

Влияние фрустрации на процессы намагничивания в ферритах-хромитах никеля

© Л.Г. Антошина, А.Н. Горяга

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

(Поступила в Редакцию 3 октября 2000 г.)

При $T = 80$ К исследовано поведение изотерм намагниченности $\sigma(H)$, продольной $\lambda_{\parallel}(H)$, поперечной $\lambda_{\perp}(H)$, объемной $\omega(H)$ и анизотропной $\lambda_r(H)$ магнитострикций ферритов-хромитов $\text{Cu}_{0.4}\text{Fe}_{0.6}[\text{Ni}_{0.6}\text{Cr}_{1.4}]\text{O}_4$ и $\text{Zn}_{0.4}\text{Fe}_{0.6}[\text{Ni}_{0.6}\text{Cr}_{1.4}]\text{O}_4$, имеющих фрустрированную магнитную структуру. Установлено, что в этих ферритах-хромитах процесс технического намагничивания отсутствует, а рост намагниченности с полем осуществляется за счет двух парапроцессов различной природы.

Фрустрированная магнитная структура в ферритах может быть представлена как структура, состоящая из отдельных спонтанно намагниченных областей, в которых магнитное упорядочение имеет ферримагнитный порядок.

Ранее нами было установлено [1,2], что в ферритах-хромитах меди и кобальта с большим содержанием ионов Cr^{3+} в октаэдрических узлах имеет место фрустрирование магнитная структура. В [3] путем мессбауэровских исследований было найдено, что феррит-хромит $\text{Fe}[\text{NiCr}]\text{O}_4$ обладает фрустрированной магнитной структурой. Поэтому мы предполагаем, что феррит-хромит $\text{Ni}_{0.4}\text{Fe}_{0.6}[\text{Ni}_{0.6}\text{Cr}_{1.4}]\text{O}_4$ с еще большим содержанием ионов Cr^{3+} также должен обладать фрустрированной магнитной структурой. Фрустрированная магнитная структура в исследуемых ферритах-хромитах, возможно, обусловлена тем, что в состав данных образцов входят более трех видов магнитных катионов, между которыми имеются обменные взаимодействия разные по знаку и величине. При этом наличие сильного прямого обменного взаимодействия между ионами Cr^{3+} , находящимися в октаэдрической подрешетке, может приводить к неколлинеарному магнитному упорядочению в отдельных спонтанно намагниченных областях.

В данной работе были изучены процессы намагничивания ферритов $\text{Cu}_{0.4}\text{Fe}_{0.6}[\text{Ni}_{0.6}\text{Cr}_{1.4}]\text{O}_4$ и $\text{Zn}_{0.4}\text{Fe}_{0.6}[\text{Ni}_{0.6}\text{Cr}_{1.4}]\text{O}_4$, так как феррит-хромит $\text{Ni}_{0.4}\text{Fe}_{0.6}[\text{Ni}_{0.6}\text{Cr}_{1.4}]\text{O}_4$ обладает большой магнитной анизотропией, обусловленной наличием в А-подрешетке ионов Ni^{2+} , находящихся в триплетном состоянии с не полностью замороженным орбитальным моментом, что требует исследований его свойств в больших магнитных полях.

Образцы этих ферритов были получены по керамической технологии. Оба отжига проводились на воздухе при температуре 1270 К в течение 20 часов с последующим медленным охлаждением. Проведенные рентгенографические исследования показали, что образцы являются однофазными шпинелями. Намагниченность и коэрцитивная сила измерялись баллистическим методом, а магнитострикция — тензометрическим. Измерения были

проведены в магнитных полях до 10 кОе, намагниченность измерялась в интервале температур от 80 К до температуры Кюри, магнитострикция — от 80 до 400 К.

Как известно, в ферро- и ферримагнетиках процесс намагничивания состоит из технического намагничивания и парапроцесса (истинного намагничивания), тогда как в магнетиках с фрустрированной магнитной структурой следует ожидать, что процесс намагничивания должен иметь другой характер, поскольку домены в них отсутствуют.

Если по зависимости намагниченности от поля нельзя ответить на вопрос о природе процессов намагничивания, то изучение изотерм $\lambda(H)$ позволяет внести ясность в данный вопрос, поскольку поведение зависимости $\lambda(H)$ существенно отличается по своему характеру для различных процессов. Например, для обычных ферримагнетиков в области технического намагничивания продольная λ_{\parallel} и поперечная λ_{\perp} магнитострикции имеют различные знаки, и при насыщении выполняется правило Акулова: $\lambda_{\parallel} = -2\lambda_{\perp}$. Поэтому в области технического намагничивания объемная магнитострикция $\omega = 0$, а анизотропная магнитострикция $\lambda_r = \text{const}$. Тогда как в области парапроцесса $\Delta\lambda_{\parallel}$ и $\Delta\lambda_{\perp}$ имеют одинаковый знак и равны по величине, приводя, таким образом, к зависимости объемной магнитострикции ω от поля, при этом анизотропная магнитострикция остается также постоянной величиной $\lambda_r = \text{const}$. Следует отметить, что у ферримагнетиков с нефрустрированной магнитной структурой восприимчивости парапроцесса $\Delta\lambda_{\parallel}$ и $\Delta\lambda_{\perp}$, связанные с парапроцессом имеют, как правило, отрицательный знак.

На рис. 1 и 2 приведены изотермы намагниченности σ , продольной λ_{\parallel} , поперечной λ_{\perp} , объемной ω и анизотропной λ_r магнитострикций, снятые при температуре $T = 80$ К, для образцов $\text{Cu}_{0.4}\text{Fe}_{0.6}[\text{Ni}_{0.6}\text{Cr}_{1.4}]\text{O}_4$ и $\text{Zn}_{0.4}\text{Fe}_{0.6}[\text{Ni}_{0.6}\text{Cr}_{1.4}]\text{O}_4$ соответственно. (Величины объемной ω и анизотропной λ_r магнитострикций рассчитывались по формулам: $\omega = \lambda_{\parallel} + 2\lambda_{\perp}$ и $\lambda_r = \lambda_{\parallel} - \lambda_{\perp}$). Коэрцитивная сила H_c образцов $\text{Cu}_{0.4}\text{Fe}_{0.6}[\text{Ni}_{0.6}\text{Cr}_{1.4}]\text{O}_4$ и $\text{Zn}_{0.4}\text{Fe}_{0.6}[\text{Ni}_{0.6}\text{Cr}_{1.4}]\text{O}_4$ при температуре жидкого азота составляла 390 и 76 Ое соответственно, т.е. приложенные магнитные поля были заведомо большими. Видно,

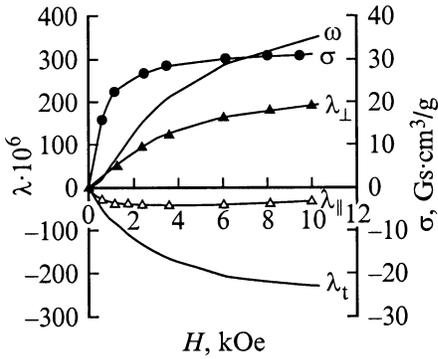


Рис. 1. Изотермы намагниченности $\sigma(H)$, продольной $\lambda_{\parallel}(H)$, поперечной $\lambda_{\perp}(H)$, объемной $\omega(H)$ и анизотропной $\lambda_t(H)$ магнитострикций для феррита-хромита $\text{Cu}_{0.4}\text{Fe}_{0.6}[\text{Ni}_{0.6}\text{Cr}_{1.4}]\text{O}_4$, снятые при температуре $T = 80$ К.

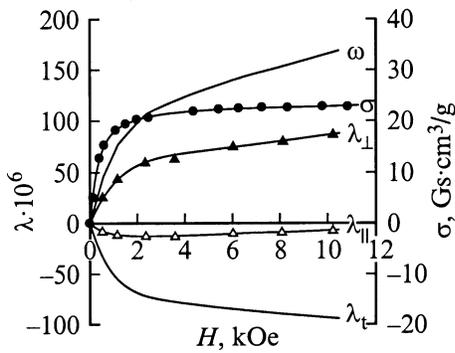


Рис. 2. Изотермы намагниченности $\sigma(H)$, продольной $\lambda_{\parallel}(H)$, поперечной $\lambda_{\perp}(H)$, объемной $\omega(H)$ и анизотропной $\lambda_t(H)$ магнитострикций для ферритов-хромитов $\text{Zn}_{0.4}\text{Fe}_{0.6}[\text{Ni}_{0.6}\text{Cr}_{1.4}]\text{O}_4$, снятые при температуре $T = 80$ К.

что для обоих образцов на изотермах $\sigma(H)$ отсутствует насыщение, т.е. имеет место парапроцесс, величина которого сравнительно небольшая: в полях выше 5 кОе $\Delta\sigma \approx 2.6 \cdot 10^{-4} \text{ Gs} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{Oe}^{-1}$ для феррита $\text{Cu}_{0.4}\text{Fe}_{0.6}[\text{Ni}_{0.6}\text{Cr}_{1.4}]\text{O}_4$ и $1.1 \cdot 10^{-4} \text{ Gs} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{Oe}^{-1}$ для феррита $\text{Zn}_{0.4}\text{Fe}_{0.6}[\text{Ni}_{0.6}\text{Cr}_{1.4}]\text{O}_4$. При этом поведение магнитострикции носит аномальный характер: во всех полях поперечная магнитострикция λ_{\perp} значительно больше, чем продольная λ_{\parallel} , т.е. правило Акулова не выполняется. Следует отметить, что имеет место восприимчивость парапроцесса магнитострикции $\Delta\lambda_{\parallel}$ и $\Delta\lambda_{\perp}$ положительного знака, но в отличие от обычных ферромагнетиков с нефрустрированной магнитной структурой различной величины $\Delta\lambda_{\parallel} < \Delta\lambda_{\perp}$.

Из рис. 1 и 2 видно, что, начиная с малых полей, имеет место положительная объемная магнитострикция ω , которая в поле $H = 10$ кОе достигает большого значения: $\omega \approx 3.5 \cdot 10^{-4}$ для феррита $\text{Cu}_{0.4}\text{Fe}_{0.6}[\text{Ni}_{0.6}\text{Cr}_{1.4}]\text{O}_4$ и $1.7 \cdot 10^{-4}$ для феррита $\text{Zn}_{0.4}\text{Fe}_{0.6}[\text{Ni}_{0.6}\text{Cr}_{1.4}]\text{O}_4$. В то

же время анизотропная магнитострикция λ_t не имеет насыщения во всех полях, но также обладает достаточно большой величиной: $\lambda_t \approx -2.3 \cdot 10^{-4}$ для феррита $\text{Cu}_{0.4}\text{Fe}_{0.6}[\text{Ni}_{0.6}\text{Cr}_{1.4}]\text{O}_4$ и $-0.9 \cdot 10^{-4}$ для феррита $\text{Zn}_{0.4}\text{Fe}_{0.6}[\text{Ni}_{0.6}\text{Cr}_{1.4}]\text{O}_4$.

Следовательно, полученный нами результат по поведению анизотропной магнитострикции λ_t в поле свидетельствует об отсутствии процесса технического намагничивания в ферритах $\text{Cu}_{0.4}\text{Fe}_{0.6}[\text{Ni}_{0.6}\text{Cr}_{1.4}]\text{O}_4$ и $\text{Zn}_{0.4}\text{Fe}_{0.6}[\text{Ni}_{0.6}\text{Cr}_{1.4}]\text{O}_4$, имеющих фрустрированную магнитную структуру. Также по данным объемной магнитострикции ω можно сделать вывод, что процесс намагничивания осуществляется в основном за счет парапроцесса.

Таким образом, установлено, что в ферритах $\text{Cu}_{0.4}\text{Fe}_{0.6}[\text{Ni}_{0.6}\text{Cr}_{1.4}]\text{O}_4$ и $\text{Zn}_{0.4}\text{Fe}_{0.6}[\text{Ni}_{0.6}\text{Cr}_{1.4}]\text{O}_4$ с фрустрированной магнитной структурой процесс технического намагничивания, состоящий из процессов смещения и вращения, отсутствует, а рост намагниченности с полем осуществляется за счет двух парапроцессов различной природы. Первый парапроцесс 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.

Список литературы

- [1] Л.Г. Антошина, А.Н. Горяга, Е.Н. Кукуджанова, И.А. Фильгус. ЖЭТФ **111**, 5, 1732 (1997).
- [2] К.П. Белов, А.Н. Горяга, Р.Р. Аннаев, А.И. Кокорев, А.Н. Лямзин. ФТТ **31**, 5, 117 (1989).
- [3] J.K. Srivastava, K. Muraleedharan R. Vijayaragharan. Phys. Stat. Sol. (b) **140**, K47 (1987).