

Влияние фрустрации на процессы намагничивания в феррите CoFeCrO_4

© Л.Г. Антошина, А.Н. Горяга, Р.Р. Аннаев

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
119899 Москва, Россия

(Поступила в Редакцию 31 марта 1999 г.)

Впервые исследовано поведение изотерм намагниченности $\sigma(H)$, продольной λ_{\parallel} и поперечной λ_{\perp} магнитострикций поликристаллического феррита CoFeCrO_4 с фрустрированной магнитной структурой в магнитных полях до $H = 50 \text{ kOe}$ при температуре $T = 4.2 \text{ K}$. Установлено, что рост намагниченности с полем осуществляется за счет двух парапроцессов различной природы.

В соединениях с фрустрированной магнитной структурой магнитный порядок не пронизывает весь объем образца, а существует лишь в отдельных спонтанно намагниченных областях. В зависимости от того, является ли в этих областях преобладающим ферро- или ферримагнитный порядок, эти магнитные структуры называются сперомагнитными или сперимагнитными. Поэтому следует ожидать, что в таких магнитных структурах процесс намагничивания в магнитном поле должен быть иным, чем процесс намагничивания в обычных ферро- и ферримагнетиках. По-видимому, в соединениях с фрустрированной магнитной структурой техническое намагничивание должно отсутствовать, а будет иметь место только парапроцесс (истинное намагничивание).

Однако только по данным намагниченности трудно выяснить характер процесса намагничивания в таких соединениях, тогда как изучение поведения продольной и поперечной магнитострикций наряду с измерениями намагниченности может решить данную проблему.

Для решения данной задачи нами был взят феррит-хромит CoFeCrO_4 . Ранее в работе [1] авторами было сделано предположение, что магнитная структура феррита CoFeCrO_4 носит сложный характер: в интервале $275 - T_c \text{ K}$ — "нестабильный ферримагнетик", а в интервале $80 - 275 \text{ K}$ — кластерное "спиновое стекло". Позднее в работе [2] было установлено, что в данном феррите при $T < 100 \text{ K}$ магнитная структура является фрустрированной. Наличие фрустрированной магнитной структуры в феррите CoFeCrO_4 также было подтверждено исследованиями мессбауэровского эффекта [3]. Впервые магнитострикция для феррита CoFeCrO_4 в полях до $H = 14 \text{ kOe}$ была исследована в работе [4]. Было обнаружено, что в отличие от феррита CoFe_2O_4 с ферримагнитным упорядочением, для которого $\lambda_{\parallel} < 0$, у феррита CoFeCrO_4 продольная магнитострикция λ_{\parallel} имела положительный знак. Кроме того, на изотермах $\sigma(H)$ отсутствовало насыщение, а магнитострикции λ_{\parallel} и λ_{\perp} в полях до 14 kOe имели анизотропный характер.

Поэтому для выяснения характера процесса намагничивания в феррите CoFeCrO_4 с фрустрированной магнитной структурой необходимо было провести измерения намагниченности и магнитострикции в более высоких полях, так как у данного образца при температуре $T = 4.2 \text{ K}$ коэрцитивная сила составляла 1300 Oe .

В качестве объекта исследования был взят поликристаллический образец CoFeCrO_4 , на котором ранее нами были измерены намагниченность [2] и магнитострикция в полях до 14 Oe [4]. В данной работе намагниченность σ измерялась баллистическим методом, а магнитострикция λ — тензометрическим методом в сверхпроводящем соленоиде в магнитных полях до 50 kOe при температуре 4.2 K .

На рис. 1 представлены изотермы намагниченности $\sigma(H)$, продольной $\lambda_{\parallel}(H)$ и поперечной $\lambda_{\perp}(H)$ магнитострикций при температуре $T = 4.2 \text{ K}$. Видно, что на зависимости $\sigma(H)$ отсутствует насыщение вплоть до 50 kOe , магнитострикция λ_{\parallel} имеет положительный знак, а λ_{\perp} — отрицательный знак. В полях до 15 kOe зависимости $\lambda_{\parallel}(H)$ и $\lambda_{\perp}(H)$ носят анизотропный характер и только в полях $H > 20 \text{ kOe}$ продольная λ_{\parallel} и поперечная λ_{\perp} магнитострикции становятся изотропными, при этом восприимчивости магнитострикций $\Delta\lambda_{\parallel}/\Delta H$ и $\Delta\lambda_{\perp}/\Delta H$ имеют отрицательный знак.

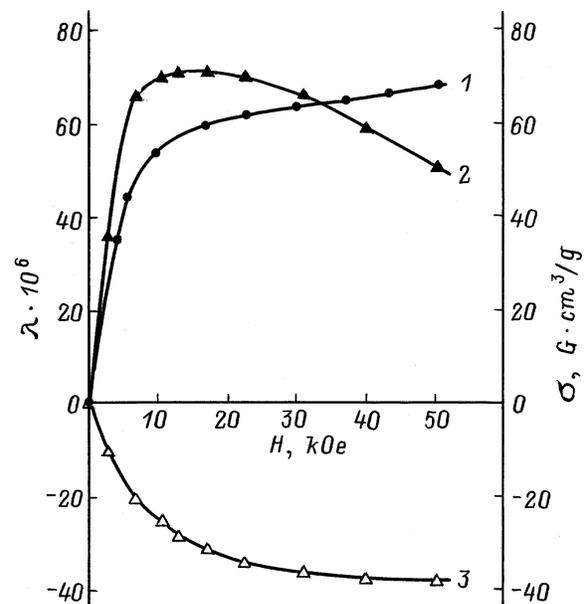


Рис. 1. Изотермы намагниченности σ (1) и магнитострикции λ_{\parallel} (2) и λ_{\perp} (3) при $T = 4.2 \text{ K}$.

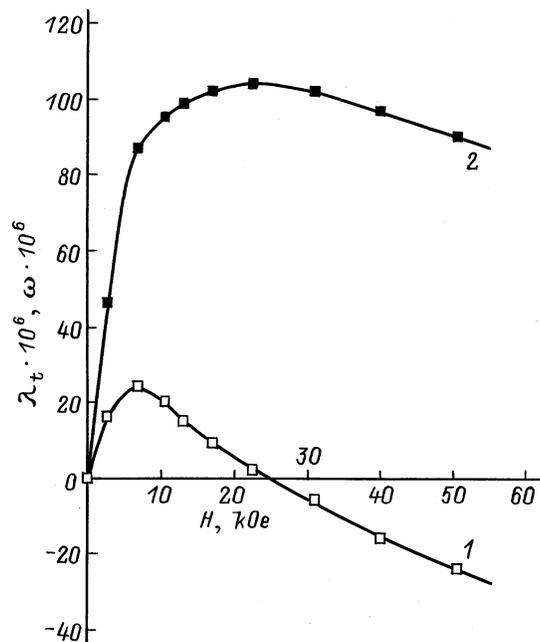


Рис. 2. Изотермы объемной ω (1) и анизотропной λ_r (2) магнитострикций при $T = 4.2$ К.

Используя значения продольной λ_{\parallel} и поперечной λ_{\perp} магнитострикций, мы по формулам $\omega = \lambda_{\parallel} + 2\lambda_{\perp}$ и $\lambda_r = \lambda_{\parallel} - \lambda_{\perp}$ рассчитали изотермы объемной $\omega(H)$ и анизотропной $\lambda_r(H)$ магнитострикций, которые представлены на рис. 2. Оказалось, что магнитострикция λ_r во всех полях имеет только положительный знак, тогда как магнитострикция ω при увеличении поля при $H \approx 25$ кОе изменяет знак с положительного на отрицательный.

Известно, что отличная от нуля объемная магнитострикция ω свидетельствует о присутствии парапроцесса в магнитном соединении. Таким образом, на основании полученных результатов по характеру зависимости $\omega(H)$ можно считать, что процесс намагничивания в образце CoFeCrO_4 с фрустрированной магнитной структурой состоит из двух парапроцессов различной природы. Первый парапроцесс в полях до $H < 25$ кОе вызван вращением магнитных моментов отдельных спонтанно намагниченных областей к направлению внешнего магнитного поля, тогда как второй парапроцесс в более высоких полях обусловлен уменьшением степени неколлинеарности магнитных моментов ионов в этих спонтанно намагниченных областях. Как было показано ранее в работе [2], фрустрированная магнитная структура в феррите CoFeCrO_4 обусловлена тем, что в состав данного феррита входят 3 вида магнитных катионов, между которыми имеются обменные взаимодействия, разные по знаку и величине. Не исключено, что наличие сильного прямого отрицательного обменного взаимодействия между октаэдрическими ионами Cr^{3+} может приводить к неколлинеарному ферримагнитному упорядочению в отдельных спонтанно намагниченных областях.

В обычных ферро- и ферримагнетиках в области процесса технического намагничивания поведение λ_{\parallel} и λ_{\perp} магнитострикций подчиняется закону Акулова: $\lambda_{\parallel} = -2\lambda_{\perp}$. В этом случае анизотропная магнитострикция λ_r в полях выше полей магнитной анизотропии должна иметь насыщение. Однако, как видно из рис. 2, магнитострикция λ_r для феррита с фрустрированной магнитной структурой имеет аномальный характер: в полях до ≈ 20 кОе магнитострикция λ_r резко возрастает, а потом наблюдается ее уменьшение с полем по линейному закону. Полученный нами результат по поведению анизотропной магнитострикции λ_r в поле также свидетельствует об отсутствии технического намагничивания в образце CoFeCrO_4 .

Таким образом, нами установлено, что в феррите CoFeCrO_4 с фрустрированной магнитной структурой процесс технического намагничивания отсутствует, а рост намагниченности σ с полем осуществляется за счет двух парапроцессов различной природы.

Список литературы

- [1] K. Muralledharan, J.K. Srivastava, V.R. Marathe, R. Vijayaraghavan. *J. Phys.* **C18**, 31, 5897 (1985).
- [2] К.П. Белов, А.Н. Горяга, Р.Р. Аннаев, А.И. Кокорев, А.Н. Лямзин. *ФТТ* **31**, 5, 117 (1989).
- [3] H. Mohan, I.A. Shaikh, R.G. Kulkarni. *Phys.* **B217**, 292 (1996).
- [4] А.Н. Горяга, Р.Р. Аннаев, А.Е. Богданов. *Вестн. МГУ. Сер. 3, Физика, астрономия* **36**, 5, 44 (1995).