граната  $\text{Sm}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  в области температур 4.2–300 К. При низких температурах в  $\text{Sm}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  были обнаружены два ориентационных фазовых перехода (ОФП): при  $T_1 \approx 18$  К (низкотемпературный) с изменением направления вектора намагниченности  $\mathbf{M}$  от угловой фазы  $\langle uvo \rangle$  к фазе [110]; и при  $T_2 \approx 65$  К с изменением направления  $\mathbf{M}$  изменяется от [110] к [111]. В соответствии с [1,2] переход при  $T = T_1$  является фазовым переходом второго рода, а при  $T = T_2$  — первого рода.

В работе [3] были проведены ультразвуковые исследования упругих свойств парамагнитных кристаллов в области кооперативного ян-теллеровского фазового перехода. В ней отмечалось, что из-за изменения симметрии кристаллической структуры в области перехода возникают деформации решетки, которые ведут к ее нестабильности. Наиболее сильное изменение испытывают упругие постоянные  $C_{44}$  и  $C_t = 1/2(C_{11} - C_{12})$ , ответственные за сдвиговые деформации  $e_{xy}$  и  $e_{xx} - e_{yy}$ .

Для кристаллов с магнитным упорядочением величина деформационных эффектов в области ян-теллеровского перехода определяется также и магнитной подсистемой и зависит от величины магнитоупругого взаимодействия. Данные об акустических исследованиях на подобных кристаллах в литературе отсутствуют.

На рисунке представлены зависимости  $C_{ij}(T)$  для  $\text{Sm}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ , рассчитанные из экспериментально измеренных температурных зависимостей скоростей распространения упругих волн:  $C_{11}$  рассчитана из скорости продольной волны с волновым вектором  $\mathbf{K} \parallel [100]$ ,  $C_{L2}$  — из скорости продольной волны с  $\mathbf{K} \parallel [110]$ ,  $C'_{44}$  — из скорости сдвиговой волны ( $\mathbf{K} \parallel [110]$ ) с вектором поляризации  $\mathbf{U} \parallel [001]$ ,  $C_{44}$  —  $\mathbf{K} \parallel [110]$ ,  $\mathbf{U} \parallel [011]$ ,  $C_t$  —  $\mathbf{K} \parallel [110]$ ,  $\mathbf{U} \parallel [1\bar{1}0]$ . Относительная точность измерения скоростей распространения упругих волн в используемом импульсно-фазовом методе [4] составляет 0.1%.



Температурные зависимости упругих постоянных  $C_{ij}$  ( $10^{10}$  N/m<sup>2</sup>)  $\text{Sm}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ . Штриховые линии — температурные зависимости упругих постоянных  $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ .

Если сравнить экспериментальные зависимости  $C_{ij}(T)$   $\text{Sm}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  с аналогичными для  $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  (см. рисунок), то можно выявить влияние редкоземельной подрешетки на упругость кристалла и ее температурный ход.

Как следует из рисунка, наибольшие изменения наблюдаются для констант  $C_t$  и  $C'_{44}$ . Так, при  $T = T_2$  уменьшения  $C_t$  и  $C'_{44}$  относительно штриховой линии достигают соответственно 14.5 и 21.6%. Два минимума на температурных зависимостях  $C_{ij}(T)$  соответствуют двум ОФП.

Растянutosть и «смягчение»  $C_t$  и, особенно,  $C'_{44}$  на всем исследуемом температурном интервале не могут быть связаны только с наличием ОФП, так как измерения спектров ЯМР на  $\text{Sm}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  показали, что переориентация вектора  $M$  происходит в интервале температур  $\Delta T \cong 1$  K [5]. По-видимому, такое поведение  $C_{ij}(T)$  может быть объяс-

нено усилением взаимодействия действия спиновых и упругих волн, вызванным неустойчивостью кристаллической решетки к сдвиговым деформациям  $\epsilon_{xy}$  и  $\epsilon_{xx} - \epsilon_{yy}$  вследствие кооперативного ян-теллеровского перехода.

При низких температурах  $\text{Sm}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  является высокомагнито-стрикционным магнетиком. Наличие больших спонтанных магнитоупругих деформаций и изменение направления  $\mathbf{M}$  приводят к искажениям кристаллической структуры [6]. В соответствии с работой [6] в области  $T_1 < T < T_2$ , где  $\mathbf{M} \parallel [110]$ , в  $\text{Sm}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  наблюдается ромбическое искажение симметрии, а при  $T < T_2$ , где  $\mathbf{M} \parallel [uvv]$ , симметрия становится моноклинной.

На вставке к рисунку показано изменение упругой константы  $C_{44}$  в области низких температур  $T$ . При  $T < 50$  К минимум на  $C_{44}$  при  $T = T_1$  не наблюдается. Различие в температурных зависимостях  $C'_{44}$  и  $C_{44}$ , по-видимому, обусловлено низкосимметричностью решетки. Для низкосимметричных кристаллов сдвиговые упругие моды  $\mathbf{K} \parallel [110]$ ,  $\mathbf{U} \parallel [001]$  и  $\mathbf{K} \parallel [100]$ ,  $\mathbf{U} \parallel [011]$  определяют различные упругие константы, имеющие неодинаковый магнитоупругий вклад. При  $T > T_2$  зависимости  $C_{44}(T)$  и  $C'_{44}(T)$  совпадают.

Измерения температурных зависимостей упругих констант в  $\text{Sm}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  показали, что минимум  $C_{ij}$  наблюдается при  $T_1 \approx 25$  К и  $T_2 \approx 72$  К. Эти значения температур на 7 К выше температур переориентации, полученных из измерения спектров ЯМР [5]. Значительное расхождение в величинах  $T_1$  и  $T_2$  можно объяснить причинами, предложенными в [6]. Анализ, проведенный в [7], показал, что в размагниченных образцах существуют напряжения в стенках доменной структуры, обусловленные магнито-стрикционными деформациями, что может привести к значительному гистерезису упругих свойств при ОФП. Так, для  $\text{Sm}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  в области  $T_2$  численные оценки дают интервал гистерезиса  $C_{ij} \Delta T \approx 10$  К. В экспериментальных измерениях, проведенных при нагревании образца, получено значение  $T_2$ , завышенное на 7 К по сравнению с данными работы [2].

Таким образом, измерения температурных зависимостей упругих постоянных  $\text{Sm}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  показали следующие особенности. Обнаружено уменьшение всех упругих постоянных в области ОФП ян-теллеровского типа. Выше  $T_2$  обнаружены значительные «смягчения» упругих постоянных  $C_{44}$  и  $C_{t_1}$ , растянутые на весь исследуемый температурный интервал (4.2–300 К).

### Список литературы

- [1] Звездин А.К., Матвеев В.М., Мухин А.А., Попов А.И. Редкоземельные ионы в магнитоупорядоченных кристаллах. М. (1985). 294 с.
- [2] Бабушкин Г.А., Бородин В.А., Дорошев В.Д., Звездин А.К., Левитин Р.З., Попов А.И. Письма в ЖЭТФ **53**, 1, 28 (1982).
- [3] Melcher R.L. In: Physical acoustics principles and method / Ed. W.P. Mason, R.N. Thurston. New York (1976). P. 1–77.
- [4] McSkimin H.J. J. Acoust. Soc. Am. **22**, 4, 413 (1950).
- [5] Бородин В.А., Дорошев В.Д., Клочан В.А., Ковтун Н.М., Титова А.Г. ФТТ **18**, 7, 1852 (1976).
- [6] Левитин Р.З., Маркосян А.С., Орлов В.Н. ФТТ **26**, 5, 1386 (1984).
- [7] Клочан В.А. ФТТ **20**, 11, 3386 (1978).