

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ОДНОМЕРНОЙ ТЕОРИИ ДВИЖЕНИЯ ДОМЕННЫХ СТЕНОК В ОДНООСНЫХ ФЕРРОМАГНЕТИКАХ

*В.В.Рандошкин, В.Б.Сигачев*

**Впервые экспериментально подтверждена справедливость одномерной теории движения доменных стенок для феррит-гранатов, в которых переменным параметром являлось эффективное значение гиромагнитного отношения.**

Одномерная теория движения доменных стенок (ДС) в одноосных ферромагнетиках дает следующее соотношение для линейной подвижности ДС<sup>1,2</sup>:

$$\mu = \alpha^{-1} \gamma (A/K)^{1/2} \equiv \Lambda^{-1} M (A/K)^{1/2}, \quad (1)$$

где

$$\alpha = \lambda \gamma^{-1} M^{-1} \equiv \Lambda \gamma M^{-1} \quad (2)$$

– безразмерный параметр затухания Гильберта,  $\lambda$  – параметр затухания Ландау – Лифшица, имеющий смысл релаксационной частоты,  $\gamma$  – гиромагнитное отношение,  $4\pi M$  – намагниченность насыщения,  $\Lambda$  – приведенный параметр затухания Ландау – Лифшица, не зависящий от других параметров ферромагнетика,  $A$  – обменная константа,  $K$  – константа одноосной анизотропии. При достижении продвигающим полем уокеровского порога<sup>2,3</sup>:

$$H_w = 2\pi\alpha M \equiv 2\pi\Lambda\gamma \quad (3)$$

скорость ДС  $v$  достигает уокеровского предельного значения

$$v_w = 2\pi\gamma M (A/K)^{1/2}. \quad (4)$$

В полях  $H \gg H_w$  зависимость  $v(H)$  вновь становится линейной, при этом дифференциальная подвижность равна <sup>2,4</sup> :

$$\mu_0 = \mu (1 + \alpha^{-2})^{-1} \equiv \mu (1 + M^2/\Lambda^2\gamma^2)^{-1}. \quad (5)$$

Малоземовым и Слоузуски <sup>2</sup> отмечено, что экспериментальные результаты находятся в удовлетворительном согласии с одномерной теорией лишь в том случае, когда имеются сильное магнитное поле или анизотропия в плоскости пленки, и высказано предположение о справедливости этой теории для материалов с большим  $\gamma$ .

Настоящая работа, по-видимому, является первой экспериментальной проверкой справедливости одномерной теории движения ДС <sup>1-4</sup> для одноосных ферромагнетиков при отсутствии магнитного поля или анизотропии в плоскости пленки. Исследовали пленки феррит-граната состава  $(\text{Bi, Tm, Gd})_3(\text{Fe, Ga})_5\text{O}_{12}$  с ориентацией (111), в которых варьировали  $\gamma$ . Теорию, разработанную для ферромагнетиков можно применять и для ферримагнетиков, если использовать эффективное значение гиромагнитного отношения <sup>6</sup>. Для исследуемого материала, как показал опыт, эта величина определяется выражением

$$\gamma = \gamma_{\text{Fe}} [M_{\text{Tm}} - (M_{\text{Fe}} - M_{\text{Gd}})] / (M_{\text{Fe}} - M_{\text{Gd}}), \quad (6)$$

где  $\gamma_{\text{Fe}} = \gamma_{\text{Gd}}$  — гиромагнитное отношение ионов  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Gd}^{3+}$ ,  $M_{\text{Tm}}$  и  $M_{\text{Gd}}$  — части намагниченности додекаэдрической подрешетки граната, обусловленные ионами  $\text{Tm}^{3+}$  и  $\text{Gd}^{3+}$ , соответственно,  $M_{\text{Fe}}$  — суммарная намагниченность тетраэдрической и октаэдрической подрешеток. Заметим, что для Gd-содержащих феррит-гранатов  $\gamma \rightarrow \infty$  при  $(M_{\text{Fe}} - M_{\text{Gd}}) \rightarrow 0$ , а не при  $M_{\text{Fe}} \rightarrow 0$ , как для других феррит-гранатов с высоким эффективным значением гиромагнитного отношения <sup>7,8</sup>. Значение  $\gamma$  в исследуемых образцах варьировали путем изменения содержания  $\text{Gd}^{3+}$  и  $\text{Ga}^{3+}$  в пленках. В работе приведены данные для образцов №№ 1, 2, 3 и 4, соответственно, со следующими параметрами:  $4\pi M = 119, 130, 145$  и  $153$  Гс;  $A \cdot 10^7 = 1,97; 1,97; 1,92$  и  $1,91$  эрг/см;  $H_K = 840, 890, 710$  и  $490$  Э.

В эксперименте с помощью метода однократной высокоскоростной фотографии измеряли скорость движения ДС  $v$  доменов с обратной намагниченностью, образующихся при импульсном перемагничивании пленок из насыщенного состояния <sup>8,9</sup>. Такие ДС имеют одинаковую хиральность <sup>9</sup>, т.е. в них отсутствуют блоховские линии, при наличии которых одномерная теория становится несправедливой.

Прямое наблюдение движущейся ДС показало, что генерация магнитных возмущений вблизи движущейся ДС <sup>10,11</sup> не происходит во всем исследованном диапазоне полей, а уширение изображения ДС при высоких скоростях ее движения полностью определяется конечным временем экспозиции ( $\sim 8$  нс).

Продвигающее поле принимали равным

$$H = H_{\text{и}} - H_{\text{см}}, \quad (7)$$

где  $H_{\text{см}}$  — постоянное поле, приложенное вдоль оси легкого намагничивания и намагничивающее образец до насыщения,  $H_{\text{и}}$  — импульсное перемагничивающее поле, приложенное в противоположном направлении.

Типичные экспериментальные зависимости  $v(H)$ , измеренные в полях  $H \gg 20$  Э приведены на рис. 1. На кривых  $v(H)$ , для всех образцов, кроме № 4, как и предсказывает теория, можно выделить два линейных участка, наклон первого из которых равен  $\mu$  (линейная подвижность), а второго —  $\mu_0$ . Кроме того, для всех образцов линейную подвижность в полях  $H = 1 - 20$  Э измеряли методом Велла — Колейро <sup>12</sup>, значения которой для образцов №№ 1, 2, 3 и 4 составляют  $\mu = 910, 970, 1020$  и  $1000$  см/(с · Э), соответственно. Результаты, полу-

ченные двумя методами, в пределах точности измерений совпадают. Следовательно, первый участок на кривых 1-3 (рис. 1) действительно является начальным, а найденное для него значение  $\mu$  — линейной подвижностью.

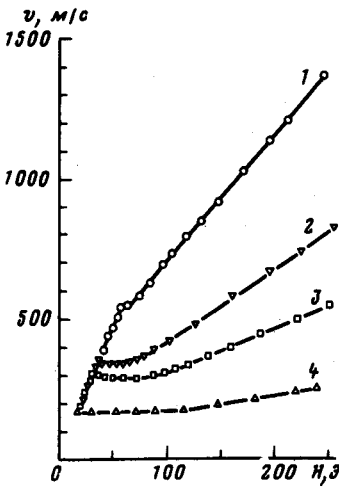


Рис. 1

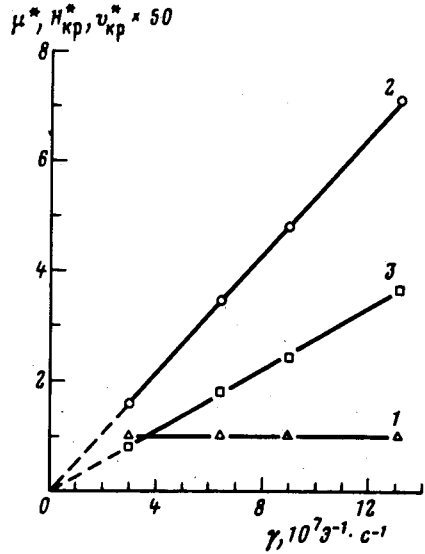


Рис. 2

Рис. 1. Типичные зависимости скорости движения ДС от продвигающего поля (номера кривых соответствуют номерам образцов)

Рис. 2. Зависимость относительных значений линейной подвижности ДС (1), порогового поля (2) и критической скорости (3) от эффективного значения гиромангнитного отношения

Переход к нелинейному участку кривой  $v(H)$  начинается, когда  $H$  достигает значения  $H_{кр}$ , при этом  $v = v_{кр}$ . По экспериментальным данным  $\mu$  и  $\mu_0$  из (5) находили  $\alpha$  и затем из (1) —  $\gamma$ . Полученные значения  $\alpha$  и  $\gamma$  использовали для расчета  $H_w$  и  $v_w$  с помощью соотношений (3) и (4). Сравнение значений  $H_{кр}$  и  $H_w$ , а также  $v_{кр}$  и  $v_w$  показывают, что они совпадают с точностью не хуже 8%, что находится в пределах точности измерений  $v$  и  $H$ .

Заметим, что переход ко второму линейному участку зависимости  $v(H)$  (рис. 1) не может быть связан с вращением намагниченности вблизи движущейся ДС<sup>13</sup>, поскольку при увеличении  $\gamma$  пороговое поле перехода к этому участку уменьшается (рис. 2), а поле анизотропии  $H_K = 2K/M$ , наоборот, возрастает.

На рис. 2 приведены зависимости нормированных линейной подвижности:  $\mu^* = \mu M^{-1} (A/K)^{-1/2}$ , порогового поля  $H_{кр}^* = H_{кр} / (2\pi\gamma_{Fe})$  и критической скорости  $v_{кр}^* = v_{кр} / [2\pi\gamma_{Fe} M (A/K)^{1/2}]$  от  $\gamma$ . Видно, что в соответствии с одномерной теорией  $\mu$  практически не зависит от  $\gamma$ , а  $H_{кр}$  и  $v_{кр}$  связаны с  $\gamma$  линейной зависимостью. Заметим, что с ростом  $\gamma$  нелинейный участок кривой  $v(H)$  (рис. 1) сужается и при  $\gamma \rightarrow \infty$  стягивается в точку, при этом  $\mu_0 \rightarrow \mu$ .

Таким образом, в настоящей работе показано, что одномерная теория движения ДС в одноосных ферромагнетиках справедлива для пленок феррит-гранатов с высоким гиромангнитным отношением.

#### Литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Phys. Zs. Sovjetunion, 1935, 8, 153.
2. Мало́земов А., Сло́нзуски Дж. Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами. М.: Мир, 1982, с. 382.
3. Walker L.R. не опубликовано; процит. Dillon J.F., Jr., в книге "Magnetism", vol. 111, eds. Rado G.T. and Suhl H., Acad. Press, New York, 1963, p. 450.

4. *Slonczewski J.C.* Int. Journ. Magnetism, 1972, 2, 85.
5. *Slonczewski J.C.* J. Appl. Phys., 1973, 45, 1759.
6. *Wangness R.K.* Phys. Rev., 1953, 91, 1085.
7. *Ohta N., Ikeda T., Ishida F., Sugita Y.* J. Phys. Soc. Japan, 1977, 43, 705.
8. *Заболотная Н.В., Осико В.В., Рандошкин В.В., Сигачев В.Б., Тимошечкин М.И.* Письма в ЖТФ, 1984, 10, 788.
9. *Мартынов А.Ф., Рандошкин В.В., Телеснин Р.В.* Письма в ЖЭТФ, 1981, 34, 169.
10. *Иванов Л.П., Логгинов А.С., Непокойчицкий Г.А.* ЖЭТФ, 1983, 84, 1006.
11. *Куделькин Н.Н., Прохоров А.М., Рандошкин В.В., Сигачев В.Б., Тимошечкин М.И.* ДАН СССР, 1985, 281, 848.
12. *Vella-Coleiro G.P., Tabor W.J.* Appl. Phys. Lett., 1972, 21, 7.
13. *Мартынов А.Ф., Рандошкин В.В., Телеснин Р.В.* Письма в ЖТФ, 1982, 8, 803.

Институт общей физики  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
15 марта 1985 г.  
После переработки  
23 мая 1985 г.