

МАССА И ПОДВИЖНОСТЬ БЛОХОВСКОЙ ЛИНИИ В ДОМЕННОЙ ГРАНИЦЕ

*В.И.Никитенко, Л.М.Дедух, В.С.Горнаков,
Ю.П.Кабанов*

Обнаружен резонанс смещения блоховских линий в доменной границе в монокристалле иттриевого феррограната, по характеристикам которого определены их масса и подвижность.

В последние годы все более становится очевидным [1], что структура доменных границ в магнетиках существенно отличается от идеализированной схемы одномерной плоской стенки, в которой изменение положения вектора спонтанной намагниченности M_s происходит лишь в направлении, перпендикулярном границе. Не только на тонких пленках

[1], но и на массивных материалах [2, 3] были получены прямые экспериментальные доказательства зависимости ориентации M_s в стенке и от двух других пространственных координат. В подавляющем большинстве кристаллов обязательными элементами структуры доменной границы являются блоховские линии, разделяющие субдомены в стенке, возникающие под влиянием размагничивающего поля на поверхности образца. Без их учета оказалось невозможным описание подвижности доменных границ в одноосных гранатовых пленках, лимитирующей быстродействие новых магнитных элементов памяти для ЭВМ [4].

Данные о свойствах блоховских линий необходимы, разумеется, не только в связи с решением упомянутой практической задачи, но для разработки ряда фундаментальных проблем магнетизма применительно к широкому классу материалов. В частности, в [5, 6] было показано, что динамические свойства 180-градусных блоховских стенок в массивных образцах многоосного иттриевого феррограната, для которого $K \ll 2\pi M_s^2$ (K — константа анизотропии), также противоречат предсказаниям теории, основанной на одномерной модели границы, и характеризуются признаками определяющей роли блоховских линий в формировании закономерностей, описывающих смещение всей границы. Однако, несмотря на высокую актуальность, задача прямого экспериментального определения важнейших характеристик блоховских линий — их подвижности и массы — до настоящего времени еще не была решена. Большинство исследований динамики доменных стенок было выполнено на материалах с ЦМД структурой, для которых существуют пока еще неспрделенные трудности непосредственного наблюдения блоховских линий. Такие возможности открываются при исследовании в поляризованном свете монокристаллов иттриевого феррограната [3, 5]. В описываемой работе эти возможности использованы для поиска условий возбуждения синусоидальным магнитным полем резонансного смещения блоховских линий с целью определения их подвижности и массы.

Широкая монокристаллическая пластинка толщиной 35 мкм, содержащая 180-градусные домены, в которых M_s был параллелен поверхности образца, помещалась на столике поляризационного микроскопа между двумя витками диаметром 1,1 мм из тонкой медной проволоки, создававшими при пропускании тока магнитное поле, перпендикулярное поверхности пластины. Доменная структура (ее схема показана на рис. 1, д) выявлялась по эффекту Фарадея в плоскополяризованном свете. При слегка раскрещенных николях в отсутствие внешнего поля вертикальная блоховская линия наблюдалась в виде резкой границы, разделяющей темный и светлый субдомены в стенке (рис. 1, а). При наложении переменного внешнего магнитного поля малой амплитуды H_0 в некотором интервале частот ω отчетливо обнаруживалось ее смещение по размытию контраста переходной области между субдоменами (рис. 1, б, в). При дальнейшем увеличении ω амплитуда смещения блоховской линии уменьшалась до величины, не разрешаемой в микроскопе (рис. 1, г). Зависимость измеренных по величине области размытого контраста значений смещений блоховской линии от ω при $H_0 = 0,0143$ показана на рис. 2. Она носит резонансный характер. Заметим, что смещение x , вызванное постоянным полем H_0 , также меньше длины волны видимого све-

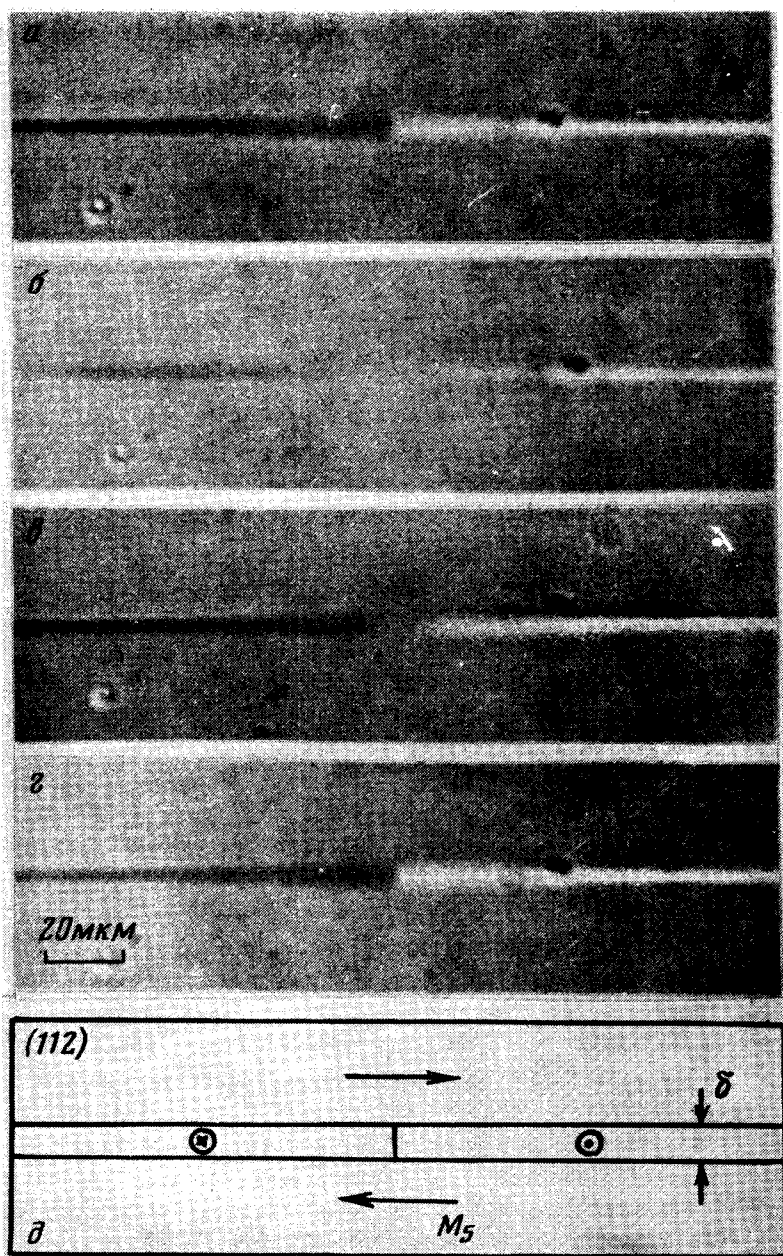


Рис.1. Вид доменной границы с блоховской линией в переменном магнитном поле при $H_0 = 14 \cdot 10^{-3}$ Э и угловых частотах ω : а - $\omega = 0$, $\omega = 255$; б - $\omega = 377$; в - $\omega = 1885$; г - $\omega = 3770$ кГц; д - схема распределения намагниченности в образце

Как и в случае доменной границы, движение блоховской линии может быть описано уравнением $m\ddot{x} + \beta\dot{x} + \alpha x = 2M_s d\delta H_0 \cos \omega t$, где β - эффективная вязкость, обратно пропорциональная подвижности μ блохов-

ской линии ($\beta = 2M_s/\mu$), d — толщина пластины, δ — ширина границы, t — время. Коэффициент жесткости a , обусловленный размагничивающим полем, связанным с магнитными полюсами на поверхности кристалла в месте ее пересечения блоховской стенкой, может быть легко определен из дополнительных экспериментов по зависимости $x(H_0)$ при квазистатическом намагничивании границы. Частота ω_p резонанса смещения и максимальное смещение x_p даются выражениями $\omega_p = (a/m - \beta^2/2m^2)^{1/2}$ и $x_p = 2M_s d \delta H_0 / \omega' \beta$, где $\omega' = (a/m - \beta^2/4m^2)^{1/2}$, из которых можно определить m и β . Для показанного на рис.2 случая расчеты дали значения $m = 2,1 \cdot 10^{-10}$ г/см и $\beta = 5,9 \cdot 10^{-7}$ г/сек · см.

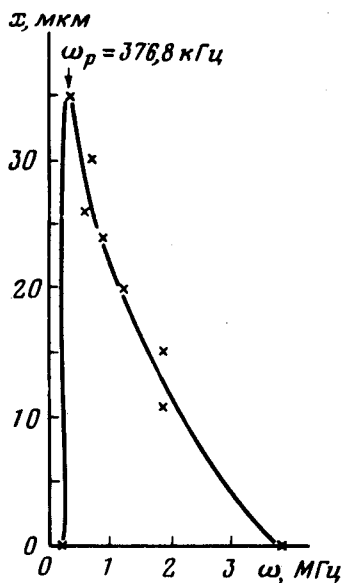


Рис.2. Зависимость смещения x блоховской линии от частоты ω внешнего магнитного поля. $H_0 = 0,014$ Э; $a = 0,19$ г/сек² · см

Полученная величина β существенно превосходит рассчитанную по параметру затухания в уравнении Ландау — Лифшица, определенному из экспериментов по ФМР, но не столь сильно, как в случае движения всей 180-градусной доменной границы [6]. Измеренное значение массы блоховской линии по порядку величины хорошо согласуется с вычисленным по данным [6] о массе m_c всей стенки (путем деления m_c на число блоховских линий в границе).

Разброс определенных на разных вертикальных блоховских линиях значений m и β относительно большой: $\sim \pm 25\%$. Форма экспериментальной резонансной кривой отличается от теоретической. Измеренная зависимость смещения линии от частоты для $\omega > \omega_p$ оказывается более плавной. Эти факты могут определяться влиянием дефектов кристаллической решетки [3] на такие характеристики доменной структуры, как размеры субдоменов в стенке (а, значит и a), коэрцитивную силу для движения блоховской линии и т.д. Они могут быть обусловлены также динамическим изменением структуры блоховской стенки (движением и зарождением блоховских точек, изменяющим m) и взаимным влиянием соседних блоховских линий.

В заключение отметим, что структура блоховских линий в использованном кристалле существенно отличается от изученной теоретически [4] для магнитоодноосных материалов. Строгое рассмотрение соответствующего описанной экспериментальной ситуации случая отсутствует.

Институт физики твердого тела
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
11 июня 1980 г.

Литература

- [1] А.Хуберт. Теория доменных стенок в упорядоченных средах. М., изд. Мир, 1977. (
 - [2] J.Basterfield. J.Appl. Phys., 39, 5521, 1968. (
 - [3] В.К.Власко-Власов, Л.М.Дедух, В.И.Никитенко. ЖЭТФ, 71, 2291, 1976. (
 - [4] A.P. Malozemoff, J.C.Slonczewski. Magnetic domain walls in bubble materials, Academic Press, New York - London - Toronto - Sydney - San Francisco, 1979. (
 - [5] Л.М.Дедух, В.И.Никитенко, А.А.Полянский, Л.С.Успенская. Письма в ЖЭТФ, 26, 452, 1977. (
 - [6] Л.М.Дедух, В.И.Никитенко, А.А.Полянский. Изв. АН СССР, сер. физ., 44, 1356, 1980. (
-