

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ГИСТЕРЕЗИС НАМАГНИЧЕННОСТИ В ОРТОФЕРРИТАХ В ТОЧКЕ КОМПЕНСАЦИИ

*В.Н.Держаченко, А.М.Кадожцева, В.А.Тимофеева,
В.А.Хохлов*

Впервые на ортоферритах наблюдался фазовый переход первого рода в поле в районе точки компенсации. Из скачков намагниченности на границах фаз с $\theta = 0$ и $\theta = \pi$ определено значение обменного поля. Дается термодинамическое объяснение этого явления.

Несмотря на то, что точка компенсации T_K в ортоферритах была обнаружена сравнительно давно [1], до сих пор отсутствуют данные о влиянии магнитного поля на характер фазового перехода в этой области температур. Нами было проведено исследование намагниченности монокристаллов ErFeO_3 и $\text{Er}_{0,8}\text{Dy}_{0,2}\text{FeO}_3$ в области T_K (45 и 25°К соответственно). Монокристаллы были выращены из раствора в расплаве. Измерение намагниченности производилось на вибрационном магнитометре.

Известно, что наличие точки компенсации в ортоферритах обусловлено отрицательным обменным взаимодействием ионов железа и редкой земли. Суммарный спонтанный момент ортоферритов равен, согласно [2]:

$$M = M_0 + \chi_R H_0 \quad (1)$$

M_0 – слабоферромагнитный момент ионов железа, χ_R – парамагнитная восприимчивость ионов редкой земли, H_0 – обменное поле, действующее со стороны спинов ионов железа на ионы редкой земли. Вследствие сильной зависимости парамагнитной восприимчивости редкоземельных ионов от температуры, при отрицательном обменном взаимодействии, наведенный магнитный момент редкоземельных ионов уменьшает суммарный магнитный момент, обращая его в нуль при точке компенсации. В работах [3, 4] было показано, что в ферритах-гранатах в присутствии внешнего магнитного поля H , точка компенсации становится фазовым переходом первого рода. Теоретическая фазовая диаграмма для этого случая представлена на рис. 1. Можно показать, что для ортоферритов фазовая диаграмма в районе точки компенсации должна носить аналогичный характер.

Рассмотрим поведение ортоферритов с T_K во внешнем магнитном поле $H \parallel M_0$ при учете взаимодействия редкоземельных и железных ионов. Свободная энергия для этого случая может быть записана в виде

$$E = \frac{M_R^2}{2\chi_R} + M_R \frac{M_0}{|M_0|} H_0 - M_0 H - M_R H, \quad (2)$$

где M_R – магнитный момент редкоземельных ионов. Считаем, что обменное поле таково, что знаки M_R и M_0 разные. Минимизируя (2) по

M_R получим

$$M_R = \chi_R \left(H - \frac{M_o}{|M_o|} H_o \right). \quad (3)$$

Из (3) видно, что при $H = 0$ $M_R = -\chi_R \frac{M_o}{|M_o|} H_o$ и точка компенсации бу-

дет наблюдаться при условии $\chi_R H_o = M_o$. Для нахождения равновесного значения энергии подставим в (2) значение M_R из (3)

$$E = -\frac{\chi_R H^2}{2} - \frac{\chi_R H_o^2}{2} - M_o H \left(1 - \frac{\chi_R H_o}{|M_o|} \right). \quad (4)$$

Свободная энергия будет минимальна при условии

$$M_o H \left(1 - \frac{\chi_R H_o}{|M_o|} \right) > 0. \quad (5)$$

Следовательно, при температурах выше T_K , где $\chi_R H_o < |M_o|$ слабоферромагнитный момент больше нуля и направлен по полю. Ниже T_K $\chi_R H_o > |M_o|$ и $M_o < 0$, т. е. направлен против поля. Таким образом, поведение ортоферритов в районе точки компенсации качественно согласуется с приведенным на рис. 1. Здесь же указана область, ограниченная кривой NCK , в которой сосуществуют фазы с $\theta = 0$ и $\theta = \pi$ (θ – угол между направлением внешнего поля и слабоферромагнитного момента). Линия CT_K есть линия фазовых переходов первого рода.

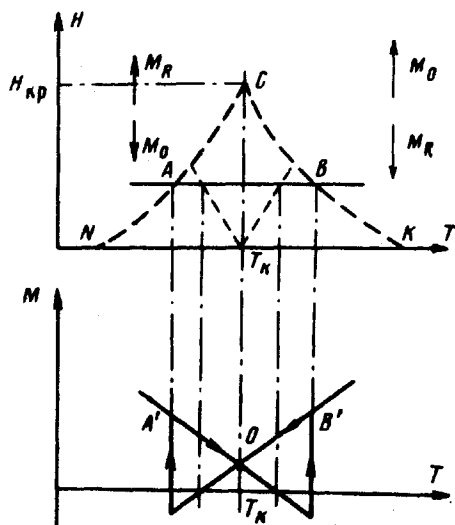


Рис. 1. Теоретическая фазовая диаграмма ферритов-гранатов [4]

На рис. 2,б приведены температурные зависимости намагниченности, снятые при $H = 440$ э и 1170 э для состава $Er_{0,8}Dy_{0,2}FeO_3$. Видно, что наблюдается значительный гистерезис намагниченности, причем при определенной температуре, зависящей от величины H , образец скачком перемагничивается. Наблюдаемые скачки объясняются тем, что намагничен-

ность кристалла, соответствующая фазам $\theta = 0$ и $\theta = \pi$, описывается различными соотношениями:

$$M = M_0 + \chi_R H - \chi_R H_0, \quad \theta = 0, \quad (6)$$

$$M = -M_0 + \chi_R H + \chi_R H_0, \quad \theta = \pi.$$

По величине скачка намагниченности можно определить значение обменного поля, действующее со стороны ионов железа на редкую землю, которое оказалось равным $2,6 \cdot 10^3$ э для ErFeO_3 и $2,1 \cdot 10^3$ э для $\text{Er}_{0,8}\text{Dy}_{0,2}\text{FeO}_3$. При $H \neq 0$ суммарная намагниченность обращается в нуль при температуре отличной от T_K . Это поле может быть найдено из условия

$$H = H_0 \left(\frac{T - T_K}{T_K} \right). \quad (7)$$

По формуле (7) были построены линии нулевой намагниченности $T_K B$ и $T_K B'$ при $H_0 = 2,1 \cdot 10^3$ э (рис. 2, а).

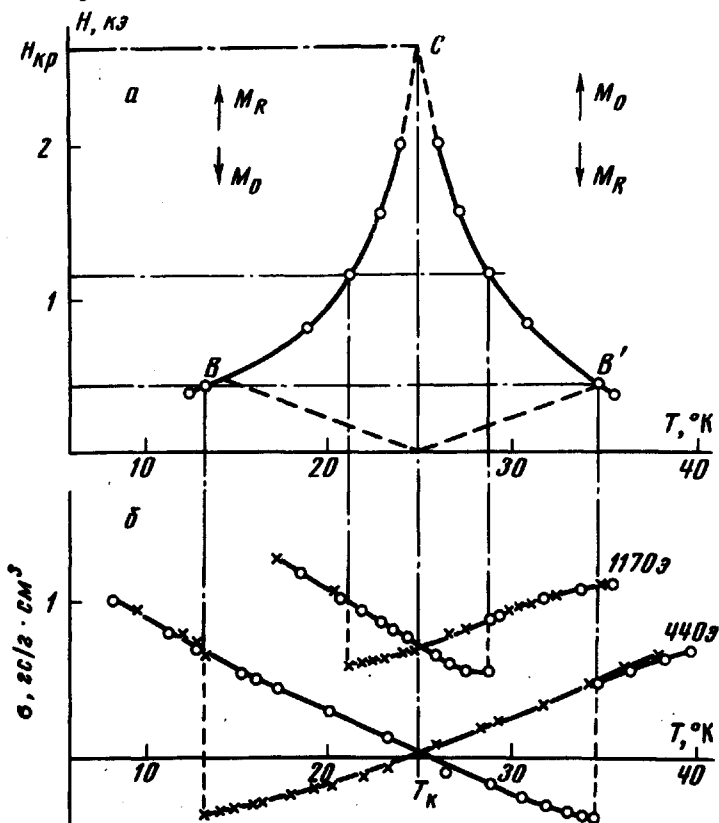


Рис. 2. Экспериментальная температурная зависимость коэрцитивной силы H_c (а) и намагниченности (б), о — повышение температуры, × — понижение температуры

Используя данные по намагниченности (рис. 2, б) нами построена фазовая диаграмма, представляющая собой зависимость коэрцитивной силы H_c (поле, при котором происходит перемагничивание образца) от

температуры. Эти данные, приведенные на рис. 2, а свидетельствуют о том, что H_c при приближении к T_K увеличивается. Такой характер зависимости коэрцитивной силы связан с уменьшением суммарной намагниченности при приближении к $T_K (H_c \sim \frac{k}{J_s})$ и, по-видимому, обусловлен

тем, что процесс перемагничивания осуществляется путем необратимого вращения однодоменных частиц.

Полученные нами экспериментальная и теоретическая фазовые диаграммы качественно согласуются между собой. Наличие гистерезиса в поле и резкие скачки намагниченности при переходе от фазы $\theta = 0$ к фазе $\theta = \pi$ свидетельствуют о том, что точка компенсации в поле $H \parallel M_0$ является фазовым переходом первого рода.

В заключение мы приносим глубокую благодарность А.К.Звездину, С.А.Никитину за обсуждение результатов работы и ценные дискуссии.

Донецкий
физико-технический институт
Академии наук УССР

Поступила в редакцию
24 июня 1974 г.

Литература

- [1] К.П.Белов, А.М.Кадомцева, Т.М.Леднева, Т.Л.Овчинникова, В.А. Тимофеева. Письма в ЖЭТФ, 2, 253, 1965.
- [2] В.Е.Найш, В.А.Туров. ФТТ, 11, 321, 1961.
- [3] К.П.Белов, С.А.Никитин. ЖЭТФ, 58, 937, 1970.
- [4] А.К.Звездин, В.М.Матвеев. Изв. АН СССР, серия физ., 26, 1441, 1972.