

О ПРЕДЕЛЬНОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ДОМЕННОЙ ГРАНИЦЫ В СЛАБЫХ ФЕРРОМАГНЕТИКАХ

М.В.Четкин, А. де ла Кампа

Исследована скорость движения прямолинейной доменной границы в пластинках ортоферритов, перпендикулярных оптической оси. Показано, что линейная зависимость скорости от амплитуды импульсного магнитного поля нарушается при равенстве скорости доменной стенки скорости поперечного звука и насыщается при скоростях $2 \cdot 10^4$ м/сек. Это насыщение скорости объясняется возбуждением спиновых волн в слабом ферромагнетике движущейся границей. Получено обобщение формулы для предельной скорости доменной границы в ферромагнетике на случай слабых ферромагнетиков, из которой следует величина предельной скорости $1,7 \cdot 10^4$ м/сек в качественном согласии с экспериментом.

В последнее время возрос интерес к исследованию динамики движения доменных границ в ферромагнетиках. Большое внимание уделяется скорости движения цилиндрических доменов и доменных границ в пленках ферритов-гранатов в связи с их использованием в системах памяти [1]. Однако в этом случае удается получить скорости движения порядка нескольких десятков или сотен метров в секунду, что существенно меньше их уокеровского предела. Физическая причина малых скоростей движения доменных границ в ферритах-гранатах связана с возникновением в границе блоховских линий. Значительно более высокие скорости движения доменных границ наблюдаются экспериментально в ортоферритах.

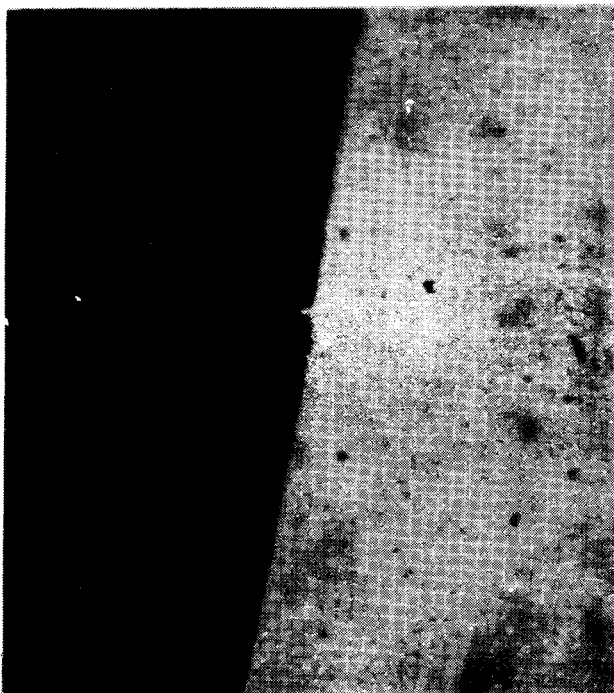


Рис. 1. Доменная структура в пластинке $YFeO_3$, перпендикулярной оптической оси, в магнитном поле с градиентом 500 э/см , направленном по оси a . Толщина пластинки 80 мкм , увеличение $30\times$

Так в работе Уайта [2] методом Сикстуса – Тонкса были получены скорости движения доменных границ $1,2 \cdot 10^4 \text{ м/сек}$. Скорости $2,5 \cdot 10^4 \text{ м/сек}$ без видимого насыщения в больших полях были найдены Кониши [3], который использовал для их измерения метод коллапса цилиндрических магнитных доменов. Движение строго прямо линейной доменной границы в пластинках ортоферритов $YFeO_3$ и $TmFeO_3$ перпендикулярных оптической оси [4], позволяет находить ее скорость [5] точнее, чем в работах [2] и [3]. При градиенте вдоль оси a 500 э/см в пластинке образуется система двух очень контрастных противоположно намагни-

ченных доменов (рис. 1) со строго прямолинейной границей, перпендикулярной поверхности образца. Эта граница при увеличении в 1000 раз наблюдалась в скрещенных поляризаторе и анализаторе. Электрическое поле световой волны, падающей на пластинку ортоферрита, было направлено вдоль границы. Наблюдаемая ширина границы составляла 2 мкм (рис. 2). Это существенно больше ее действительной ширины, которая по оценке равна 300 Å. Экспериментальная зависимость скорости движения строго прямолинейной доменной границы в YFeO_3 в градиентном поле 500 э/см, направленном по оси a , представлена на рис. 3. Линейная зависимость скорости движения доменной границы от амплитуды импульсного магнитного поля нарушается дважды. Первый раз — при ее равенстве скорости поперечных звуковых волн, второй раз — при скорости движения границы $2 \cdot 10^4$ м/сек. Если пробег границы превышает 500 мкм в интервале полей 155 — 185 э, наблюдается нестабильность скорости.

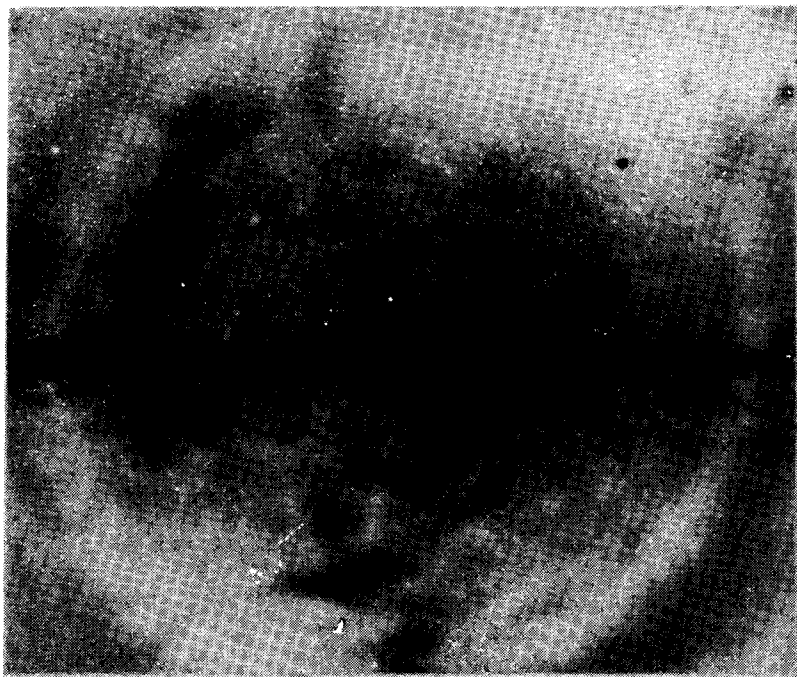


Рис. 2. Доменная граница в образце YFeO_3 , перпендикулярном оптической оси, толщиной 80 мкм, в магнитном поле с градиентом 500 э/см, в скрещенных поляризаторе и анализаторе. Увеличение 1000 \times

Физическая причина существования больших скоростей движения доменных границ в ортоферритах ранее была не ясна. Нам представляется, что ограничение скорости движения доменной границы в ортофер-

рите в области $2 \cdot 10^4$ м/сек связано с возбуждением оптической моды спиновой волны. Простая формула Уокера, справедливая для ферромагнетиков

$$v = 2\pi\gamma M \sqrt{A/K}, \quad (1)$$

где M — намагниченность, A — обменная константа, K — постоянная анизотропии, дает для ортоферритов предельную скорость 10 м/сек. Учет орторомбической анизотропии ортоферрита, проведенный в [6], приводит к выражению

$$v = 2\pi\gamma \frac{q_2}{\sqrt{q_1}}, \quad (2)$$

для предельной скорости движения границы, где $q_{1,2} = K_{1,2}/2\pi M^2$, откуда для YFeO_3 получим предельную скорость лишь $3,6 \cdot 10^3$ м/сек. Формулу (1) можно видоизменить, записав в виде

$$v = \omega_{\text{рез}} \sqrt{A/K}. \quad (3)$$

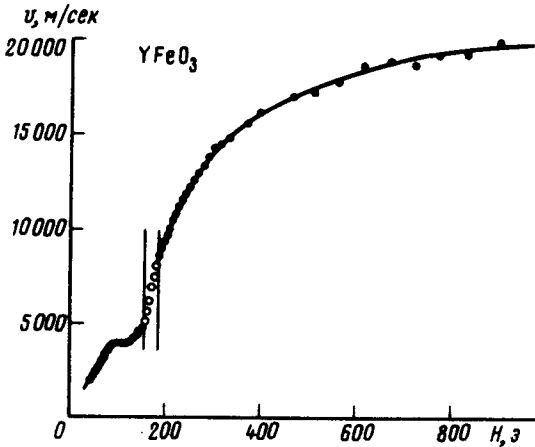


Рис. 3. Скорость движения доменной границы в YFeO_3 толщиной 80 мкм в зависимости от амплитуды импульсного магнитного поля

Энергетический спектр слабого ферромагнетика существенно отличается от энергетического спектра ферромагнетика, для которого строго применима формула (3). В случае ортоферрита, угол неколлинеарности магнитных подрешеток которого составляет $0,008$ рад, в (3) вместо $\omega_{\text{рез}}$ следует для оценки подставить величину

$$\omega_{\text{рез}} = \gamma \sqrt{2H_E H_A}, \quad (4)$$

где H_E и H_A — поля обмена и анизотропии. В этом случае для величины предельной скорости имеем

$$v = \sqrt{2H_E D} \quad (5)$$

$D = 2A/I_0$, откуда для YFeO_3 получается значение $v = 1,7 \cdot 10^4$ м/сек, весьма близкое к полученной экспериментально величине предельной скорости движения доменной границы в YFeO_3 равной $2 \cdot 10^4$ м/сек.

Безщелевая ветвь спиновых волн в ортоферритах не ограничивает скорости движения границы. Уокеровский предел 1000 см/сек в силу большой подвижности границы (6000 см/сек, э) достигается в полях $0,2$ э, когда равномерное движение границы невозможно из-за коэрцитивности образца. В случае ортоферрита дело обстоит точно так же, как и в ферромагнетике. Ограничение в скорости наступает при равенстве скорости движения границы скорости спиновой волны на "хвосте" доменной границы, где справедлива линейная теория спиновых волн. Эта ситуация рассмотрена Шлеманом [7] для ферромагнетика, и из дисперсионного соотношения для спиновых волн получено, выражение для уокеровской скорости. Из закона дисперсии $\omega^2 = \gamma^2 [2H_E (H_k + DK^2)]$ для больших K следует (5). Аналогичное рассмотрение может быть проведено и для слабых ферромагнетиков. Исследуя предельную скорость движения доменных границ в слабых ферромагнетиках, можно определить анизотропию скорости спиновых волн. Из (3) и (4) следует, что предельная скорость движения доменных границ в ортоферритах не должна зависеть от температуры, в то время как по (2) эта зависимость должна быть значительной в редкоземельных ортоферритах, в которых K_1 зависит от температуры.

Таким образом, наибольших скоростей движения доменных границ в магнитоупорядоченных веществах следует ожидать в слабых ферромагнетиках с сильным обменным взаимодействием, где скорости спиновых волн и подвижности доменных границ максимальны.

Приносим глубокую благодарность И.Е.Дзялошинскому и А.С.Боровику-Романову за обсуждение результатов.

Московский
государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
19 декабря 1977 г.

Литература

- [1] G.P.Vella-Coleiro. AIP Conf. Proc., 18, 217, 1974.
- [2] Ching-H. Tsang, Robert L. White, Robert M. White. AIP Conf. Proc., 29, 552, 1976.
- [3] S.Konishi, T.Miyama, K.Ikeda. Appl. Phys. Lett., 27, 258, 1975.
- [4] М.В.Четкин, Ю.С.Дидосян, А.И.Ахуткина. Письма в ЖЭТФ, 12, 519, 1970.
- [5] М.В.Четкин, А.Н.Шалыгин, А.де ла Кампа. ФТТ, 19, 3470, 1977.
- [6] F.V.Hagedorn. AIP Conference Proc., 5, 72, 1972.
- [7] E.Schlömann. Appl. Phys. Lett., 19, 274, 1971.