

МАГНИТНОЕ ПРОМЕЖУТОЧНОЕ СОСТОЯНИЕ В ДИСПРОЗИЕВОМ ОРТОФЕРРИТЕ

Н.Ф.Харченко, Г.Шимчак, В.В.Еременко,
С.Л.Гнатченко, Р.Шимчак

С помощью визуального поляризационного метода обнаружено и исследовано магнитное промежуточное состояние в диспрозиевом ортоферрите, возникающее в магнитном поле при переходе кристалла из антиферромагнитного состояния (G_y) в слабоферромагнитное ($G_x F_z$). В плоскости (HT) определена область существования промежуточного состояния. Получены зависимости концентрации фаз и размеров доменов от напряженности магнитного поля. Показано, что наблюдаемая доменная структура магнитного промежуточного состояния близка к термодинамически равновесной.

В работе изучалось магнитное промежуточное состояние (МПС) [1], возникающее в $DyFeO_3$ при спин-ориентационном фазовом переходе типа $G_y \rightarrow G_x F_z$ (антиферромагнетик – слабый ферромагнетик), индуцируемом магнитным полем $H \parallel c$. Магнитные измерения указывают на резкий характер этого перехода, а теоретическое рассмотрение говорит о том, что переход $G_y \rightarrow G_x F_z$ должен быть фазовым переходом первого рода [2]. В эксперименте использовалась пластинка $DyFeO_3$ толщиной 40 мкм, вырезанная перпендикулярно оси, из кристалла, выращенного гидротермальным способом. Поверхности пластинки подвергались химико-механической полировке.

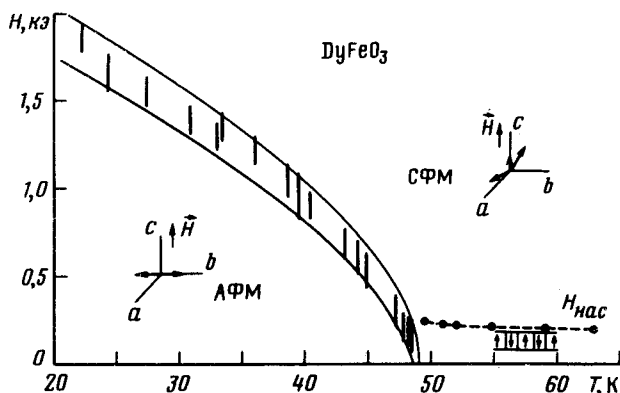


Рис. 1. Фазовая диаграмма диспрозиевого ортоферрита вблизи точки Морина

При разрушении антиферромагнитного (АФМ) состояния в интервале магнитных полей ΔH наблюдается сосуществование АФМ и слабоферромагнитной (СФМ) фаз. Фазы сосуществуют в виде хорошо выраженных чередующихся полосовых доменов. Положение интервалов ΔH в зависимости от температуры показано на рис. 1. Характерный вид доменной структуры в зависимости от H иллюстрируется рис. 2. СФМ

фаза зарождается, как правило, вблизи краев пластинки в виде цилиндрических доменов, часто сливающихся в один краевой домен переменной толщины и ширины. Из краевого домена почти одновременно вырастают при небольшом увеличении поля полосовые домены. Домены стремятся расположиться периодически, причем при образовании МПС выявляется тенденция к скачкообразному удвоению периода структуры (кадры 1 – 3). После достижения некоторого значения период структуры перестает изменяться и остается постоянным в диапазоне полей,

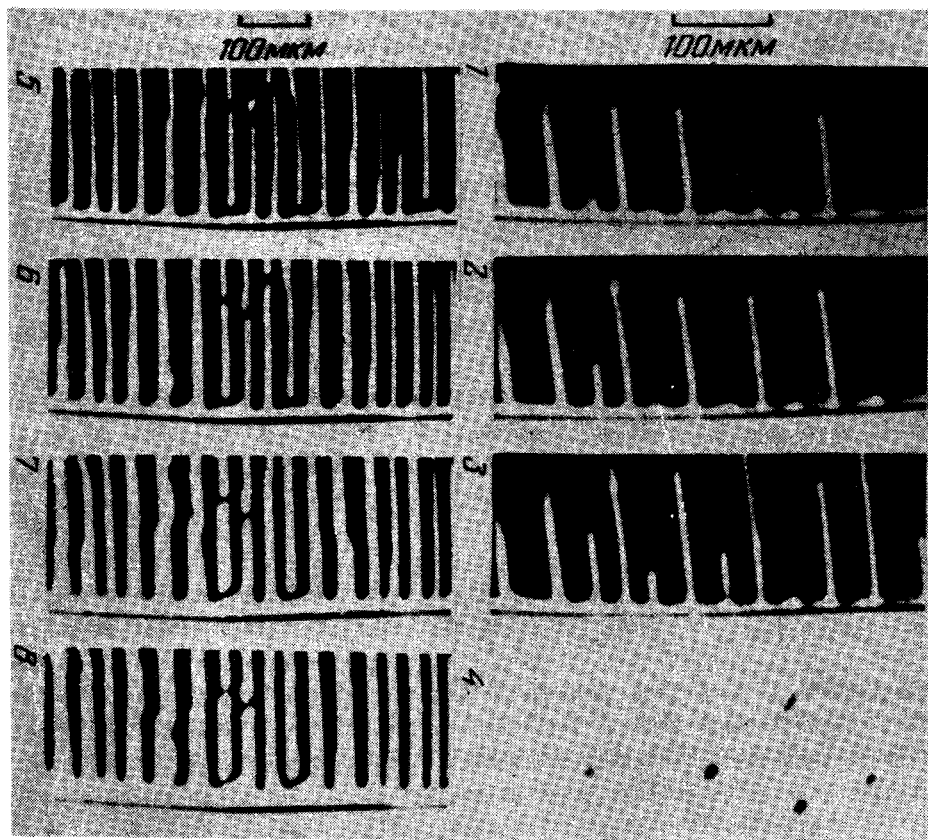


Рис. 2. Доменная структура магнитного промежуточного состояния (поляризаторы скрещены: светлые области – СФМ, темные – АФМ фазы). $T = 42,5\text{К}$, $H(\text{э}) = 658$ (1), 662 (2), 670 (3), 852 (4), 710 (5), 728 (6), 754 (7), 768 (8). Стрелки на кадре 7 указывают на характерные образования в виде ступенек

составляющем больше $1/3$ всего интервала существования МПС. Рост новой фазы в этих полях происходит за счет увеличения ширины доменов (кадры 5 – 8). Ширина доменов изменяется путем быстрого продвижения ступенек (кадр 7), наименьшая высота которых составляет около $1/5$ ширины домена. При дальнейшем увеличении поля период структуры снова увеличивается, а скорость изменения ширины АФМ доме-

нов замедляется. Затем образуются и коллапсируют цилиндрические домены АФМ фазы (кадр 4). Вид доменной структуры и ее период почти не зависят от пути движения к данной точке в плоскости (HT). Во всем интервале полей ΔH , за исключением крайних участков, концентрация фаз, определенная как нормированная сумма ширин всех доменов, пересекающих среднюю линию образца, изменяется по отчетливо выраженному линейному закону (рис. 3, а).

Для описания доменной структуры МПС при концентрациях фаз $\rho \ll 1$ и $(1 - \rho) \gg 0$ можно использовать приближение, в котором внутреннее магнитное поле, усредненное по участку образца много большем размера домена остается постоянным и равным полю перехода [1]. Концентрация фаз в этом случае изменяется по линейному закону

$$\rho = \frac{H - H_{\Pi}}{N_z [M + (\chi_{\text{СФМ}} - \chi_{\text{АФМ}}) H_{\Pi}]}$$

Здесь H_{Π} — поле перехода, N_z — размагничивающий фактор пластины, χ_i — восприимчивости фаз в направлении оси c . Если $M \gg \Delta \chi H_{\Pi}$ [2], то интервал ΔH определяется магнитным моментом СФМ фазы $\Delta H = N_z M$. Определенное путем экстраполяции линейной зависимости $\rho(H)$ к 0 и 1 значение ΔH равно 235 э. Оно практически совпадает со значением поля $H_{\text{нас}} = 240$ э, при котором исчезают СФМ домены вблизи T_M . Очень близкому количественному согласию значений ΔH и $H_{\text{нас}}$ не следует придавать большого значения, так как если ΔH , определенное путем экстраполяции прямой $\rho(H)$, близко к значению $N_z M$, то поле насыщения $H_{\text{нас}}$, определяемое по исчезновению СФМ доменов, может быть меньше $N_z M$ на величину $\sim 8(\sigma/2t)^{1/2}$ [3], которая может составлять около 15% от поля насыщения.

Наблюдаемую величину доменов в МПС удобно сравнить с величиной доменов в СФМ фазе вблизи T_M при $H = 0$. Считая магнитный момент СФМ фазы неизменным, для ширины домена можно записать $d = \rho D$, где период D равен [1, 4]:

$$D = \left(\frac{\sigma t}{F(\rho) M^2} \right)^{1/2}$$

Здесь t — толщина пластины, σ — поверхностная энергия доменной границы, $F = 1,71/4$ в случае СФМ фазы и $F = 1,71/16$ в случае МПС при $\rho = 1/2$. Отношение размеров доменов

$$\frac{d_{\text{МПС}}}{d_{\text{СФМ}}} = 2 \left(\frac{\sigma_{\text{МПС}}}{\sigma_{\text{СФМ}}} \right)^{1/2}$$

Средние экспериментальные значения $2d_{\text{СФМ}}$ и $2d_{\text{МПС}}$ равны соответственно 25 и 37 мкм, откуда $\sigma_{\text{СФМ}}/\sigma_{\text{МПС}} = 1,83$, т. е. энергия 180-градусной доменной границы между СФМ доменами почти в два раза боль-

ше 90-градусной межфазной границы в МПС. Такое соотношение энергий доменных границ согласуется с представлением, что обе границы принадлежат к одному и тому же типу и различаются между собой только углами разворотов спинов [5]. Зависимость средней величины наблюдаемой ширины СФМ доменов в МПС качественно согласуется с теоретической зависимостью $d(H)$ для термодинамически равновесной доменной структуры МПС (рис. 3, б). Кривая $d(H)$ на рисунке нормирована на экспериментальное значение d при $\rho = 1/2$. При ее расчете мы использовали результаты работы [4], где изучалась доменная структура ПС в сверхпроводниках.

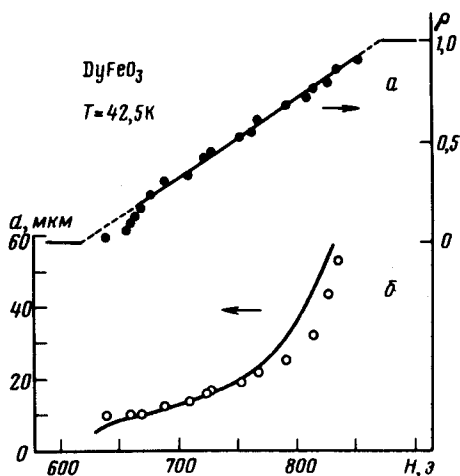


Рис. 3. Зависимости концентрации (а) и ширины доменов (б) СФМ фазы в МПС от напряженности магнитного поля, $T = 42,5\text{K}$

На краях области существования МПС домены новой фазы должны появляться одновременно и располагаться периодически. Величину периода можно оценить, используя результаты работы [1]. Наши оценки дают для него величину близкую к $N_z t / 2\pi \approx 2t$. Период возникающей доменной структуры (рис. 2, кадры 1 – 3) близок к 72 мкм и составляет $1,8t$. Отметим также, что при образовании и исчезновении МПС часто наблюдаются цилиндрические СФМ и АФМ домены, которые должны быть термодинамически устойчивыми на краях области существования МПС [6].

Резюмируя, можно сказать, что переход $G_y \rightarrow G_x F_z$ в DyFeO_3 действительно является переходом первого рода, а сосуществующие в исследуемом образце магнитные фазы образуют устойчивое МПС, доменная структура которого близка к термодинамически равновесной.

В заключение авторы благодарят А.Е.Боровика, К.Л.Дудко, В.А.Попова за полезные обсуждения и дискуссии.

Физико-технический институт
низких температур
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
31 января 1977 г.

Литература

- [1] В.Г.Барьяхтар, А.Е.Боровик, В.А.Попов. Письма в ЖЭТФ, 9, 634, 1969; ЖЭТФ, 62, 2233, 1972.

- [2] К.П.Белов, А.К.Звездин, А.М.Кадомцева, И.Б.Крыницкий. ЖЭТФ, 67, 1974, 1974.
- [3] С.Кооу. U.Euz. Philips Res. Repts., 15, 7, 1960.
- [4] Е.М.Ли́фшиц, Ю.В.Шарвин. ДАН СССР, 79, 783, 1951.
- [5] В.Г.Барьяхтар, А.Е.Боровик, В.А.Попов, Е.П.Стефановский. ЖЭТФ, 59, 1299, 1970.
- [6] Ю.И.Горобец. ФТТ, 18, 2162, 1976.
-