

Исследование спин-переориентационных фазовых переходов в монокристалле DyFe₁₁Ti

© И.С. Терешина, И.В. Телегина, К.П. Скоков

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

(Поступила в Редакцию 10 октября 1997 г.)

В настоящей работе изучено явление спиновой переориентации в соединении DyFe₁₁Ti, обладающем тетрагональной кристаллической структурой типа ThMn₁₂. Экспериментально измерялись кривые вращающего механического момента, действующего на монокристаллический образец, помещенный в магнитное поле. Литературные данные о температурах спин-переориентационных переходов (СПП) в данном соединении и о характере спиновой переориентации достаточно противоречивы [1–6]. Так, например, Хью и др. [2] обнаружили, что в DyFe₁₁Ti существуют СПП второго рода при T₁ = 200 К и СПП первого рода при T₂ = 58 К. Кудреватых и др. [1] сообщили, что второй переход имеет место при T₂ = 120 К. Только один СПП был обнаружен в работе [3]. Анализ других работ [4–6] также дает несогласующиеся сведения, поскольку измерения выполнялись чаще всего на ориентированных порошковых образцах методами, не позволяющими дать однозначный ответ на вопрос о природе СПП (в основном изучение температурных зависимостей магнитной восприимчивости и намагниченности). Это побудило нас провести исследования СПП на монокристалле DyFe₁₁Ti.

Технология получения монокристаллов и методика измерений описаны ранее в [7,8]. Для магнитных измерений были взяты образцы с разориентировкой кристаллографических осей в монокристаллических блоках не более 3°. Образцы, вырезанные в кристаллографических плоскостях (010) и (110), имели вес около 30 mg; им придавалась форма дисков диаметром ~ 4 mm и толщиной ~ 0.5 mm. Кривые механического вращающего момента L(θ), где θ — угол между кристаллографическим направлением [001] и полем H для монокристалла DyFe₁₁Ti, снимались на магнитном анизометре в интервале температур 78–300 К в магнитных полях до 13 kOe. Данное магнитное поле было недостаточным для насыщения вдали от оси легкого намагничивания (ОЛН), в то время как в полях H = 13 kOe вблизи ОЛН кривые намагничивания [2] и механического вращающего момента достигают насыщения. Применение более сильных магнитных полей приводит к такому нежелательному эффекту, как нарушение коллинеарности магнитных моментов подрешеток диспрозия и железа, что затрудняет анализ экспериментальных данных.

На рис. 1 представлены экспериментальные кривые L(θ), измеренные в плоскости (010) при различных температурах в поле H = 13 kOe. При T = 300 К кристаллографические направления [001] (L = 0 и ∂L/∂θ < 0)

и [100] (L = 0 и ∂L/∂θ > 0) являются ОЛН и ОТН соответственно. При уменьшении температуры СПП имеет место при T₁ = 250 К, далее проявляются небольшие дополнительные максимумы и минимумы около направления [001]. Из наблюдаемых кривых L(θ) можно определить положение ОЛН (угол θ₀, который составляет намагниченность I_s с осью c), исследуя точки пересечения с осью абсцисс. В интервале температур 125–250 К значение угла θ₀(T) (рис. 2) изменяется плавно и зависимость угла θ₀ от приведенной температуры следует закону θ₀ = χ(T - T_c)^{1/2}, где χ = 0.075 К^{-1/2}. Максимальное значение угла θ₀ = 45° достигается при T₂ = 122 К. Из наших результатов следует, что в соединении DyFe₁₁Ti при понижении температуры происходит СПП второго рода типа ОЛН–конус ОЛН. При T < 122 К изменение угла θ₀ происходит скачком, что указывает на перескок магнитного момента соединения в базисную плоскость. Подобная температурная зависимость L(θ) получена также для образца, вырезанного в плоскости (110).

Известно, что вращающий момент связан с энергией магнитной анизотропии следующим выражением: L(θ) = -∂E(θ)/∂(θ). Значения энергии магнитной ани-

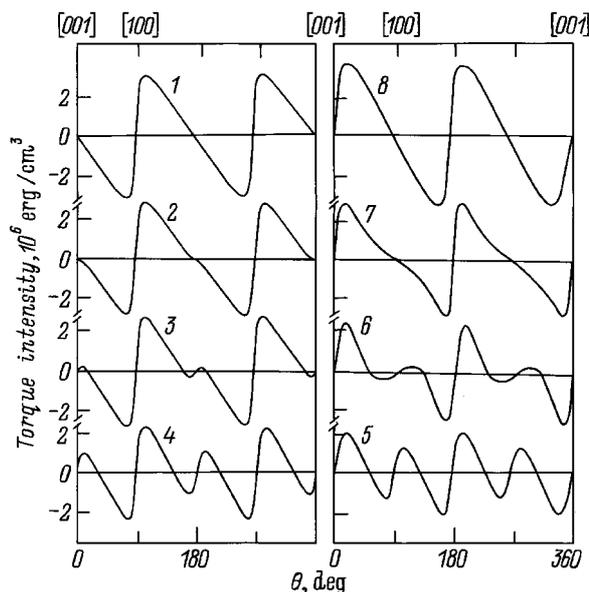


Рис. 1. Экспериментальные кривые вращающего момента для монокристалла DyFe₁₁Ti при разных температурах. T (К): 1 — 300, 2 — 250, 3 — 235, 4 — 205, 5 — 165, 6 — 125, 7 — 118, 8 — 78.

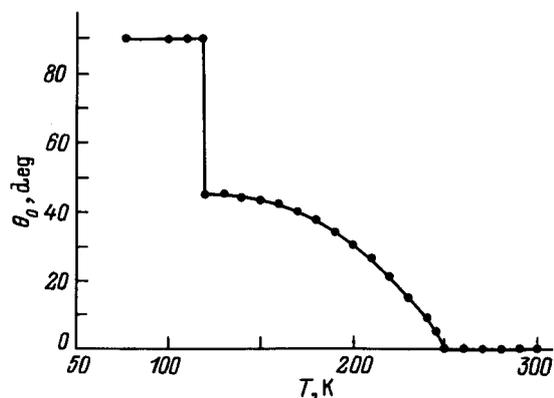


Рис. 2. Температурная зависимость угла θ_0 отклонения магнитного момента от кристаллографической оси c монокристалла $\text{DyFe}_{11}\text{Ti}$.

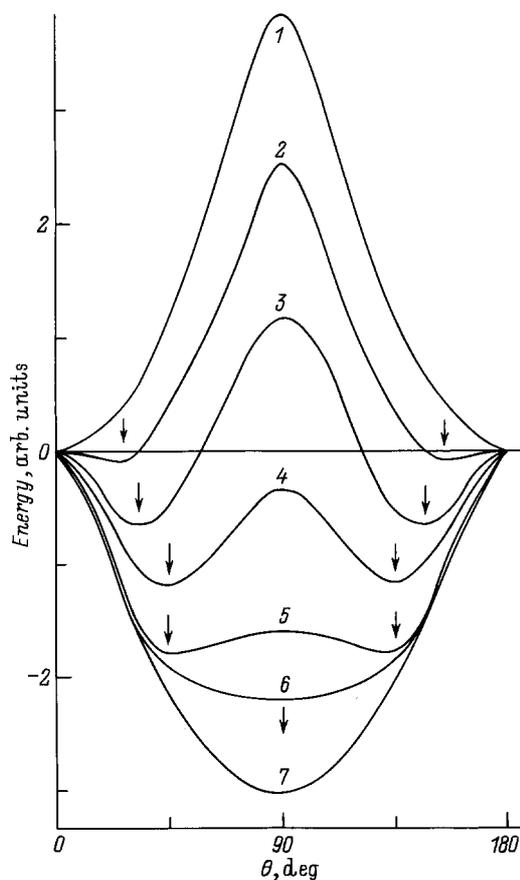


Рис. 3. Экспериментальные угловые зависимости энергии магнитной анизотропии монокристалла $\text{DyFe}_{11}\text{Ti}$ в плоскости (010) при 300 (1), 235 (2), 205 (3), 165 (4), 125 (5), 121 (6) и 118 К (7).

зотропии для плоскости (010) были получены путем интегрирования экспериментальных кривых вращающего момента $L(\theta)$. На рис. 3 показаны угловые зависимости энергии при разных температурах от 118 до 300 К. Из рис. 3 видно, что на кривой зависимости $E(\theta)$ наблюда-

ются минимумы. В интервале температур 300–125 К они располагаются симметрично относительно оси ординат и постепенно сближаются при понижении температуры, что указывает на плавное "раскрытие" конуса ОЛН ниже температуры $T_1 = 250$ К. Однако при $T < 125$ К скачком возникает один минимум, что указывает на наличие фазового перехода первого рода вблизи $T_2 = 122$ К.

Таким образом, исследование, проведенное на монокристаллических образцах методом анализа температурной зависимости $L(\theta)$, позволило выявить сложное температурное поведение магнитокристаллической анизотропии и сделать следующие выводы.

1) СПП возникает в результате конкуренции магнитной анизотропии двух подрешеток (подрешетки Dy и Fe). При высоких температурах ($T > 250$ К) преобладает эффективное поле магнитной анизотропии подрешетки Fe, которое ориентирует I_s вдоль оси c ; при низких температурах преобладает эффективное поле анизотропии подрешетки Dy, которое ориентирует I_s в базисную плоскость.

2) В соединении $\text{DyFe}_{11}\text{Ti}$ при $T_1 = 250$ К существует плавный СПП типа ОЛН–конус ОЛН, при котором магнитный момент соединения при охлаждении отклоняется от оси c в плоскость (010), достигая значения $\theta_0 = 45^\circ$.

3) При $T_1 = 122$ К наблюдается скачкообразная переориентация магнитного момента в базисную плоскость (фазовый переход первого рода).

В заключение авторы выражают благодарность С.А. Никитину и В.В. Зубенко за помощь при обсуждении результатов.

Данная работа была поддержана грантами Российского фонда фундаментальных исследований № 96-02-18271 и 3/97-52.

Список литературы

- [1] Н.В. Кудреватых, М.И. Барташевич, В.А. Реймер, С.С. Сигаев, Е.Н. Тарасов. ФММ **70**, 11, 53 (1990).
- [2] В.-П. Ну, Н.-С. Ли, J.M.D. Coey. Phys. Rev. **B41**, 4, 2221 (1990).
- [3] P.H. Quang, N.H. Luong, N.P. Thuy. J. Magn. Magn. Mater. **128**, 67 (1993).
- [4] К.Ю. Гуслиенко, X.C. Kou, R. Grossinger. J. Magn. Magn. Mater. **150**, 383 (1995).
- [5] В.-П. Ну, Н.-С. Ли, J.P. Gavigan, J.M.D. Coey. J. Phys.: Condens. Matter **1**, 755 (1989).
- [6] X.C. Kou, T.S. Zhao, R. Grossinger, H.R. Kirchmayr, X. Li, F.R. de Boer. Phys. Rev. **B47**, 6, 3231 (1993).
- [7] О.А. Золотухин, В.В. Зубенко, Т.И. Иванова, С.А. Никитин, В.В. Сергеев, И.В. Телегина, И.С. Терешина. Вестн. МГУ. Сер. 3. Физика, астрономия **34**, 5, 80 (1993).
- [8] К.П. Скоков, М.Б. Ляхова, Ю.Г. Пастушенков, Т.И. Иванова, И.В. Телегина, В.В. Зубенко. В сб.: Учен. зап. ТГУ. Тверь (1996). Т. 1. С. 138.