

- [1] Leung L. K., Morrish A. H., Searle C. W. // Can. J. Phys. 1969. V. 47. P. 2697—2702.
 [2] Searle C. W., Wang S. T. // Can. J. Phys. 1970. V. 48. N 17. P. 2023—2031.
 [3] Белов К. П., Свирина Е. П., Португал О. Е., Лукина М. М., Сотникова В. И. // ФТТ. 1978. Т. 20. № 11. С. 3428—3430.
 [4] Свирина Е. П., Шляхина Л. П., Лукина М. М. // ФТТ. 1982. Т. 24. № 11. С. 3492—3495.
 [5] Свирина Е. П., Шляхина Л. П., Лукина М. М., Нтахомвукийе В. // Вест. МГУ, сер. физ., астроном. 1983. Т. 24. № 4. С. 64—67.
 [6] Белов К. П., Свирина Е. П., Шляхина Л. П. // ФТТ. 1984. Т. 26. № 6. С. 1903—1906.
 [7] Белов К. П., Свирина Е. П., Шляхина Л. П., Лукина М. М., Нтахомвукийе В. // Вест. МГУ, сер. физ., астроном. 1985. Т. 26. № 2. С. 94—97.
 [8] Белов К. П., Горяга А. Н. // ФММ. 1956. № 2. С. 441.
 [9] Leung L. K., Morrish A. H., Evans B. J. // Phys. Rev. B. 1976. V. 13. N 9. P. 4069—4078.
 [10] Leung L. K., Morrish A. H. // Phys. Rev. B. 1977. V. 15. N 5. P. 2485—2492.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова
Москва

Поступило в Редакцию
17 июля 1989 г.

УДК 548 : 537.611.46

© Физика твердого тела, том 32, № 3, 1990
Solid State Physics, vol. 32, N 3, 1990

ОРИЕНТАЦИОННЫЕ ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В ГЕКСАГОНАЛЬНЫХ ФЕРРИТАХ

Г. И. Рябцев, Е. П. Найден

Среди магнитных переходов типа порядок—порядок представляет существенный интерес изучение спин-ориентационных переходов, примером которых является изменение направления легкого намагничивания при изменении температуры. Исследование подобных превращений достаточно подробно проведено на редкоземельных магнетиках: ортоферритах, ферритах-гранатах, интерметаллидах редкая земля—железо [1]. Явление спиновой переориентации обнаружено также в системах ферри-магнетиков с гексагональной структурой при введении ионов Co^{2+} [$2-4$], однако оно исследовано значительно менее подробно. Изучение магнитных превращений в подобных соединениях на примере системы $\text{BaCo}_{2-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ с точки зрения возможности описания этих явлений в рамках теории фазовых переходов (ФП) Ландау [4] проведено в настоящей работе.

Анизотропную часть термодинамического потенциала для одноосного магнетика можно представить в виде

$$F = F_0 + K_1 \sin^2 \theta + K_2 \sin^4 \theta, \quad (1)$$

где θ — угол между вектором намагниченности и осью c . Согласно теории Ландау, при фазовом переходе K_1 должна менять знак. Характер превращения определяется знаком K_2 . При $K_2 > 0$ переориентация спинов осуществляется посредством ФП второго рода. Параметр порядка, которым является угол θ , меняется при этом непрерывно. Если $K_2 < 0$, то изменение направления легкого намагничивания должно происходить скачком и в этом случае ориентационное превращение должно быть переходом первого рода. В теории предполагается, что вблизи точки превращения K_1 является линейной функцией температуры, а K_2 — просто постоянной величиной.

Исследование магнитных переходов ортоферритов показало, что для них спиновая переориентация осуществляется посредством двух фазовых переходов второго рода при температурах T_1 и T_2 [1]. В этом случае в рамках теории соотношения констант анизотропии равно

$$K_1/2K_2 = (T - T_2)/(T_2 - T_1)$$

и направление равновесной ориентации намагниченности

$$\theta = \arcsin[(T_2 - T)/(T_2 - T_1)^{1/2}]. \quad (2)$$

Рассмотрим с точки зрения изложенных выше выводов теории фазовых пе-

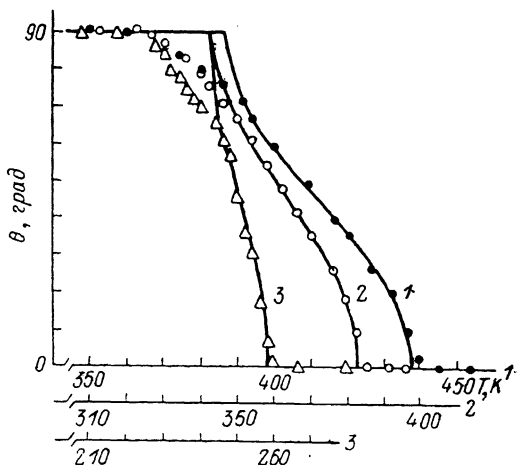


Рис. 1. Температурная зависимость направления легкого намагничивания $\text{Co}_{2-x}\text{Zn}_x\text{W}$.

x : 1 — 0.2, 2 — 1.0, 3 — 1.38.

редов экспериментальные результаты, полученные на гексагональных ферритах $\text{Co}_{2-x}\text{Zn}_x\text{W}$ с содержанием ионов Zn^{2+} $x=0.2, 1.0, 1.38$. Поликристаллические ферриты изготовлены по обычной керамической технологии. Фазовый рентгенографический анализ показал, что

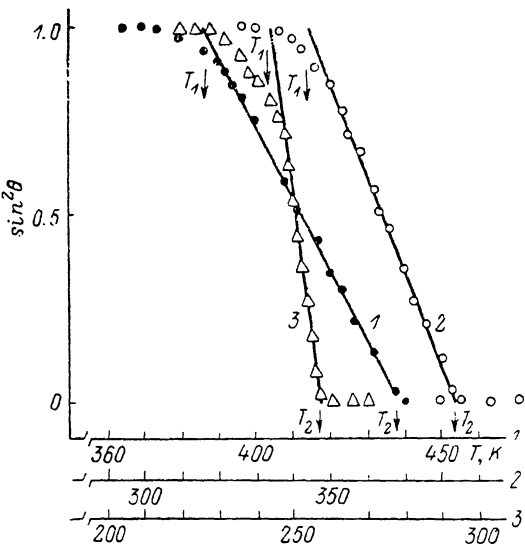


Рис. 2. Температурная зависимость функции $\sin^2 \theta$ $\text{Co}_{2-x}\text{Zn}_x\text{W}$.

x : 1 — 0.2, 2 — 1.0, 3 — 1.38.

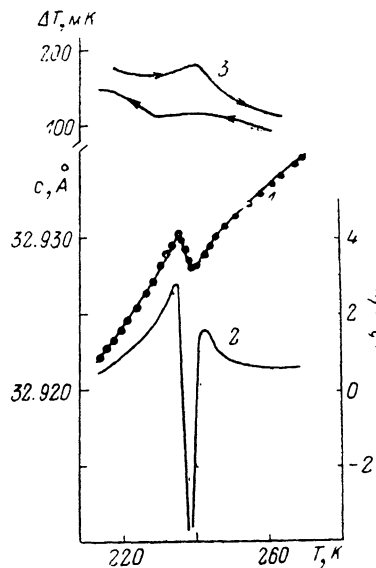


Рис. 3. Температурная зависимость постоянной решетки (1), коэффициента линейного расширения α_{001} (2) и участок термограммы (3) $\text{Co}_{0.62}\text{Zn}_{1.38}\text{W}$.

содержание основной фазы (W) составляет не менее 95 %. Данные об изменении направления легкого намагничивания с температурой получены из нейтронографических экспериментов. С этой целью исследовались температурные зависимости интенсивностей отражений от базисной плоскости (006), а также плоскостей (100+101) и (103). Вид этих функций убедительно доказывает существование для исследуемых образцов изменения направления легкого намагничивания от базисной плоскости к гексагональной оси при повышении температуры (рис. 1). По шкале

абсцисс цифрами 1, 2, 3 обозначены температурные интервалы для образцов с $x=0.2, 1.0, 1.38$ соответственно. Хорошо видно, что вращение спинов в процессе магнитного превращения происходит не скачком, а растягивается на довольно большой интервал температур. При изменении типа анизотропии первая константа анизотропии меняет знак. Эти результаты качественно согласуются с теорией фазовых переходов, поэтому логично предположить, что в области спин-ориентационных превращений $K_2 > 0$, так как в настоящее время отсутствуют достоверные данные о второй константе анизотропии в исследуемой системе. Согласно (2), в этом случае должна наблюдаться линейная зависимость функции $\sin^2 \theta$ от температуры. Экспериментальные результаты подтверждают это предположение (рис. 2). Из рис. 2 видно, что экспериментальные точки хорошо ложатся на прямую линию в области высоких температур и можно определить температуру спин-ориентационного перехода T_2 — конус легкого намагничивания (КЛН)—ось легкого намагничивания (ОЛН). Полученные из рис. 2 температуры переходов плоскость легкого намагничивания (ПЛН) \rightleftharpoons КЛН T_1 и КЛН \rightleftharpoons ОЛН T_2 использованы для расчета температурной зависимости $\theta=f(T)$. Они изображены линиями на рис. 1. Экспериментальные результаты хорошо согласуются с расчетом в рамках теории Ландау при $T/T_1 > 1.01$.

При более низких температурах наблюдается отклонение от расчетных кривых. Сведения о характере превращений в этой области были получены при исследовании теплового расширения образцов. На рис. 3 приведены температурные зависимости постоянной решетки $c(T)$ (кривая 1), коэффициента теплового расширения $\alpha_{001}(T)$ (кривая 2) и участок термограммы (кривая 3) для состава с содержанием цинка $x=1.38$. Данные рентгеновской дилатометрии наглядно показывают аномалии теплового расширения в окрестности $T \approx 240$ К, характерные для фазовых переходов I рода, при $T \approx 260$ К подобных особенностей не наблюдается. Результаты дифференциального термического анализа также указывают на существование фазового перехода I рода при $T \approx 241$ К, который характеризуется скрытой теплотой превращения $\Delta H \approx 0.1$ кДж/моль и температурным гистерезисом $\Delta T \approx 10$ К. Аналогичные результаты получены и для других составов.

Совокупность полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что плавный поворот направления спонтанной намагниченности от базисной плоскости к гексагональной оси в исследуемых гексагональных ферритах осуществляется посредством двух фазовых переходов, причем низкотемпературное превращение является переходом I рода, а высокотемпературное — II рода. Подобный характер магнитного перехода при T_1 возможен лишь при существовании достаточно большой величины третьей константы анизотропии, причем $K_3 < 0$ [6]. При повышении температуры K_3 быстро убывает и при T_2 ею можно пренебречь.

Список литературы

- [1] Белов К. П., Звездин А. К., Кадомцева А. М., Левитин Р. З. Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках. М., 1979. 317 с.
- [2] Найден Е. П., Рябцев Г. И., Журавлев В. А., Голещихин В. И. // ФТТ. 1985. Т. 27. № 10. С. 3155—3158.
- [3] Graetsch H., Naberey F., Leckebusch R. e. a. // IEEE Trans. Magn. 1984. V. 20. № 3. P. 495—500.
- [4] Rodrigue G. P. // IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques. 1963. V. 11. № 5. P. 351—356.
- [5] Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. М., 1964. 568 с.
- [6] Мицек А. И., Колмакова Н. П., Сирота Д. И. и др. // ФММ. 1976. Т. 41. № 5. С. 464—472.