

электронного центра, по-видимому, играют комплексы  $\text{NH}_3$ . Специфика образования дефектов кристаллической решетки АГК обусловлена свойствами комплексного катиона  $\text{NH}_4^+$ .

### Список литературы

- [1] Луцкич Ч. Б., Витол И. К., Эланго М. А. // УФН. 1977. Т. 122. № 2. С. 223—251.
- [2] Vannotti L., Zeller H. R., Bachmann K., Känzig W. // Phys. Kondes. Materie. 1967. Bd 6. N 1. P. 51—94.
- [3] Кукетаев Т. А. // Изв. АН КазССР, сер. физ.-мат. 1984. № 6. С. 9—12.
- [4] Бактыбеков К. С., Кукетаев Т. А., Клим Л. М. // Тез. докл. IX Всес. совещ. по кинетике и механизму химических реакций на поверхности и в твердом теле. Алма-Ата, 1986. С. 46—47.
- [5] Berteit P., Kessler A., List T. // Z. Physik B. 1976. V. 24. N 1. P. 15—23.

Карагандинский государственный университет  
Караганда

Поступило в Редакцию  
5 июля 1988 г.  
В окончательной редакции  
30 ноября 1988 г.

УДК 537.6 : 539.32

Физика твердого тела, том 31, в. 6, 1989  
Solid State Physics, vol. 31, № 6, 1989

## ОСОБЕННОСТИ УПРУГОГО ПОВЕДЕНИЯ $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$ В ОБЛАСТИ ТЕМПЕРАТУР 4.2—300 К

Т. П. Сорокина, О. П. Квашнина, А. М. Капитонов

Феррит  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  известен как аномальный антиферромагнетик (АФМ): температура Нееля  $T=9\div 10$  К экспериментально установлена по пику теплоемкости [1], из результатов нейтронографических исследований [2], по температурной зависимости обратной восприимчивости [3]. Упомя-

Таблица 1

Скорости распространения упругих волн  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  феррита при температуре 300 К

Обозначение	Направление		Скорость распространения упругих волн, м/с
	распространения $k$	смещения $u$	
$v_1$	[111]	[111]	$7669 \pm 5$
$v_2$	[111]	$\perp$ [111]	$3527 \pm 3$
$v_3$	[110]	[110]	$7468 \pm 5$
$v_4$	[110]	[ $\bar{1}\bar{1}$ 0]	$3102 \pm 2$
$v_5$	[110]	[001]	$4270 \pm 3$
$v_6$	[100]	[100]	$6868 \pm 5$

Таблица 2

Упругие постоянные  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  феррита при температуре 300 К

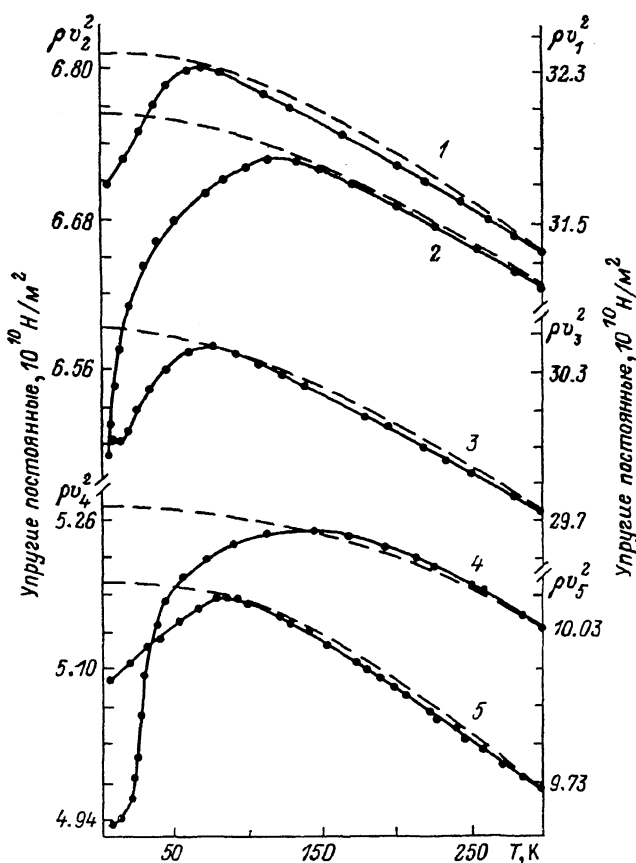
$ij$	$C_{ij}, 10^{10}$ Н/м <sup>2</sup>	
	наст. работа	[5]
11	25.14	26.5
12	14.88	15.7
44	9.72	13.5

нутые исследования указывают на существование в этом кристалле сложной неколлинеарной АФМ структуры, характеризующейся тетрагональной магнитной элементарной ячейкой, которая удвоена в направлении оси  $C$  по сравнению с кристаллографической.

Как известно, акустический метод, чувствительный к изменениям как структуры, так и физических, в частности магнитных, свойств, позволяет существенно расширить информацию о кристалле. В связи с этим ультразвуковым импульсно-фазовым методом [4] на частоте 20 МГц исследованы температурные зависимости скоростей распространения продольных и поперечных упругих волн в монокристалле цинкового феррита в температурном интервале 4.2—300 К. Выбранные для исследований

направления  $k$  распространения упругих волн, параллельные [110] и [111], соответствуют распространению «чистых» мод в кубическом кристалле. Погрешность определения абсолютных значений скоростей распространения упругих волн при 300 К составила менее 0.1 %, чувствительность к относительным изменениям скорости под действием температуры была не хуже 0.01 %.

В табл. 1 приведены абсолютные значения скоростей распространения упругих волн, в табл. 2 — упругие постоянные, рассчитанные при тем-



Зависимость упругих постоянных  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  от температуры.  
Обозначения кривых соответствуют таблице.

пературе 300 К («рентгеновская» плотность  $\rho = 5.33 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ) и полученные из инфракрасного спектра [5]. В последнем случае метод определения является принципиально менее точным.

Экспериментальные зависимости упругих постоянных  $C_{ij}$  вводятся на рисунке. Там же приведены теоретические кривые, рассчитанные с использованием теории Дебая [6]. Расчет проведен по формуле

$$C_{ij}(T) = C_{ij}(0) \left[ 1 - kF \left( \frac{\Theta_D}{T} \right) \right],$$

где  $k$  — постоянная для данной компоненты  $C_{ij}$ , определялась при  $T = 300 \text{ К}$ ;  $C_{ij}(0)$  — значение константы при  $0 \text{ К}$ ;  $\Theta_D$  — температура Дебая ( $\Theta_D = 562 \text{ К}$  рассчитана из упругих постоянных. Это значение совпадает с рассчитанным из инфракрасного спектра [7]).

Все упругие постоянные, полученные из скоростей распространения упругих волн, испытывают аномалии в области фазового перехода. Наибольшее смягчение ( $\Delta C_{ij}/C_{ij}(0) = 6.2 \%$ ,  $\Delta C_{ij} = C_{ij}(0) - C_{ij}(4.2 \text{ К})$ ) на-

блюдается для упругой постоянной  $\rho v_4^2 = 1/2 (C_{11} - C_{12})$ . Аномальное поведение упругих постоянных, рассчитанных из скоростей упругих волн  $v_4$  и  $v_2$ , распространяется на область температур порядка 150 К; для остальных упругих постоянных эта область меньше в два раза. Широкий температурный диапазон изменений скоростей указывает на существование размытого фазового перехода, который, видимо, вызван ростом динамического взаимодействия упругих колебаний с флуктуациями параметра порядка намагниченности. В области температур 4.2—100 К, как видно из рисунка, наблюдается существенное отклонение экспериментальных кривых от рассчитанных, что связано с появлением влияния магнитной подсистемы на упругую. Сильное изменение упругих констант (особенно  $\rho v_2^2$ ) в области температуры Нееля, по-видимому, можно объяснить не только существованием фазового перехода порядок—беспорядок, но и появлением в области магнитного упорядочения сложной неколлинеарной магнитной структуры.

#### Список литературы

- [1] Friedberg S. A., Burk D. L. // Phys. Rev. 1955. V. 98. N 4. P. 1200.
- [2] Hasting J. M., Corliss L. M. // Phys. Rev. 1956. V. 102. N 6. P. 1460—1463.
- [3] Arrot A. // Phys. Rev. 1955. V. 98. N 4. P. 1201.
- [4] McKimin H. J. // J. Acoust. Soc. Am. 1950. V. 22. N 4. P. 413—418.
- [5] Grimes N. W. // Phys. St. Sol. (b). 1973. V. 58. N 2. P. K129—K132.
- [6] Lakkad S. C. // J. Appl. Phys. 1971. V. 42. N 11. P. 4277—4281.
- [7] Grimes N. W. // Phil. Mag. 1972. V. 26. N 5. P. 1217—1226.

Красноярский  
сельскохозяйственный институт  
Красноярск

Поступило в Редакцию  
2 декабря 1988 г.

ДК 538.91.911 : 539.143.44

Физика твердого тела, том 31, № 6, 1989  
Solid State Physics, vol. 31, № 6, 1989

## ПРИМЕСНЫЕ АТОМЫ ЖЕЛЕЗА В ВЫСОКОДИСПЕРСНОЙ МОДИФИКАЦИИ $\delta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$

Р. И. Захарченя, П. П. Серегин

Состояние примесных атомов железа в  $\text{Al}_2\text{O}_3$  методом мессбауэровской спектроскопии исследовалось в большом числе работ (см., например, [1, 2]). Однако все эти работы относятся к  $\alpha$ -модификации (корунд) и основное внимание в них уделялось изучению сверхтонкой структуры мессбауэровских спектров  $^{57}\text{Fe}$ , возникающей за счет расщепления основного терма иона  $\text{Fe}^{3+}$  на три крамерсовских дублета. В настоящей работе методом мессбауэровской спектроскопии идентифицировано зарядовое состояние и симметрия локального окружения центров железа в решетке  $\delta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ , а также изучено влияние перехода  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \delta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  на состояние примесных атомов железа.

Образцы  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\delta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ , чистые и легированные железом (~1 ат. %), получали по золь-гельному способу путем гидролиза изопропилата алюминия [3]. Затем образцы прокаливали на воздухе при температурах 500, 750, 1000 и 1250 °С в течение 24 ч. Данные рентгеноструктурного анализа (см. рис. 1, а и таблицу) позволяют сделать вывод, что материал после термообработки при 1250 °С был однофазным и имел структуру  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Наблюдается небольшое изменение значений межплоскостных расстояний и интенсивностей рефлексов для  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3 + 1$  ат. % Fe, что указывает на вхождение примесных атомов железа в структуру  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  (см. таблицу).