

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДВИЖУЩЕЙСЯ ДОМЕННОЙ ГРАНИЦЫ ОРТОФЕРРИТА С ВОЛНАМИ ЛЭМБА

*М.В. Четкин, А.П. Кузьменко, С.Н. Гадецкий,
В.Н. Филатов, А.И. Ахуткина*

Показано, что в интервале от скорости продольного звука до скорости спиновой волны стационарное движение ДГ ортоферрита иттрия имеет место с дискретным набором скоростей, соответствующих фазовым скоростям волн Лэмба в пластинке. Ширина интервалов постоянства скорости растет с уменьшением толщины образца.

Исследования динамики доменных границ (ДГ) в ортоферритах показали, что на зависимости скорости ДГ от импульсного магнитного поля $V(H)$ существует целый ряд особенностей – интервалов, где скорость не меняется. Наиболее ярко они проявляются при совпадении скорости ДГ со скоростями продольного и поперечного звука^{1,2} и спиновой волны^{1,3} на линейном участке ее закона дисперсии. Кроме того, в интервале скоростей от скорости продольного звука до скорости спиновой волны³⁻⁶ существует еще ряд областей постоянства скорости ДГ. В пластинках ортоферрита иттрия толщиной ~ 100 мкм эти области имели ширину порядка нескольких десятков эрстед⁴. В редкоземельных ортоферритах исследования динамики ДГ были ограничены недостаточно высокой подвижностью ДГ этих материалов⁷. В данной работе приводятся результаты исследований зависимости $V(H)$ ДГ в пластинках ортоферрита иттрия толщиной 10, 25 и 40 мкм. В этом случае ширины интервалов постоянства скорости на зависимости $V(H)$ оказались существенно большими, чем на образцах больших толщин. Пластинки YFeO_3 были вырезаны перпендикулярно оптической оси и оси [001]. В этих пластинках изучалась динамика ДГ Блоха и Нееля. В экспериментах использовалась стробоскопическая установка с параметрами, описанными в⁸ и высокоскоростная фотография с импульсами света длительностью 1 нс от лазера на красителе "ок-

сазин", накачиваемого азотным лазером с поперечным разрядом. В последнем случае на фотографической пленке фиксировались два последовательных положения динамической доменной структуры через заданный интервал времени в процессе одного прохода ДГ через образец.

Поля, необходимые для вращения вектора намагниченности ортоферритов, составляют десятки килоэрстед⁹, поэтому исследования зависимости ДГ в слабых ферромагнетиках ортоферритах можно проводить в значительно больших полях, чем в ферритах-гранатах и ряде других ферромагнетиков.

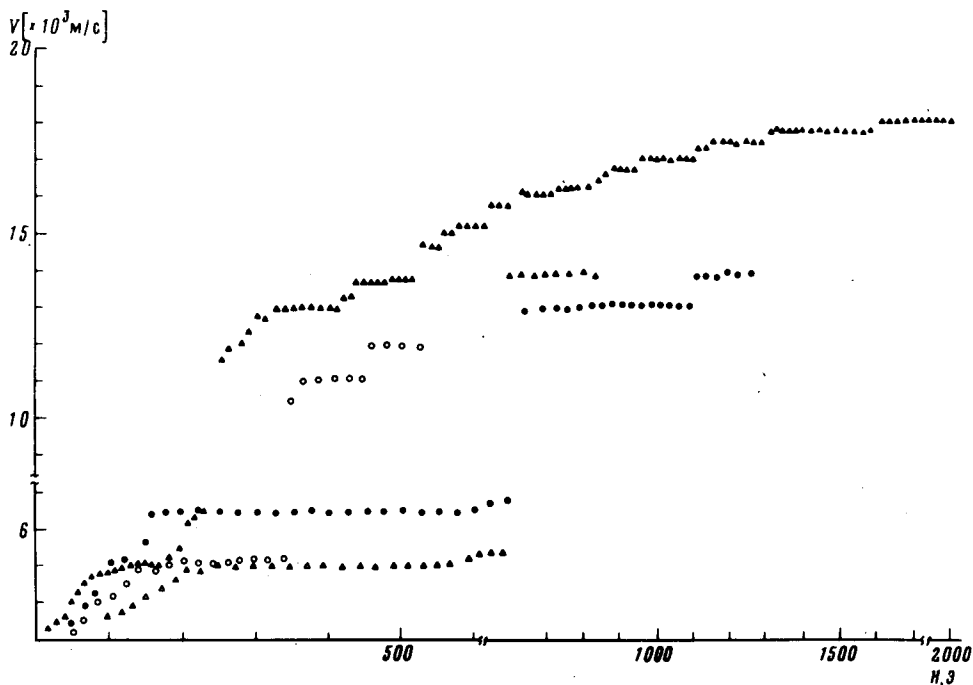


Рис. 1. Скорость доменных границ промежуточного типа в пластинках YFeO_3 с толщинами: ($\blacktriangle\triangle$) — 40 мкм, ($\triangle\triangle$) — 10 мкм и границ Нееля ($\circ\circ\circ$) и Блоха ($\bullet\bullet\bullet$) в пластинке толщиной 25 мкм

Зависимости $V(H)$ ДГ Блоха и Нееля в пластинке YFeO_3 толщиной 25 мкм представлены на рис. 1. Для ДГ Нееля интервал постоянства скорости ДГ при $4 \cdot 10^3$ м/с составляет 250 Э. Это существенно больше, чем наблюдалось ранее на более толстых образцах^{4, 7}. С ростом V наблюдается еще несколько широких интервалов постоянства скоростей ДГ. Для ДГ Блоха особенность при скорости поперечного звука отсутствует. Этот результат соответствует теоретическому предсказанию Звездина и др.¹⁰ и не соответствует экспериментальным данным². Постоянство скорости при $7 \cdot 10^3$ м/с имеет место в интервале 500 Э. Это на порядок больше, чем наблюдалось ранее на образцах больших толщин, вырезанных перпендикулярно оптической оси и оси [001]. На этом же рисунке представлены аналогичные результаты для образца YFeO_3 толщиной 10 мкм, вырезанного перпендикулярно оптической оси. В этом случае интервал постоянства скорости $4 \cdot 10^3$ м/с составляет 500 Э. Все эти результаты получены на стробоскопической установке. Кроме этого, на рис. 1 представлена $V(H)$ ДГ в пластинке YFeO_3 толщиной 40 мкм, перпендикулярной оптической оси, полученная методом высокоскоростной фотографии. Видно образование большего количества областей с постоянной скоростью, чем, например, в образце толщиной 100 мкм^{4, 11}. Из рис. 1 видно, что ДГ движется с некоторыми постоянными скоростями, переход между которыми происходит практически скачком.

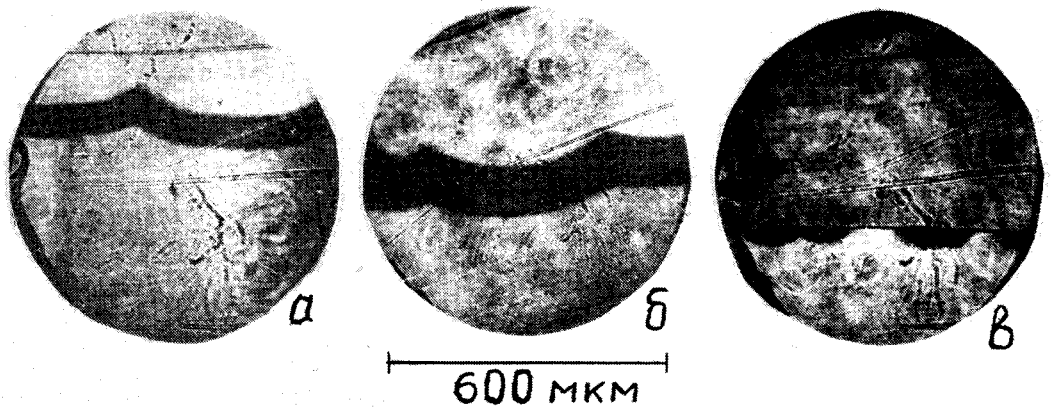


Рис. 2. Две последовательные динамические доменные структуры в пластинке YFeO_3 толщиной 100 мкм, вырезанной перпендикулярно оптической оси, полученные через 5 нс в процессе одного прохода доменной границы через образец: *а* – при комнатной температуре; *б* – при температуре 100К; *в* – переход к неоднородному движению при 100К. Длительность светового импульса 1 нс

Не нашедшие пока своего объяснения дополнительные области постоянства скорости ДГ существуют после прохождения границей скорости продольного V_l и поперечного V_t звука. Этот факт наводит на мысль, что при движении ДГ в ортоферритах со сверхзвуковыми скоростями необходимо учитывать размеры исследуемых пластинок¹¹. В пластинках и слоях конечных размеров существует набор нормальных волн Лэмба, фазовые скорости которых больше, чем скорости продольного и поперечного звука¹². В частном случае симметричных волн:

$$V_S = V_l [1 - (\pi n/kd)^2]^{-1/2}. \quad (1)$$

Здесь d – толщина пластинки, n – целое, k – волновое число.

Последовательность дополнительных областей постоянства скорости ДГ в пластинках YFeO_3 всех толщин может быть удовлетворительно описана формулой вида (1), при этом следует учесть весь набор симметричных и антисимметричных волн Лэмба. Частота волн Лэмба, с которой взаимодействует ДГ, порядка сотен Мгц.

В работе⁸ было показано, что при переходе через скорость поперечного звука движение ДГ ортоферрита перестает быть одномерным и стационарным. Неоднородность движения в тонких образцах возникает при существенно больших полях, чем в более толстых образцах. Искривление движущейся ДГ начинается, по-видимому, по толщине, а в тонком образце искривить ДГ труднее, чем в толстом, поскольку сила поверхностного натяжения ДГ $\sigma\omega/R$. На рис. 2, *а* представлены две последовательные динамические доменные структуры при комнатной температуре в образцах YFeO_3 в процессе одного прохода ДГ. Более темный участок на фотографии проходится ДГ за время 5 нс. Из рис. 2, *а* хорошо видно, что за исключением особых точек на пересечении соседних полукруглых частей ДГ, ДГ движется с постоянной скоростью. На рис. 2, *б* представлен аналогичный результат при 100К. Наглядно виден процесс выравнивания ДГ, описанный в⁸. На рис. 2, *в* представлена фотография движущейся ДГ в момент перехода к неоднородному движению. Длительность импульса света здесь 1 нс. В начале импульса света ДГ остается прямолинейной, а в оставшуюся часть успевает существенно искривиться. Следует отметить, что при использованном временном и пространственном разрешении неоднородность ДГ возникает только при переходе через скорость поперечного звука. Для исследования нестационарности движения ДГ в ортоферритах, обнаруженной в⁸, необходимы импульсы света существенно короче 1 нс.

Авторы выражают глубокую признательность А.С.Боровику-Романову за обсуждение результатов работы.

Литература

1. Четкин М.В., Шалыгин А.Н., Де ла Кампа А. ФТТ, 1977, 19, 3470.
2. Tsang C.H., White R.L., White R.M. J. Appl. Phys., 1970, 49, 6052.
3. Четкин М.В., Де ла Кампа А. Письма в ЖЭТФ, 1978, 27, 168.
4. Четкин М.В., Ахуткина А.И. ЖЭТФ, 1980, 78, 761.
5. Звездин А.К. Письма в ЖЭТФ, 1979, 29, 605.
6. Барьяхтар В.Г., Иванов Б.А., Сукстанский А.Л. ЖЭТФ, 1980, 78, 1509.
7. Четкин М.В., Ахуткина А.И., Ермилова Н.Н., Кузьменко А.П., Дидосян Ю.С. ЖЭТФ, 1981, 81, 2206.
8. Четкин М.В., Гадецкий С.Н., Ахуткина А.И. Письма в ЖЭТФ, 1982, 35, 370.
9. Белов К.П., Звездин А.К., Кадомцева А.М., Левитин В.З. Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках. М.: Наука, 1979.
10. Звездин А.К., Мухин А.А., Попков А.Ф. Препринт №108, ФИАН, 1982.
11. Chetkin M.V., Akhutkina A.I., Gadetsky S.N., Kuzmenko A.P. J. Appl. Phys., 1982, 53, 7864.
12. Викторов И.А. Физические основы применения ультразвуковых волн Релея и Лэмба в технике. М.: Наука, 1966.

Московский государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
24 января 1983 г.