

Магнитострикция гексаферритов в области спин-ориентационных фазовых переходов

© А.Г. Чесноков, Е.П. Найден

Сибирский физико-технический институт,
634050 Томск, Россия

E-mail: naiden@elefot.tsu.ru

(Поступила в Редакцию 8 июля 1999 г.)

Методами рентгеновской дилатометрии и тензодатчиков проведено исследование температурной зависимости магнитострикции на текстурированном поликристаллическом образце гексаферрита $\text{Co}_{0.72}\text{Zn}_{1.28}-W$. Показано, что в области спин-ориентационных фазовых переходов константы магнитострикции ведут себя аномально и достигают значений $10^{-5}-10^{-4}$.

В оксидных ферримагнетиках с гексагональной структурой (гексаферритах), содержащих наряду с ионами трехвалентного железа магнитоактивные катионы с сильным спин-орбитальным взаимодействием (например, ионы Co^{2+}), при изменении температуры могут реализовываться различные магнитные состояния — конус, плоскость или ось легкого намагничивания (КЛН, ПЛН и ОЛН соответственно). Вопрос о роли магнитоупругих взаимодействий в формировании диаграмм магнитного состояния магнетиков данного класса до настоящего времени исследован совершенно недостаточно. В литературе имеются лишь фрагментарные сведения о поведении констант магнитострикции некоторых простейших гексаферритов ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_9$ – BaM , $\text{BaFe}_{18}\text{O}_{27}$ – Fe_2 – W и др.), причем данные получены в основном при комнатной температуре [1–5]. Практически нет сведений о температурных зависимостях констант магнитострикции и, следовательно, температурных зависимостях констант магнитоупругого взаимодействия.

Вместе с тем совершенно очевидно, что спин-ориентационные фазовые переходы, т.е. процессы изменения направления спиновых магнитных моментов относительно кристаллографических осей, могут сопровождаться изменением размеров кристалла вследствие анизотропного характера взаимодействия спиновой подсистемы с решеткой. В частности, рентген-дилатометрическое исследование параметра решетки C для одного из образцов системы $\text{BaCo}_{2-x}\text{Zn}_x$ – W , для которого реализуется весь возможный набор магнитных состояний, показало, что в области спиновой переориентации наблюдаются хорошо выраженные аномалии $C(T)$, которые могут быть интерпретированы как проявление спонтанной магнитострикции ($\lambda_c \cong 10^{-4}$) [6,7].

Процесс измерения констант магнитострикции сводится к измерению относительного изменения линейных размеров монокристаллического образца вдоль различных кристаллографических направлений и для различных направлений намагничивающего поля. Общие выражения для константы магнитострикции магнетика гексагональной сингонии в произвольном направлении были получены Мэсоном [8] для случаев:

а) анизотропии типа ОЛН —

$$\begin{aligned} \lambda = & \lambda_a [(\alpha_1\beta_1 + \alpha_2\beta_2)^2 - (\alpha_1\beta_1 + \alpha_2\beta_2)\alpha_3\beta_3] \\ & + \lambda_b [(1 - \alpha_3^2)(1 - \beta_3^2) - (\alpha_1\beta_1 + \alpha_2\beta_2)^2] \\ & + \lambda_c [(1 - \alpha_3^2)\beta_3^2 - (\alpha_1\beta_1 + \alpha_2\beta_2)\alpha_3\beta_3] \\ & + 4\lambda_d(\alpha_1\beta_1 + \alpha_2\beta_2)\alpha_3\beta_3; \end{aligned} \quad (1)$$

б) анизотропии типа ПЛН —

$$\begin{aligned} \lambda = & A [2\alpha_1\alpha_2\beta_1 + (\alpha_1^2 - \alpha_2^2)\beta_2]^2 \\ & + B\alpha_3^2 [(\alpha_1\beta_1 + \alpha_2\beta_2)^2 - (\alpha_1\beta_2 - \alpha_2\beta_1)^2] \\ & + C [(\alpha_1\beta_1 + \alpha_2\beta_2)^2 - (\alpha_1\beta_2 - \alpha_2\beta_1)^2] \\ & + D(1 - \alpha_3^2)(1 - \beta_3^2) + E\alpha_3^2\beta_3^2(1 - \alpha_3^2) \\ & + F\alpha_3^2(1 - \alpha_3^2) + G\beta_3^2(1 - \alpha_3^2) \\ & + H\alpha_3\beta_3(\alpha_1\beta_1 + \alpha_2\beta_2) + I\alpha_3\beta_3(\alpha_1\beta_1 + \alpha_2\beta_2), \end{aligned} \quad (2)$$

где α_i — направляющие косинусы вектора намагниченности относительно кристаллографических осей, β_i — направляющие косинусы направления, в котором измеряется магнитострикция.

Отсюда следует, что для описания магнитострикции одноосного магнетика достаточно определить четыре основных константы, тогда как в случае анизотропии типа "легкая плоскость" число независимых констант увеличивается до девяти (вследствие понижения магнитной симметрии). При анализе экспериментальных данных необходимо использовать выражение (2) в области состояний КЛН и ПЛН и выражение (1) в области существования ОЛН.

В настоящей работе приводятся результаты измерений магнитострикции в области спин-ориентационных фазовых переходов, выполненные на текстурированном поликристаллическом образце гексаферрита состава $\text{BaCo}_{0.72}\text{Zn}_{1.28}\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ – $(\text{Co}_{0.72}\text{Zn}_{1.28}-W)$, для которого фазовые переходы ПЛН \Leftrightarrow КЛН и КЛН \Leftrightarrow ОЛН реализуются вблизи комнатной температуры.

Для определения констант магнитострикции гексаферритов в области спин-ориентационных переходов были использованы методы рентгеновской дилатометрии и тензометрических датчиков.

Метод рентгеновской дилатометрии позволяет измерять линейную деформацию кристалла вдоль определенных кристаллографических направлений, т.е. получать информацию об основных константах магнитострикции монокристаллического образца. Прецизионное измерение параметров решетки и их изменения возможны лишь при использовании достаточно совершенных кристаллов с полушириной кривой качания порядка 0.1 градуса; в этом случае можно достигнуть погрешности измерения относительного удлинения не более $2-3 \cdot 10^{-6}$. При использовании текстурированных поликристаллических образцов с достаточно совершенной текстурой возможно измерение межплоскостных расстояний с погрешностью не более 10^{-5} . На рис. 1 приведены результаты измерения констант магнитострикции λ_a и λ_c , полученные данным методом на поликристаллическом текстурированном образце ($f_t \cong 0.7$) вышеупомянутого гексаферрита. Как видно из рисунка, в области ориентационных фазовых переходов наблюдается "гигантская" магнитострикция, превышающая по крайней мере на два порядка типичные значения, приведенные в литературе для ферримангнетиков данного класса [1-4,9].

В измерениях магнитострикции тензометрическим методом использовался поликристаллический образец с текстурой "листового" типа по базисным плоскостям, степень текстуры $f_t \cong 0.35$. В качестве датчиков применялись германиевые гедисторы типа ГДТ с коэффициентом тензочувствительности $S = +55$ и длиной базы 10 mm. Геометрия расположения тензодатчика на поверхности образца соответствует усредненным значениям направляющих косинусов $\alpha_1 = \alpha_2 = \beta_1 = \beta_2 = 0.468$, $\alpha_3 = \beta_3 = 0.352$

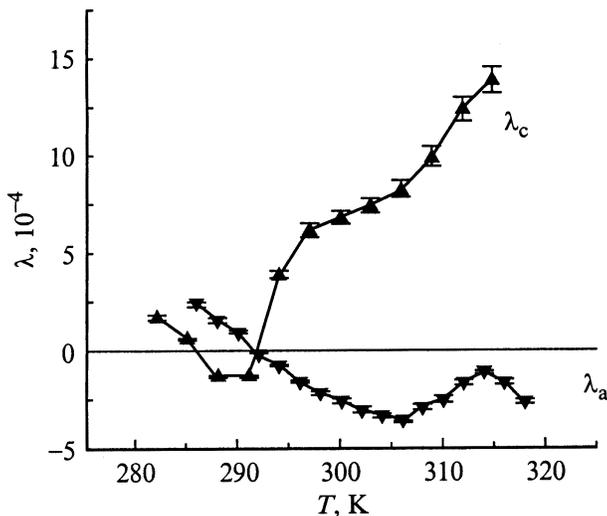


Рис. 1. Температурная зависимость констант магнитострикции λ_a и λ_c гексаферрита $\text{BaCo}_{0.72}\text{Zn}_{1.28}\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$.

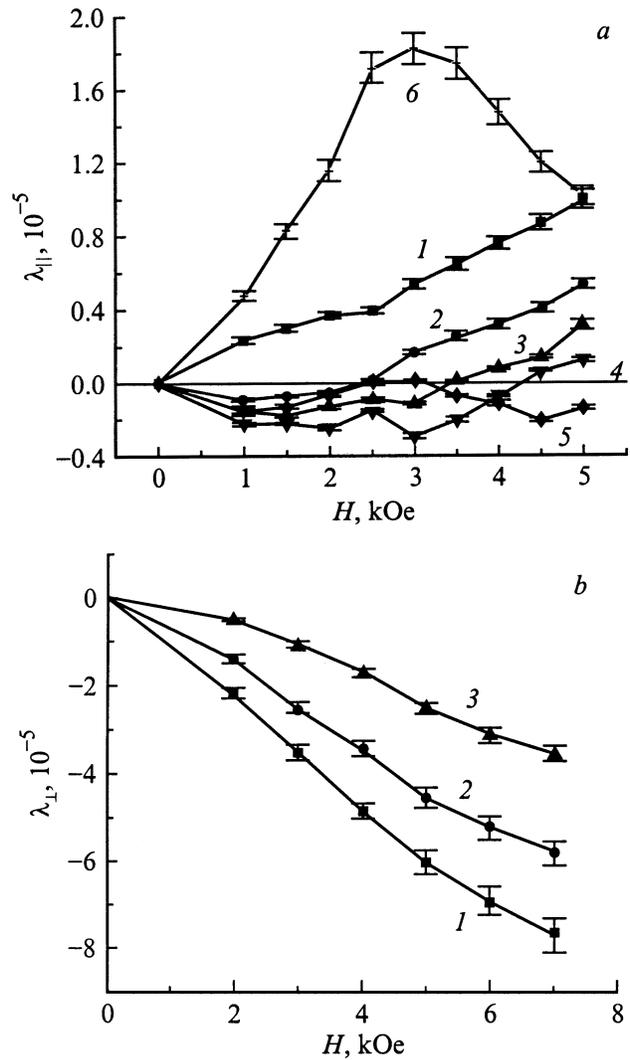


Рис. 2. Полевые зависимости продольной (а) и поперечной (b) магнитострикции $\text{BaCo}_{0.72}\text{Zn}_{1.28}\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ при различных температурах. 1 — $T = 178$, 2 — 308, 3 — 323, 4 — 333, 5 — 363, 6 — 389 К (а); 1 — $T = 317$, 2 — 367, 3 — 388 К (b).

при продольном и $\alpha_1 = \alpha_2 = 0.176$, $\alpha_3 = 0.936$, $\beta_1 = \beta_2 = 0.662$, $\beta_3 = 0.352$ при поперечном намагничивании.

На рис. 2 приведены полевые зависимости продольной и поперечной магнитострикции при различных температурах. Если для поперечной магнитострикции они имеют характер кривых с насыщением, причем с ростом температуры эффект уменьшается, то для продольной магнитострикции в области существования ПЛН эффект мал и обусловлен, по-видимому, перестройкой доменной структуры. Для температуры 389 К, соответствующей ОЛН, зависимость имеет аномальный вид с максимумом при намагничивающем поле 3–4 кОе.

На рис. 3 представлены зависимости констант магнитострикции от температуры при намагничивающем поле 8 кОе. Максимальные значения магнитострикции

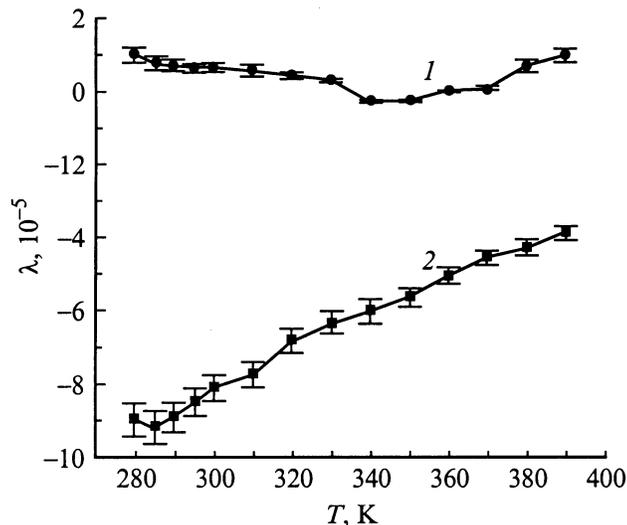


Рис. 3. Температурные зависимости продольной (1) и поперечной (2) магнитострикций гексаферрита $\text{BaCo}_{0.72}\text{Zn}_{1.28}\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$.

в базисной плоскости при намагничивании вдоль оси c соответствуют температурам спин-ориентационного перехода ПЛН \Leftrightarrow КЛН и достигают величины 10^{-4} . Магнитострикция в базисной плоскости при продольном намагничивании по крайней мере на порядок меньше.

При анализе полученных результатов с использованием выражений для магнитострикции магнетика гексагональной сингонии (1) и (2) учитывалось реальное распределение кристаллографических осей в текстурированном образце при продольном и поперечном намагничивании. Подстановка измеренных рентгенодilatометрическим методом констант магнитострикции λ_a и λ_c и значений направляющих косинусов α_i и β_i в выражении для магнитострикции при продольном и поперечном намагничивании позволили оценить величины основных констант магнитострикции данного образца при температуре 300 К

$$\lambda_a = -(2.5 \pm 0.1) \cdot 10^{-4}, \quad \lambda_b = (2 \pm 0.5) \cdot 10^{-4},$$

$$\lambda_c = (7.5 \pm 0.2) \cdot 10^{-4}, \quad \lambda_d = -(5 \pm 1) \cdot 10^{-4}.$$

Таким образом, проведенное исследование показало, что в области спин-ориентационных превращений наблюдаются аномальные магнитострикционные эффекты. Максимальные величины магнитострикции наблюдаются в случае, когда намагничивание внешним полем приводит к индуцированному ориентационному переходу. С максимальным изменением угла ориентации, например при индуцированном переходе ПЛН \Leftrightarrow ОЛН или наоборот. Полученные в настоящей работе данные могут быть полезны для оценки магнитоупругих взаимодействий в области спиновой переориентации.

Список литературы

- [1] С.П. Кунцевич, Ю.А. Мамалуй, А.С. Мильнер. ФММ **26**, 4, 610 (1968).
- [2] С.П. Кунцевич, Ю.А. Мамалуй, В.П. Палехин. ФТТ **22**, 7, 2192 (1980).
- [3] С.П. Кунцевич, В.П. Палехин. ФТТ **15**, 11, 3460 (1973).
- [4] С.П. Кунцевич, Ю.А. Мамалуй, А.С. Мильнер. Укр. физ. журнал **16**, 6, 67 (1971).
- [5] Т.А. Елкин, К.М. Большова. Вестн. МГУ **6**, 72 (1969).
- [6] С.П. Кунцевич, В.П. Палехин. ФТТ **20**, 9, 2869 (1978).
- [7] E.P. Naiden, V.I. Maltsev, G.I. Ryabtsev. Phys. Stat. Sol. (A) **120**, 209 (1990).
- [8] W.P. Mason. Phys. Rev. **96**, 2, 302 (1954).
- [9] С.С. Фонтон, А.В. Залесский. ЖЭТФ **17**, 5(11), 1693 (1964).