

ОБРАЗОВАНИЕ ФРОНТА ПЕРЕХОДА АФМ → СФМ В $DyFeO_3$ В ПОЛЕ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ АФМ ФАЗЫ

С.Л. Гнатченко, А.Б. Чижик, Н.Ф. Харченко

При переходе из АФМ в СФМ состояние в поле потери устойчивости АФМ фазы в $DyFeO_3$ обнаружено образование фронта перехода, движущегося со скоростью намного превышающей скорость межфазовых границ. Определена линия потери устойчивости АФМ состояния на фазовой Н–Т диаграмме $DyFeO_3$.

В работе исследовался процесс фазового превращения из антиферромагнитного (АФМ) в слабоферромагнитное (СФМ) состояние в ортоферритах диспрозия при условии, когда величина внешнего поля, индуцирующего фазовый переход, достигала поля потери устойчивости АФМ фазы. Внешнее поле ориентировано вдоль оптической оси кристалла под углом $\beta \approx 55^\circ$ к оси c в bc -плоскости и вызывало фазовый переход $\Gamma_{14} \rightarrow \Gamma_4$. Исследования проводились методом высокоскоростной фотографии. Основные характеристики используемой экспериментальной установки приведены в¹. Образец помещался в постоянное магнитное поле $H_c \approx H_n + \frac{1}{2}\Delta H$, приводившееся к образованию полосовой доменной структуры из чередующихся доменов АФМ и СФМ фаз. H_n – поле фазового перехода, а $\Delta H \approx 4\pi(m_{\text{СФМ}} - m_{\text{АФМ}})$ – область существования равновесного промежуточного состояния. После образования равновесной доменной структуры к образцу прикладывалось импульсное магнитное поле H_i длительностью около 10 мкс. Амплитуду H_i можно было варьировать от нуля до 3,5 кЭ.

При небольших значениях H_i переход из двухфазного состояния АФМ + СФМ в однородное СФМ состояние совершился путем движения межфазовых границ (МГ) и захлопывания невыгодных АФМ доменов. С ростом H_i при достижении им определенного значения в образце возникал быстро движущийся фронт перехода (ФП), который проходя от одного края пластиинки к другому приводил к исчезновению АФМ фазы (рис. 1). Скорость движения ФП v_Φ достигала 1 км/с и почти на два порядка превышала скорость движения МГ в полях близких к полю образование фронта.

Образование фронта перехода, наблюдавшееся в проведенных экспериментах, связывает ся нами с достижением поля потери устойчивости АФМ фазы. Переход из АФМ в СФМ сос-

тояние в поле равном полю лабильности АФМ фазы $H_{\text{лаб}}^{\text{АФМ}}$ должен происходить путем однородного вращения спинов. Однако такое протекание процесса перехода можно ожидать только в однородных образцах и в однородном поле. В реальных же образцах всегда имеют место неоднородности состава, упругих напряжений и т. д., которые могут привести к неоднородности $H_{\text{лаб}}^{\text{АФМ}}$ по кристаллу. Одновременно с внутренними неоднородностями необходимо также учесть и неоднородность импульсного поля, создаваемого двумя плоскими катушками. Из-за неоднородностей $H_{\text{лаб}}^{\text{АФМ}}$ и H_i по образцу при увеличении внешнего поля состояние потери устойчивости АФМ фазы будет достигнуто в различных точках кристалла неодновременно. Поэтому и переход АФМ \rightarrow СФМ произойдет неодновременно по всему образцу, что приведет к образованию ФП, движущегося по кристаллу по мере увеличения внешнего поля. ФП в этом случае представляет собой поверхность в образце, в каждой точке которой в данный момент времени достигнуто значение $H_{\text{лаб}}^{\text{АФМ}}$.

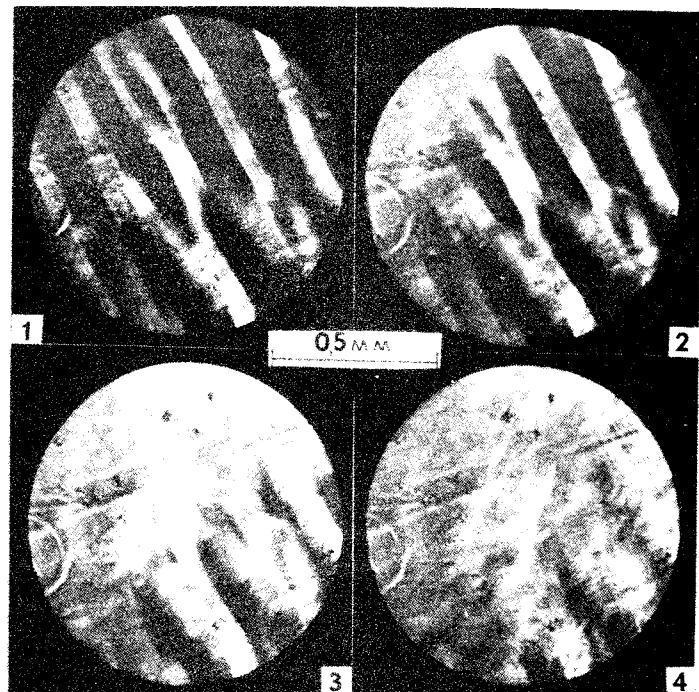


Рис. 1. Переход из двухфазного состояния АФМ + СФМ в однородное СФМ состояние в DyFeO_3 в поле потери устойчивости АФМ фазы. $T = 34,5 \text{ K}$; $H_c = 2,3 \text{ кЭ}$; $H_i \approx 3 \text{ кЭ}$. Время после включения импульсного поля: 1 — $t = 0$; 2 — 3 мкс; 3 — 3,5 мкс; 4 — 4 мкс. Скорость движения межфазовых границ $v \approx 14 \text{ м/с}$. Скорость движения фронта перехода $v_\phi \approx 400 \text{ м/с}$

Для проверки этого предположения были проведены эксперименты по наблюдению образования ФП в импульсных полях с различной скоростью нарастания поля dH/dt . Оказалось, что значение поля H_1 в котором появляется ФП, и значение поля H_2 , в котором пройдя через весь образец, ФП исчезает, действительно не зависит от dH/dt . Время же прохождения

ФП через образец и, соответственно, скорость его движения различны в полях с разным значением dH/dt и определяются временем нарастания H_i от значения H_1 до значения H_2 .

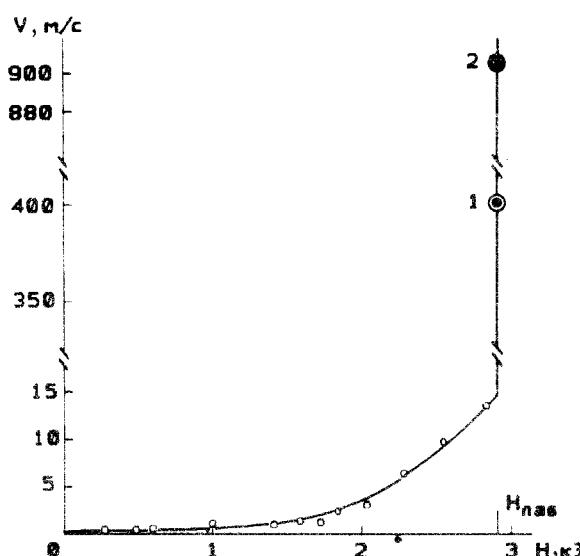


Рис. 2. Зависимость скорости движения межфазной границы от напряженности приводящего импульсного поля (точки \square). Точками \circ показана скорость движения фронта перехода при различных скоростях нарастания импульсного поля: 1 – $dH/dt \approx 200$ Э/мкс; 2 – $dH/dt \approx 450$ Э/мкс. Температура образца $T = 34,5$ К

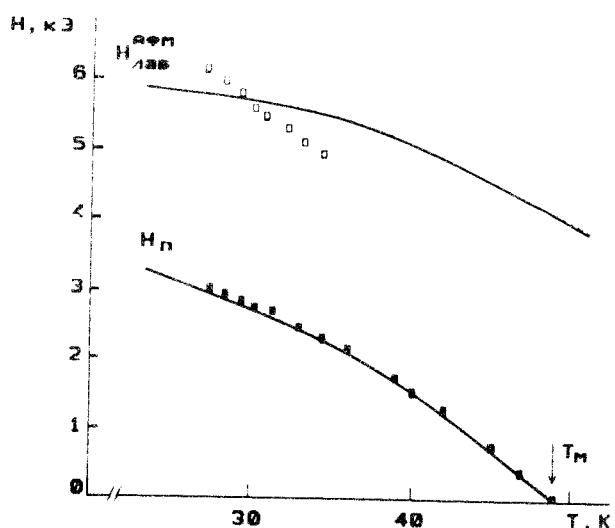


Рис. 3. Фазовая H - T -диаграмма $DyFeO_3$ для $H = (0, H_y, H_z)$ при $\beta \approx 55^\circ$, где β – угол между H и осью c , $H_{\text{п}}$ – поле фазового перехода АФМ \leftrightarrow СФМ, $H_{\text{лаб}}^{\text{AFM}}$ – поле потери устойчивости АФМ фазы. Точки – экспериментальные значения, линии – расчет. Температура Морина кристалла $T_m \approx 49$ К

На рис. 2 показана зависимость скорости движения межфазной границы от напряженности импульсного приводящего поля, а также приведены для сопоставления скорости движения фронта перехода для двух импульсных полей с различными скоростями нарастания dH/dt . Из рисунка отчетливо видно, что скорость движения МГ стремится к постоянному значению при $H \rightarrow H_{\text{лаб}}^{\text{AFM}}$. Скорость движения ФП зависит от dH/dt и может принимать значения, соответствующие точкам на вертикальной линии, показанной на рис. 2. Достигнутые значения v_{ϕ} еще недостаточно велики, чтобы можно было ожидать появления нелинейных процессов, влияющих на скорость и форму фронта. Проявления влияния нелинейных процессов на кинетику фазового превращения в поле потери устойчивости АФМ фазы можно ожидать, когда время нарастания импульсного поля станет сравнимо с временами релаксации спиновой системы.

Метод изучения кинетики фазового превращения в импульсных полях с короткими временами нарастания H_i был использован для определения линии полей лабильности $H_{\text{лаб}}^{\text{AFM}}$ (T)

на фазовой $H-T$ -диаграмме DyFeO_3 , приведенной на рис. 3. Экспериментальные точки на линии фазовых переходов $\Gamma_{14} \leftrightarrow \Gamma_4$ диаграммы определялись из визуальных наблюдений появления СФМ фазы в стационарных полях. Точки на линии потери устойчивости АФМ фазы найдены в результате наблюдений образования ФП в импульсных полях. Каждая из этих точек соответствует усредненному по образцу значению $H_{\text{лаб}}^{\text{АФМ}} = \frac{1}{2}(H_1 + H_2)$ для данной температуры. Исходя из термодинамического потенциала^{2, 3}

$$\Phi = \Phi_0 + [K_2 - \frac{1}{2}\chi_{\perp}(1+\eta_y)^2 H_y^2] \cos 2\varphi + K_4 \cos 4\varphi - m_z^0 H_z \cos \varphi \quad (1)$$

были рассчитаны линии $H_{\text{лаб}}(T)$ и $H_{\text{лаб}}^{\text{АФМ}}(T)$, приведенные на рис. 3. Линия фазовых переходов АФМ \leftrightarrow СФМ рассчитывалась по формуле

$$H_{\text{п}} = \frac{4(K_2 - 4K_4)}{m_z^0 \cos \beta} \frac{\{1 - [1 - K_2(1-\kappa)/(K_2 - 4K_4)]^{1/2}\}}{(1-\kappa)} \quad (2)$$

$$\kappa = 8\chi_{\perp}(K_2 - 4K_4) \left(\frac{1+\eta_y}{m_z^0}\right)^2 \tan^2 \beta,$$

а линия $H_{\text{лаб}}^{\text{АФМ}}(T)$ — путем численного решения уравнения $\frac{d^2\Phi}{d\varphi^2}|_{\varphi=\varphi_0} = 0$. При расчете использовались константы, полученные в⁴.

Наблюдаются хорошее согласие расчетной линии $H_{\text{п}}(T)$ с экспериментальными точками. Экспериментальные и расчетные значения $H_{\text{лаб}}^{\text{АФМ}}$ согласуются хуже. Причиной наблюдаемого отличия могут быть неконтролируемые неоднородные по образцу отклонения направления импульсного поля от избранной ориентации, которые не учитывались при расчете. Экспериментальные же значения $H_{\text{п}}$, определяемые в более однородном стационарном поле должны лучше согласоваться с расчетом.

В заключение отметим, что приведенная интерпретация образования фронта перехода подтверждается еще и тем, что ФП не образуется при изменении направления импульсного поля на противоположное при амплитуде H_i вплоть до 3,5 кЭ. С изменением направления импульсного поля появления ФП можно ожидать при достижении поля потери устойчивости СФМ фазы. Абсолютное же значение $H_{\text{лаб}}^{\text{СФМ}}$ намного превышает $H_{\text{лаб}}^{\text{АФМ}}$. Расчетная линия $H_{\text{лаб}}^{\text{СФМ}}(T)$ на фазовой $H-T$ -диаграмме в исследованном интервале температур проходит ниже линии $H_{\text{п}}(T)$ на 15 кЭ, в то время как разность $H_{\text{лаб}}^{\text{АФМ}} - H_{\text{п}}$ составляет всего 3 кЭ.

Авторы выражают благодарность В.В.Еременко за полезные обсуждения работы.

Литература

1. Гнатченко С.Л. и др. ФНТ, 1986, 12, 1111.
2. Белов К.П. и др. Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках. М.: Наука, 1979.
3. Звездин А.К., Мухин А.А. Крат. сообщ. по физике. ФИАН, 1985, 6, 11.
4. Kharchenko N.F. et al. Acta Phys. Pol. A, 1985, 68, 347.