

ГИГАНТСКИЕ ДОМЕННЫЕ ГРАНИЦЫ В ФЕРРОМАГНЕТИКЕ**В.Е.Зубов, А.Д.Кудаков¹⁾, В.С.Цепелев****Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова
119899 Москва, Россия***Уральский государственный технический университет
620002 Екатеринбург, Россия*

Поступила в редакцию 12 августа 1999 г.

После переработки 17 сентября 1999 г.

В ферромагнетике – аморфном магнитомягком сплаве – наблюдались гигантские доменные границы шириной ~ 7 мкм на поверхности. Магнитооптическое исследование показало, что границы имеют неелевскую структуру в приповерхностной области. Приповерхностная структура исследованных границ существенно отличается от структуры наблюдавшихся ранее более узких границ в железе, пермаллое и аморфных материалах. С использованием теоретической модели Шайнфайна с соавторами, связывающей значения ширины асимметричной блоховской границы в объеме и на поверхности, получена оценка для ширины границы в объеме, которая составила 3–4 мкм.

PACS: 75.60.Ch

Успешное исследование приповерхностной структуры доменной границы (ДГ) в массивных ферромагнетиках было проведено с помощью магнитооптического микромагнетометра Кринчиком и Бенидзе на монокристаллах железа и гематита [1]. Оказалось, что на поверхности монокристаллов железа 180° ДГ имеет неелевскую структуру, а ее эффективная ширина $\Delta_s = 0.6 - 0.8$ мкм. Экспериментально наблюдаемая структура соответствует модели асимметричной блоховской ДГ для массивных ферромагнетиков, в которой осуществляется переход от блоховской структуры в объеме кристалла к неелевской в приповерхностной области путем асимметричного загиба границы [2]. В работе [3] магнитооптическим методом была восстановлена тонкая структура 180° ДГ на поверхности и показано, что тонкая структура границы однозначно связана с направлением ее асимметричного загиба. Шайнфайном с соавторами [4] методом спинполяризационной электронной микроскопии было подтверждено существование асимметричной блоховской границы в железе и других ферромагнетиках и методом численного моделирования было показано, что ширина 180° ДГ на поверхности примерно в два раза превосходит ширину ДГ в объеме. Еще один важный результат работы [4] состоит в том, что ширина ДГ на поверхности определяется только константой магнитокристаллической анизотропии (K) и параметром обменной жесткости (A) в объеме ферромагнетика и не зависит от поверхностной анизотропии, поверхностной магнитострикции и других поверхностных параметров. При уменьшении магнитной анизотропии ширина ДГ в объеме (Δ_v), определяемая параметром $\sqrt{A/K}$, увеличивается. В соответствии с результатами работы [4] с ростом Δ_v должна увеличиваться и Δ_s . Действительно, на поверхности ферромагнетиков с эффективной анизотропией, меньшей, чем в железе, наблюдались более широкие, чем в железе, 180° ДГ: в пермаллое $\Delta_s = 0.8$ мкм [5], в аморфных лентах $\Delta_s = 0.9$ мкм и 1.7 мкм [6]. Риан и Митчел [7] наблюдали очень широкие

¹⁾ e-mail: kudakov@adk.phys.msu.su

границы ($\Delta_s = 2.7$ мкм) в пластинках пермаллоя, полученных электрохимическим осаждением. В настоящей работе сообщается о наблюдении и исследовании в аморфном ферромагнетике гигантской асимметричной блоховской границы с эффективной шириной $\Delta_s = 7$ мкм.

Образцами служили ленты магнитомягкого аморфного сплава состава $Fe_{76.1}Cu_1Nb_3Si_{13.8}B_{6.1}$, приготовленные с использованием оригинальной технологии, разработанной в Уральском государственном техническом университете. Перед поливом расплав подвергался термовременной обработке с целью получения однородного, равномерного и равновесного распределения легирующих элементов как на макро-, так и на микроуровне, и, вследствие этого, улучшения магнитомягких свойств сплава. Параметры термовременной обработки жидкого металла определялись по результатам исследования комплекса физических свойств жидкого металла [8]. Толщина исследованных лент составляла 28 мкм, ширина 0.55 мм. Каждый образец содержал одну 180° ДГ, перпендикулярную плоскости ленты, расположенную в середине параллельно длинной стороне и делящую образец на два домена шириной примерно по 0.3 мм.

Исследование приповерхностных магнитных свойств лент проводилось с помощью магнитооптического микромагнетометра [3]. Перемагничивание образцов осуществлялось переменным магнитным полем частотой 80 Гц с помощью катушек Гельмгольца. Амплитуда поля изменялась в пределах от 0 до 3 Э. Коэрцитивная сила ДГ, определенная магнитооптическим методом, составила 0.01 Э. Граница пронизывает образец насквозь, что установлено путем ее наблюдения на свободной и контактной сторонах лент.

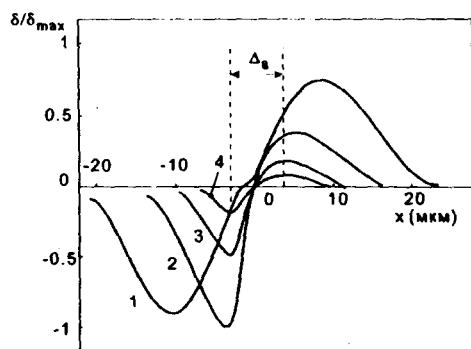


Рис.1. ЭЭК, обусловленный компонентой намагниченности I_x в ДГ, при различных значениях H_y : кривая 1 — 0.16 Э; 2 — 0.08 Э; 3 — 0.04 Э; 4 — 0.02 Э

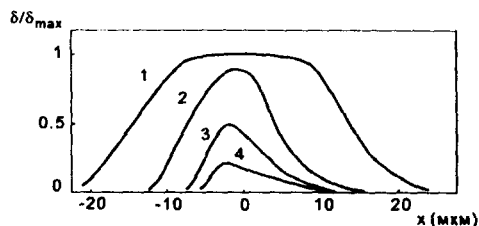


Рис.2. ЭЭК, обусловленный компонентой намагниченности I_y , в области колебаний ДГ при различных значениях H_y : 1 — 0.16 Э; 2 — 0.08 Э; 3 — 0.04 Э; 4 — 0.02 Э

На рис.1 приведены кривые экваториального эффекта Керра (ЭЭК) — $\delta(x)$, обусловленные компонентой намагниченности I_x на поверхности образца внутри ДГ при периодическом качании ДГ в направлении оси x . В выбранной системе координат ось y направлена вдоль ленты, ось z — перпендикулярно плоскости ленты. Кривые получены для различных значений амплитуды поля H_y при продвижении входного окна фотоприемника в фокальной плоскости микроскопа вдоль оси x перпендикулярно изображению ДГ. Смещение x входного окна фотоприемника приведено с учетом увеличения микроскопа к масштабу в плоскости образца (подробнее о методике ис-

следования ДГ см. работы [1,3]). Знакопеременные кривые ЭЭК, представленные на рис.1, свидетельствуют о том, что 180° ДГ на поверхности имеет неелевскую составляющую намагниченности I_x (подробнее см. работы [1,3]). Отсутствие нормальной составляющей намагниченности I_z в ДГ на поверхности, установленное путем измерения полярного эффекта Керра, указывает на то, что граница на поверхности имеет неелевскую структуру. Эффективную ширину границы (Δ_s) мы определяем, следуя работе [1], как минимальное расстояние между положительным и отрицательным экстремумами на кривых ЭЭК, обусловленных компонентой I_x , реализуемое при уменьшении амплитуды колебаний ДГ. Положение положительного и отрицательного экстремумов соответствует точкам внутри границы, где происходит наиболее быстрое изменение компоненты I_x . Из рис.1 видно, что $\Delta_s \cong 7$ мкм. Обращает на себя внимание различие величины положительного и отрицательного экстремумов на зависимости $\delta(x)$, а также различная протяженность участков с положительными и отрицательными значениями ЭЭК. Такое различие ранее не наблюдалось ни в железе [1, 3], ни в пермаллое [5], ни в аморфных сплавах [6]. На рис.2 представлены зависимости от координаты x ЭЭК, обусловленного компонентой I_y в образце. В малых полях, когда амплитуда колебаний ДГ много меньше ширины границы, ЭЭК обусловлен компонентой I_y внутри самой границы (кривая 4). Из рисунка видно, что кривая 4 асимметрична относительно своего максимума: слева от максимума эффект спадает быстро, а справа имеет очень пологий вид. Это согласуется с поведением кривой 4 на рис.1, обусловленной компонентой I_x в ДГ, которая имеет слабо выраженный положительный экстремум и очень медленно спадает с ростом x правее этого экстремума.

Используя вывод работы [4] о том, что структура асимметричной блоховской ДГ на поверхности определяется только объемными магнитными параметрами, можно оценить ширину ДГ в объеме исследованных лент, а также величину эффективной одноосной анизотропии в объеме. Полагая $\Delta_v = \Delta_s/2 = 3.5$ мкм и используя значение константы $A = 1 \cdot 10^{-6}$ эрг/см из работы [9] для аморфного сплава, близкого по составу к изучаемому, получим с помощью формулы $\Delta_v = \pi\sqrt{A/K}$ величину константы одноосной анизотропии в объеме $K \cong 80$ эрг/см³. Если предположить, что в материале существует кубическая магнитная анизотропия, характеризующаяся константой K_1 , то для оценки K_1 можно использовать формулу Лили для ширины 180° ДГ в кубическом кристалле $\Delta_v = 10.87\sqrt{A/K_1}$ [10]. Отсюда получаем величину $K_1 = 960$ эрг/см³. Это на два порядка меньше константы магнитокристаллической анизотропии в кремнистом железе $K_1 = 8 \cdot 10^4$ эрг/см³ [9].

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант #99-0216595).

1. Г.С.Кринчик, О.М.Бенидзе, ЖЭТФ **67**, 2180 (1974).
2. A.Hubert, Z. Angew. Phys. **32**, 58 (1971).
3. В.Е.Зубов, Г.С.Кринчик, А.Д.Кудаков, ЖЭТФ **94**, 248 (1988).
4. M.R.Scheinefn, J.Unguris, J.L.Blue et al., Phys. Rev. **B43**, 3395 (1991).
5. А.Блюшке, В.Е.Зубов, Г.С.Кринчик и др., Письма в ЖТФ **16**, 16 (1990).
6. R.Schafer, W.K.Но, J.Yamasaki et al., IEEE Trans. Magn. **27**, 3678 (1991).
7. P.J.Ryan and T.V.Mitchell, J. Appl. Phys. **63**, 3162, (1988).
8. Ю.Н.Стародубцев, Л.Д.Сон, В.С.Цепелев и др., Расплавы **4**, 76 (1992).
9. G.Herzer, IEEE Trans. Magn. **26**, 1397 (1990); J. Magn. Mater. **112**, 258 (1992).
10. В.А.Lilley, Phil. Mag. **41**, 792 (1950).