



УДК 537.632.4;636

© Ю. И. Щербаков, 2007

ДИНАМИКА ОДИНОЧНОЙ ПЛОСКОЙ ДОМЕННОЙ ГРАНИЦЫ В ПЛАСТИНКАХ СЛАБЫХ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ YFeO_3 , FeVO_3 И $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$

Щербаков Ю. И. – канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры «Физика» (ТОГУ)

В работе представлены экспериментальные результаты по исследованию торможения одиночной доменной границы при ее движении под действием управляющего магнитного поля в монокристаллических пластинках слабых ферромагнетиков. Результаты обсуждаются с использованием механизма взаимодействия магнитной и упругой подсистем кристаллов.

The paper deals with experimental effects on examination of inhibiting action of single domain boundary at its motion under activity of a driving magnetic field in monocrystal platelets of feeble Ferro magnets. The results are discussed with use of the interaction mechanism of magnetic and elastic subsystems of crystals.

Введение

Слабые ферромагнетики (неколлинеарные антиферромагнетики) получили такое название из-за малой величины намагниченности по сравнению с ферромагнитными кристаллами. Например, у иттриевого феррита-граната ($\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$) намагниченность насыщения при комнатной температуре составляет $M_S = 140 \cdot 10^3$ А/м, а у иттриевого ортоферрита (YFeO_3) $M_S = 8,4 \cdot 10^3$ А/м. Несмотря на то, что у слабых ферромагнетиков намагниченность на порядок меньше, чем у ферритов-гранатов, они имеют сравнимые по порядку величины магнитооптические эффекты. Высокая магнитооптическая добротность и высокая температура Нееля в рассматриваемых слабых ферромагнетиках вызывают интерес к ним у разработчиков устройств (модуляторов, вентилях и др.) для оптической связи. Важным свойством этих устройств является их быстродействие, связанное со скоростью движения доменных границ (ДГ).

Результаты и их обсуждение

Экспериментально с помощью магнитооптического эффекта Фарадея определены предельные скорости ДГ: $c = 20 \cdot 10^3$ м/с для YFeO_3 и $14 \cdot 10^3$ м/с для бората железа (FeBO_3), что превышает скорости звука в этих кристаллах [1, с. 1656–1660], [2, с. 207–209]. Скорости поперечного и продольного звуков в YFeO_3 соответственно равны $v_t = 4,1 \cdot 10^3$ м/с и $v_l = 7,2 \cdot 10^3$ м/с, а в FeBO_3 $v_{t1} = 4,6 \cdot 10^3$ м/с, $v_{t2} = 7,0 \cdot 10^3$ м/с и $v_l = 10,5 \cdot 10^3$ м/с. Следует отметить, что в FeBO_3 при скоростях ДГ, больших скорости продольного звука, ДГ теряла устойчивость и становилась широкой.

Как следует из теории [3, с. 417–458], предельная скорость c прямо пропорциональна температуре Нееля:

$$c \approx akT_N / \hbar,$$

где a – постоянная решетки; k – постоянная Больцмана; T_N – температура Нееля; $\hbar$ – приведенная постоянная Планка. Используя это соотношение, получаем для гематита ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) $c = 30 \cdot 10^3$ м/с, что является наибольшей скоростью движения ДГ в кристаллах.

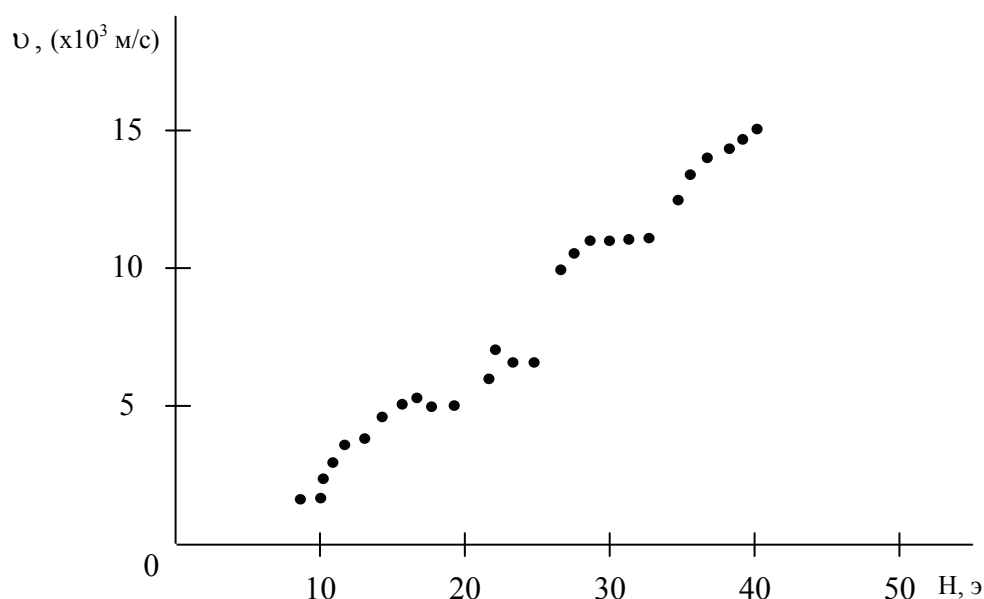
Исследование движения ДГ под действием внешнего продвигающего магнитного поля H [1], [2], [4, с. 939] показало, что зависимость скорости ДГ $v(H)$ носит нелинейный характер и имеет ряд интервалов ΔH , где $v = \text{const}$ при возрастании поля. Постоянство скорости означает, что ДГ тормозится в этом интервале ΔH (рисунок). На рисунке показана зависимость скорости движения одиночной ДГ v в образце FeBO_3 от амплитуды продвигающего магнитного поля H . Как показано экспериментально и теоретически [3], торможение ДГ при скоростях ее, равных скоростям поперечного и продольного звуков, обусловлено магнитоупругими взаимодействиями. Аналогично при совпадении скорости ДГ со скоростью объемных спиновых волн ($v = c$) также наблюдается торможение ДГ.

Однако возникли трудности с объяснением других значений скоростей ДГ, выше и ниже звуковых скоростей, при которых наблюдается торможение [1, 4].

Из общих соображений следует, что резонансное торможение ДГ происходит при взаимодействии ее с одним из вышеназванных возбуждений (фононов и магнонов), вызываемых движением ДГ в условиях фазового синхронизма для магнитной и упругой подсистем кристалла. Перевороты спинов атомов железа, распространяясь по кристаллу при движении ДГ, вызывают смещение ионов, т. е. деформацию, которая распространяется в виде звуковой волны. В условиях фазового син-



хронизма имеем: $\omega = \omega_i$, $k = k_i$. Здесь ω , k – частота и волновое число соответственно спектральной компоненты вынуждающей силы, создаваемой движущейся ДГ, которые связаны соотношением $\omega = kv$, где v – скорость ДГ. Частота ω_i и волновое число k_i относятся к одному из указанных выше возбуждений.



Зависимость скорости движения одиночной доменной границы в образце FeVO_3 от амплитуды продвигающего магнитного поля. Температура комнатная

В соответствии с законом сохранения импульса для рассматриваемых квазичастиц (фононов и магнонов) можно записать: $nk = mk_i$, здесь n и m – целые числа. В частности, при равных частотах, получаем: $n/v = m/v_{ph}$, где v_{ph} – скорость фононов (v_t или v_l). Тогда для скоростей ДГ получаем

$$v = \frac{n}{m} v_{ph}.$$

При $n = 1$ и $m = 1$ $v = v_{t,l}$, т. е. возбуждается один фонон.

При $m = 1$, $n = 2, 3, \dots$ тоже возбуждается один фонон, но торможение ДГ будет наблюдаться на скоростях ее, больших скорости звука, равных $v = n v_{t,l}$. Для скоростей ДГ $v \leq v_{ph}$ будет выполняться при $n = 1$ соотношение $v = v_{t,l}/m$. Следовательно, доменная граница будет



тормозиться и при движении со скоростями, меньшими скорости звука. Не исключено также, что несколько магнонов возбуждают несколько фононов.

Расчет скоростей движения ДГ, при которых ожидается резонансное торможение, дает значения, близкие к экспериментальным данным, полученным в YFeO_3 и FeVO_3 [1, 2, 4]. Так, практически для всех образцов YFeO_3 наблюдаются значения постоянных скоростей ДГ на зависимости $v(H)$, равные примерно $(10, 12, 14, 16, 20) \cdot 10^3$ м/с [1]. В образцах FeVO_3 [2, 4] торможение наблюдалось при $v = (2,0; 2,2; 3,0; 3,6; 4,6; 7,0; 10,5; 14,0) \cdot 10^3$ м/с. Представляет интерес провести исследование динамики одиночной ДГ в гематите, где ожидается, в частности, торможение при $v = 6,8 \cdot 10^3$ м/с и $4,4 \cdot 10^3$ м/с, равных соответственно скоростям продольного и поперечного звуков.

Заключение

Таким образом, большинство случаев постоянства скоростей движения одиночных ДГ при перемагничивании монокристаллических образцов YFeO_3 и FeVO_3 , экспериментально наблюдаемых с помощью магнитооптического эффекта Фарадея, достаточно хорошо объясняется механизмом многочастичного взаимодействия (фононов и магнонов). Не исключено, что возможны и другие механизмы торможения ДГ, связанные, например, с возбуждением движущейся доменной границей поверхностных упругих и магнитных волн [4], [5, с. 49].

Библиографические ссылки

1. Резонансное торможение доменной границы в ортоферритах на винте-ровских магнонах / М. В. Четкин, А. П. Кузьменко, А. В. Каминский, В. Н. Филатов // ФТТ. 1998. Т. 40. № 9.
2. Нелинейная динамика доменных границ в FeVO_3 / М. В. Четкин, Ю. И. Щербаков, С. Н. Гадецкий, В. Д. Терещенко // ЖТФ. 1985. Т. 55. Вып. 1.
3. Динамика доменных границ в слабых ферромагнетиках / В. Г. Барьяхтар, Б. А. Иванов, М. В. Четкин // УФН. 1985. Т. 146. Вып. 3.
4. Ориентационный фазовый переход, индуцированный движущейся доменной границей в борате железа / М. В. Четкин, В. В. Лыков, В. Д. Терещенко // ФТТ. 1990. Т. 32.
5. Упругие колебания в пластинчатом образце ортоферрита иттрия, индуцирование движущейся доменной границы / А. П. Кузьменко, Е. А. Жуков // Письма в ЖТФ. 2006. Т. 32.