

ЭФФЕКТ ФАРАДЕЯ В НАМАГНИЧЕННОЙ ДОМЕННОЙ ГРАНИЦЕ

Г.С.Кринчик, В.А.Папорков, Е.Е.Чепурова

Впервые осуществлено преобразование блоховской доменной границы в неелевскую (БДГ → НДГ). Определено критическое поле БДГ → НДГ-перехода и ширина неелевской доменной границы. Измерена также кривая перемагничивания БДГ в продольном поле (переход правовинтовой в левовинтовую ДГ), определяемая процессами смещения блоховских линий в ДГ.

Известны два основных типа доменных границ (ДГ) в ферромагнетиках – блоховская (БДГ), в которой поворот вектора намагниченности M_s от домена к домену осуществляется в плоскости ДГ, и неелевская (НДГ), в которой вектор M_s вращается в плоскости, перпендикулярной ДГ. Под действием поперечного внешнего магнитного поля, приложенного перпендикулярно плоскости ДГ, возможен переход БДГ → НДГ, а продольного – от правовинтовой ДГ к левовинтовой (ПВДГ → ЛВДГ). Экспериментально преобразование БДГ → НДГ до настоящего времени не наблюдалось.

Данная работа посвящена прямому наблюдению намагничивания БДГ в продольном и поперечном магнитном поле. Предложенный нами способ регистрации перестройки структуры ДГ основан на том, что с помощью эффекта Фарадея (ЭФ), измеряемого на отдельной доменной границе, фиксируется изменение намагниченности ДГ при воздействии на нее внешнего магнитного поля.

Измерения были выполнены в проходящем свете на магнитооптическом микромагнито-метре, подробно описанном в ¹. В качестве источника поляризованного света использовался гелий-неоновый лазер ЛГН-107Б. Образцами служили эпитаксиальные $(\text{BiLu})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$ феррит-гранатовые пленки с одноосной перпендикулярной анизотропией, толщиной $t = 10,4$ мкм, шириной плоского домена $d = 14$ мкм, намагниченностью насыщения $M_s = 8,8$ Гс.

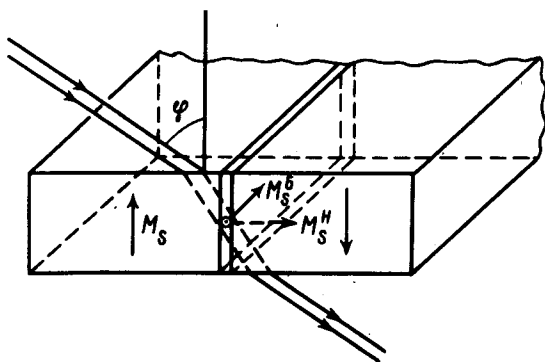


Рис. 1

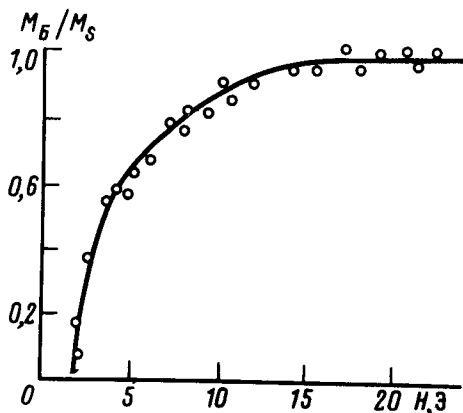


Рис. 2

Рис. 1. Схема регистрации перестройки структуры доменной границы во внешнем магнитном поле

Рис. 2. Кривая перемагничивания доменной границы в продольном поле

На рис. 1 представлена схема, иллюстрирующая идею эксперимента. Лазерный луч падает под углом φ на поверхность образца. Изучение перехода БДГ → НДГ осуществляется при поперечной ориентации плоскости падения света и плоскости ДГ (как показано на

рис. 1), при этом переменное магнитное поле H ($f = 14$ Гц) прикладывается в плоскости образца, перпендикулярно ДГ. Преобразование ПВДГ \rightarrow ЛВДГ наблюдается в поле H , параллельном ДГ. При этом плоскости падения света и ДГ совпадают.

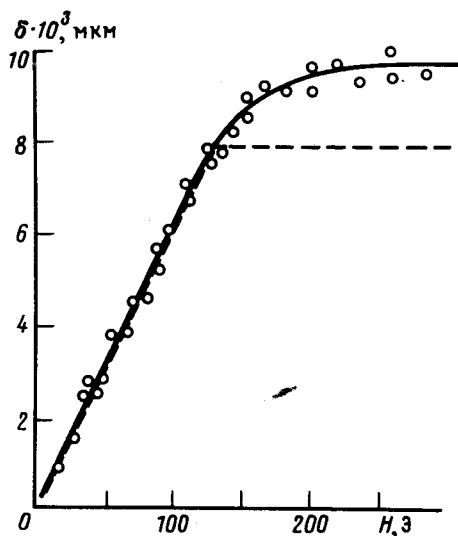


Рис. 3. Кривая перемагничивания доменной границы в поперечном поле

Следует подчеркнуть, что в первом случае ЭФ обусловлен появлением неелевской компоненты намагниченности в тонком слое, соответствующем ширине ДГ. Во втором случае ЭФ в ДГ обусловлен изменением под действием поля блоховской компоненты намагниченности. В этой конфигурации на величину ЭФ в ДГ существенное влияние оказывает точность установки ДГ параллельно плоскости падения света. В связи с этим, кривая перемагничивания ДГ (ПВДГ \rightarrow ЛВДГ) в продольном поле дается в относительных единицах.

Представленные ниже экспериментальные кривые были получены при регистрации магнитооптического сигнала с участка исследуемого образца, объем которого составлял $1 \times 10 \times t$ мкм (большой размер соответствует плоскости ДГ, t — толщина образца). Побочные эффекты (вращение вектора M_s в доменах, малые колебания ДГ) исключались изменением знака угла падения света.

На рис. 2 приведена типичная для изучаемых феррит-гранатовых пленок кривая перемагничивания ДГ, измеренная в продольном поле. Установлено, что в этих образцах магнитооптический сигнал от ДГ становится отличным от нуля, начиная с $H \sim 2 \div 4$ Э, и остается практически неизменным в полях больше 14 — 16 Э.

Известно ², что плоская ДГ в пленках с перпендикулярной анизотропией может разбиваться на участки ДГ разной полярности, разделенными вертикальными блоховскими линиями (ВБЛ). Под действием внешнего магнитного поля, параллельного ДГ, области ДГ с намагниченностью, совпадающей с направлением H , должны увеличиваться, что осуществляется за счет смещения ВБЛ. Таким образом, измеренная нами локальная кривая перемагничивания ДГ отражает изменение блоховской компоненты намагниченности в результате смещения ВБЛ. Поле $H \sim 2 \div 4$ Э можно считать коэрцитивной силой ВБЛ. Здесь, вероятно, нельзя исключать возможность перемагничивания ДГ за счет зарождения и смещения во внешнем магнитном поле горизонтальной 2π -блоховской линии (ГБЛ). Оцененное согласно ³ поле зарождения ГБЛ $H_{2\pi} = 4(2\pi A)^{1/2} t^{-1}$ (A — обменный параметр) соответствует для изучаемых образцов $\sim 2 \div 3$ Э.

На рис. 3 приведена кривая намагничивания ДГ (см. кружки), измеренная в поперечном магнитном поле. Видно, что в малых полях наблюдается линейный рост ЭФ с увеличением H . В полях выше 140 Э ЭФ изменяется слабо. Вид полученной кривой свидетельствует о намагничивании ДГ за счет вращения вектора M_s от блоховской ориентации к неелевской.

Согласно ³, в этом случае статическая кривая намагничивания ДГ описывается кривой, представленной пунктиром на рис. 3. Сплошной линией отображена расчетная кривая намагничивания в переменном магнитном поле. Отличие сплошной от пунктирной кривой при $H > H_{кр}$ ($H_{кр}$ — поле БДГ → НДГ перехода), объясняется тем, что при измерениях в переменном магнитном поле регистрируется первая гармоника полезного сигнала, синусоидальная форма которого сохраняется до $H = H_{кр}$. При $H > H_{кр}$ полезный сигнал приобретает трапецевидную форму с последующим преобразованием в прямоугольную, и амплитуда первой гармоники должна рассчитываться с учетом этого факта.

Как видно из рисунка, экспериментальные точки хорошо ложатся на сплошную линию. Таким образом, можно считать, что для изучаемых образцов $H_{кр} = 130$ Э, что соответствует $\sim 1,9(8M_s)$. Экспериментально найденная величина $H_{кр}$ оказалась почти в два раза больше $H_{кр} = 8M_s$, полученного из простых оценок в ³ и хорошо согласуется с более тщательными расчетами $H_{кр}$ в работе ⁴. Отметим также, что поскольку при БДГ → НДГ переходе мы фактически измеряем ЭФ в поперечно-намагниченной пластинке толщиной Δ , то из соотношения $\delta = \frac{2}{\pi} \delta_0 \Delta$ можно оценить ширину неелевской ДГ. Здесь δ_0 — удельное фарадеевское вращение изучаемого образца, δ — измеряемой ЭФ в поперечной конфигурации $\Delta = \pi \sqrt{A/K_{\text{эф}}}$, $K_{\text{эф}} = K(1 + Q^{-1} - \pi H / 4H_K)$ ³, Q — фактор качества ($Q \gg 1$), H_K — поле анизотропии, H — внешнее поперечное поле ($H \ll H_K$). Для нашего образца $\delta_0 = 0,081$ мкм⁻¹, $\delta = 0,0079$, а следовательно, $\Delta_{\text{НДГ}} \approx 0,15$ мкм, что согласуется с расчетным значением $\Delta = \pi \sqrt{A/K_{\text{эф}}} = 0,12$ мкм ($A = 1,4 \cdot 10^{-7}$ эрг/см, $K = 0,96 \cdot 10^4$ эрг/см³).

В заключение авторы выражают благодарность А.Я.Червоненкису за предоставление висмут-содержащих феррит-гранатовых пленок.

Литература

1. Кринчик Г.С., Бенедикт С.М. ЖЭТФ, 1974, 67, 2180.
2. Slonczewski J. J. Appl. Phys., 1974, 45, 2705.
3. Малоземов А., Слоцзускц Дж. Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами. М.: Мир, 1982, с. 102, 104, 130.
4. Ходенков Г.Е. ФММ, 1988, 65, 1057.

Московский государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
16 февраля 1989 г.