

РЕЗОНАНС ВЕРТИКАЛЬНОЙ БЛОХОВСКОЙ ЛИНИИ В ГРАНИЦЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО МАГНИТНОГО ДОМЕНА

Ф. Г. Барьяхтар, А. М. Гришин, А. Ю. Мартынович,
В. В. Пащенко, А. М. Прудников

Существование вертикальных блоховских линий (ВБЛ) в границах цилиндрических магнитных доменов (ЦМД) определяет подвижность, поле старта, коэрцитивность, разброс полей коллапса и углов сноса ЦМД [1]. В последнее время активно исследуется возможность создания запоминающих устройств большой емкости с записью информации на ВБЛ [2]. Поэтому обнаружение ВБЛ в доменных границах и исследование их статических и динамических свойств является одной из актуальных задач физики магнитных доменов.

Известен целый ряд экспериментальных и теоретических работ [3-6], посвященных динамике ВБЛ и, в частности, резонансному возбуждению ДГ с ВБЛ переменным полем смещения. В этом случае магнитное поле воздействует непосредственно на ДГ, а смещение ВБЛ является следствием эффектов гиротропии. Значительно больший интерес представляет исследование отклика ВБЛ на воздействия, которые в отсутствие ВБЛ не приводят к движению ДГ. Это могут быть, например, планарные поля специально подобранной ориентации. Возбуждение ВБЛ переменным планарным полем теоретически исследовалось в работе [3]. Подобные экспериментальные работы авторам не известны.

В настоящей работе экспериментально и теоретически исследовано возбуждение изолированной ВБЛ в ЦМД переменным планарным полем. Установлен резонансный характер колебаний ВБЛ и определена зависимость резонансной частоты от параметров пленки и величины планарного поля.

Эксперименты проведены на магнитоодноосной пленке состава $(\text{YBi})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$ со следующими параметрами: толщина пленки $h = 6.2$ мкм, $4\pi M = 240$ Гс (M — намагниченность), характеристическая длина $l = 0.34$ мкм, поле одноосной анизотропии $H_A = 4300$ Э, гиромангнитное отношение $\gamma = 1.41 \cdot 10^7$ Э $^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$, фактор качества $Q = 18$, параметр затухания $\alpha = 1.06 \cdot 10^{-2}$.

Решетка ЦМД в образце получалась из насыщенного состояния воздействием постоянного планарного поля. ЦМД радиуса $R = 3.5$ мкм имели состояние $S = 0$, что контролировалось по трансляционному движению ЦМД. Детектировался магнитооптический отклик с участка пленки, освещаемого сфокусированным лучом лазера. Кроме того, путем диафрагмирования выделялось изображение участка ДГ ЦМД площадью 3 мкм 2 . К образцу прикладывались два взаимноперпендикулярных планарных поля, создаваемых катушками Гельмгольца: постоянное поле H_p , которое выстраивало две имеющиеся ВБЛ в ЦМД ($S = 0$) диаметрально по направлению поля, и переменное H_{\perp} частотой $2 \div 5.5$ МГц, которое приводило к смещению ВБЛ относительно первоначального положения равновесия. В результате воздействия полей H_p и H_{\perp} движущаяся вдоль ДГ ВБЛ в силу гиротропии приводила к смещению участка ДГ с ВБЛ в поперечном направлении. Колебания ДГ контролировались фотометрическим способом на частоте поля H_{\perp} .

Установлено, что возбуждаемые колебания на участке ДГ, содержащей ВБЛ, носят резонансный характер — амплитуда магнитооптического сигнала возрастает при определенных значениях H_p . На рис. 1 приведена типичная зависимость величины регистрируемого сигнала A от поля H_p для различных случаев расположения исследуемого участка ДГ ЦМД

относительно равновесного положения ВБЛ. Приведенные зависимости получены для правильной гексагональной решетки ЦМД. Установлено, что ближайшее структурное окружение исследуемого ЦМД оказывает значительное влияние на форму кривых $A(H_p)$.

Как видно из рис. 1, существует два значения H_p , при которых происходит резкое увеличение амплитуды колебаний ДГ. Зависимость $A(H_p)$ снята на различных частотах f возбуждающего поля H_{\perp} . На рис. 2 представлена зависимость положения пиков H_p от частоты f .

Максимум магнитооптического сигнала в слабых полях (3–5 Э) практически не зависит от f . Объясняется он может тем, что в отсутствие внешнего поля ВБЛ в ЦМД ориентируется под действием полей размагничивания решетки ЦМД вдоль выделенного направления. Постоянное планарное поле в общем случае не совпадает с этим направлением. В планарном поле величиной 3–5 Э ВБЛ в ЦМД переориентируются вдоль

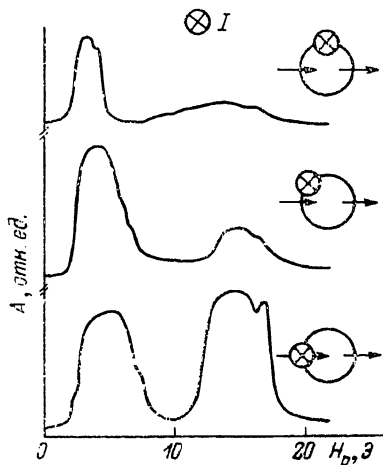


Рис. 1. Типичная зависимость регистрируемого сигнала A от величины планарного поля H_p для различных случаев расположения исследуемого участка границы ЦМД (I) относительно равновесного положения ВБЛ (обозначено стрелкой).

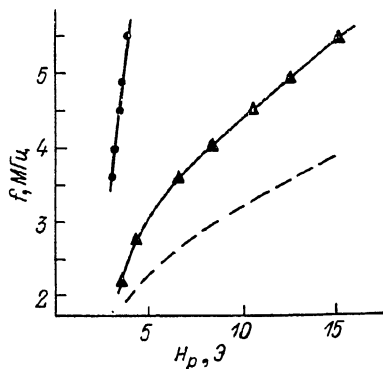


Рис. 2. Экспериментальная зависимость резонансных частот от величины поля H_p .

Штриховая линия — теоретически рассчитанная зависимость резонансной частоты колебаний ВБЛ в границе ЦМД от планарного поля.

H_p . Эта переориентация носит обратимый характер и дает вклад в статическую магнитную восприимчивость решетки ЦМД с парами ВБЛ ($S=0$). Дополнительным подтверждением переориентации ВБЛ служит тот факт, что в аморфной ЦМД решетке или в ЦМД, окруженном нецилиндрическими доменами, этот максимум может смещаться в нулевые поля ($H_p \geq 0$) или исчезает вообще. ВБЛ в нерегулярной решетке доменов находятся в слабом периодичном потенциальном рельефе или в положении безразличного равновесия. Соответственно для переориентации ВБЛ к направлению H_p необходимы величины этого поля, меньшие 3–5 Э, полученных в случае регулярной решетки ЦМД.

Резонансная частота $f(H_p)$ для второго пика на кривой $A(H_p)$ увеличивается с ростом H_p . Этот максимум соответствует резонансному возбуждению ВБЛ в границе ЦМД.

Из рис. 1 видно, что максимального значения второй пик кривой $A(H_p)$ достигает в том случае, когда исследуемый участок ДГ попадает на равновесное положение ВБЛ. Полученные экспериментальные результаты качественно согласуются с простыми теоретическими построениями.

Динамика ВБЛ в ЦМД описывается уравнениями Слончевского [1]. После интегрирования этих уравнений (подобно тому, как это сделано в [4]) по координате x вдоль ДГ получаем систему уравнений

$$\frac{4\alpha M}{\gamma \sqrt{Q}} \dot{x}_0 + \frac{\pi M}{\gamma} \sqrt{\frac{k}{\sigma}} \dot{s} = 2\pi \Delta M H_{\text{эфф}}, \quad (1)$$

$$s = \frac{2\pi M \dot{x}_0}{\gamma k}, \quad \frac{\Delta \gamma k}{2M\alpha} \gg \left\{ \frac{\dot{s}}{s}, \dot{x}_0 \sqrt{\frac{k}{\sigma}} \right\}_{\max}, \quad (2)$$

Δ — ширина ДГ; σ — плотность энергии ДГ; k — коэффициент возвращающей силы, для ЦМД он равен

$$k = \frac{4\pi M^2}{h} \left[3 \left(1 + \frac{3R}{2h} \right)^{-2} - \frac{lh}{R^2} \right],$$

x_0 — координата ВБЛ вдоль границы ЦМД, отсчитываемая от положения равновесия; s — площадь, заматаемая колеблющейся ДГ; $H_{\text{эфф}}$ — компонента действующего планарного поля $H_p + H_{\sim}$, касательная к границе ЦМД в точке x_0 . Учитывая, что $H_{\sim}(t) = H_{\sim} \sin \omega t$ и $H_p \gg H_{\sim}$ (в экспериментах амплитуда переменного поля не превосходила 1.5 Э, а постоянное поле изменялось в интервале 0—30 Э), имеем

$$H_{\text{эфф}} = H_{\sim} \sin \omega t - (x_0/R) H_p. \quad (3)$$

Уравнения (1)—(3) описывают вынужденные колебания ВБЛ в границе ЦМД при наличии трения. Максимальная величина заматаемой ДГ площади

$$s_m = \frac{2\pi M H_{\sim} R \omega_0^2 \omega}{\gamma k H_p \sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + i^2 \omega^2}}, \quad (4)$$

$$\omega_0^2 = \frac{\gamma^2 \Delta \sqrt{\sigma k} H_p}{\pi R M}, \quad i = \left(\frac{2\alpha \gamma}{\pi^2 M} \right) \sqrt{\frac{\tau k}{Q}}, \quad (5)$$

пропорциональна величине регистрируемого магнитооптического сигнала A и описывает его поведение при изменении H_p . При совпадении частоты вынуждающих колебаний с частотой собственных колебаний ВБЛ (ω_0 из (5)) происходит резонанс ВБЛ, проявляющийся в возрастании сигнала A . На рис. 2 для сравнения штриховой линией изображена полевая зависимость $f = \omega_0/2\pi$ (5). Выражение (5) для резонансной частоты ВБЛ хорошо описывает экспериментальную зависимость $\omega_0(H_p)$, полученную в [5]. Следует заметить, что зависимость резонансной частоты ВБЛ ω_0 от поля H_p можно получить и из работы [3]. Для этого нужно в соответствующее выражение $\omega_{\infty}^2 = 2(\sigma K_0)^{1/2} (\gamma/2\pi M)^2 K_1$, полученное в [3], подставить выписанные нами коэффициенты возвращающих сил, действующих на ВБЛ в ЦМД, $K_0 = k$ и $K_1 = 2\pi \Delta M H_p/R$. В пределе $H_p \ll 8M$ зависимость резонансной частоты ВБЛ $\omega_0(H_p)$ в [5] совпадает с выражением (5).

Таким образом, экспериментально обнаружено и теоретически объяснено явление резонансного возбуждения одиночной ВБЛ в границе ЦМД.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Малоземов А., Слозуски Дж. Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами. М., 1982. 382 с.
- [2] Konishi S. // IEEE Trans. Magn. 1983. MAG-19, N 5. P. 1838—1840.
- [3] Никифоров А. В., Сохин Э. В. // ЖЭТФ. 1986. Т. 90. № 4. С. 1309—1317.
- [4] Звездин А. К., Попков А. Ф., Редько В. Г. // ЖТФ. 1985. Т. 55. № 9. С. 1884—1886.
- [5] Jantz W., Slonzewski J. C., Argule B. E. // J. Magn. Magn. Mater. 1981. V. 23. N 1. P. 8—14.
- [6] Jantz W., Argule B. E., Slonzewski J. C. // J. Magn. Magn. Mater. 1982. V. 28. N 3. P. 285—293.

Донецкий физико-технический институт
АН УССР
Донецк

Поступило в Редакцию
8 июня 1988 г.
В окончательной редакции
14 ноября 1988 г.