

Динамика доменных границ в пленках ферритов-гранатов в больших плоскостных магнитных полях

© М.В. Четкин, Ю.Н. Курбатова, Т.Б. Шапаева

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Москва, Россия

E-mail: shapaeva@mail.ru

(Поступила в Редакцию 12 января 2010 г.)

Методом двукратной цифровой высокоскоростной фотографии исследована динамика доменных границ в пленках ферритов-гранатов с ориентацией (111) в присутствии плоскостного магнитного поля, близкого по величине к полю анизотропии.

Экспериментальному и теоретическому исследованию динамики доменных границ (ДГ) в пленках ферритов-гранатов, в том числе и с использованием плоскостных полей, посвящено значительное число работ [1]. Эксперименты проводили с помощью методов высокоскоростной фотографии [2] и коллапса цилиндрических магнитных доменов [1,3]. В процессе исследований были получены различные виды зависимостей скорости движения ДГ V от величины импульсного магнитного поля $H_{\text{имп}}$. В [4] описана линейно возрастающая зависимость $V(H_{\text{имп}})$, при этом скорость движения ДГ достигала 1.6 km/s. Авторы работы [5] наблюдали возрастающую зависимость $V(H_{\text{имп}})$, в средней части которой существовал участок с нулевой дифференциальной подвижностью, скорости движения доменной границы не превышали нескольких сотен метров в секунду. Кроме того, было установлено, что при определенных условиях ДГ становится диффузной. Для достижения скоростей движения ДГ выше скорости Слончевского авторы работы [3] использовали постоянное магнитное поле, ориентированное в плоскости образца вдоль нормали к плоскости доменной границы. При этом величина этого поля составляла несколько сот эрстед и была мала по сравнению с полем анизотропии.

Эксперименты, представленные в настоящей работе, продолжают ряд этих исследований. Для изучения высокоскоростной динамики доменных границ в пленках ферритов-гранатов использовали метод двукратной высокоскоростной фотографии [6]. Эксперименты проводили в постоянном магнитном поле, ориентированном в плоскости образца вдоль нормали к плоскости доменной границы. При этом величина плоскостного магнитного поля составляла примерно 90% от поля анизотропии образца.

В работе представлены результаты исследований динамики одиночной прямолинейной ДГ в эпитаксиальных пленках BiYFeGa граната с ориентацией (111) в плоскостных полях, ориентированных вдоль нормали к плоскости доменной границы. Поле перпендикулярной анизотропии составляло 5–6 kOe, $4\pi M_s = 80$ G. Одиночную ДГ создавали с помощью градиентного магнитного поля, перпендикулярного поверхности пленки, величина

которого составляла $6 \cdot 10^3$ Oe/cm. Динамическую доменную границу освещали импульсами красного света длительностью 0.25 ns, задержанными друг относительно друга на 6–14 ns. Импульсные магнитные поля $H_{\text{имп}}$, продвигающие ДГ, имели амплитуду до 600 Oe. Используемый нами метод исследования позволял фиксировать динамическую ДГ и определять не только скорость ее движения, но и ее видимую ширину в процессе движения.

Фотосъемку проводили как в контрасте ДГ (рис. 1), так и в контрасте доменов (рис. 2). Из фотографий

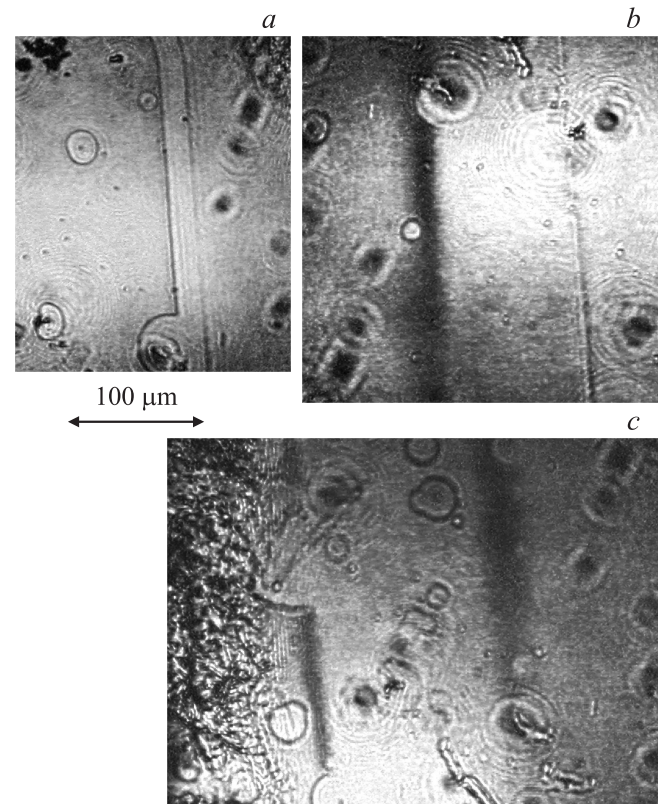


Рис. 1. Двукратные фотографии доменной границы в пленке феррита-граната, выполненные в контрасте границы. Доменная граница движется справа налево с различными скоростями. V , km/s: a — 1.8, b — 9.5, c — 14.5.

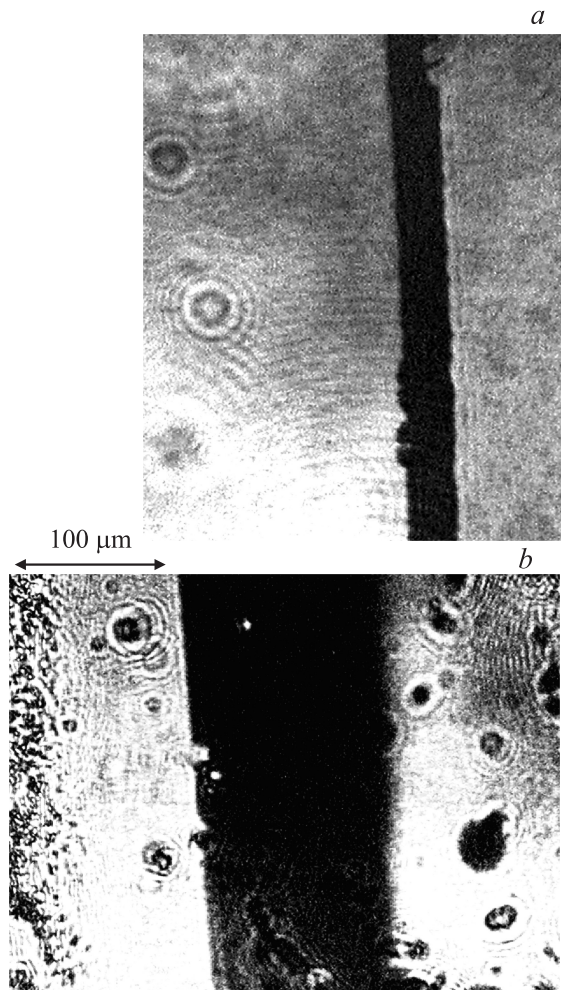


Рис. 2. Двукратные фотографии доменной границы в пленке феррита-граната, движущейся слева направо с различными скоростями. V , km/s: a — 2.4, b — 10.

видно, что при движении ДГ со скоростями, меньшими некоторой критической V_{\max} , величина ее видимой ширины составляет 3–5 μm . При увеличении скорости движения ДГ становится диффузной, а ее видимая ширина возрастает (рис. 1, b, c). На фотографии, представленной на рис. 2, b , размытый правый край черной полосы свидетельствует о том, что доменная граница в этом положении уже стала диффузной.

По фотографиям, аналогичным представленным выше, были получены зависимости скорости движения ДГ от величины продвигающего магнитного поля при различных значениях постоянного магнитного поля, ориентированного вдоль нормали к плоскости статической границы (H_{pl}) (рис. 3). С ростом величины импульсного магнитного поля скорость движения ДГ V сначала монотонно возрастала, достигала некоторой критической скорости V_{\max} , которая оставалась неизменной при увеличении продвигающего магнитного поля H_{imp} вплоть до некоторой величины. При дальнейшем возрастании маг-

нитного поля H_{imp} скорость движения ДГ увеличивалась, сама граница становилась диффузной, а на некоторых участках образца можно было наблюдать хаотическое рождение доменов на пути следования ДГ. Измерения скорости движения ДГ, в том числе и диффузной, проводили на тех фрагментах образца, где рождения доменов не наблюдали. Очевидно, что точность определения скорости движения диффузной доменной границы ниже, чем точность определения скорости границы, видимая ширина которой мала (рис. 3). Возможность сверхзвукового движения доменной границы в пленках феррита-граната при определенных условиях предсказана теоретически в [7]. Однако до настоящей работы движение ДГ в пленках ферритов-гранатов со столь высокими скоростями не описано.

Зависимости скорости движения недиффузной ДГ от величины продвигающего магнитного поля при различных

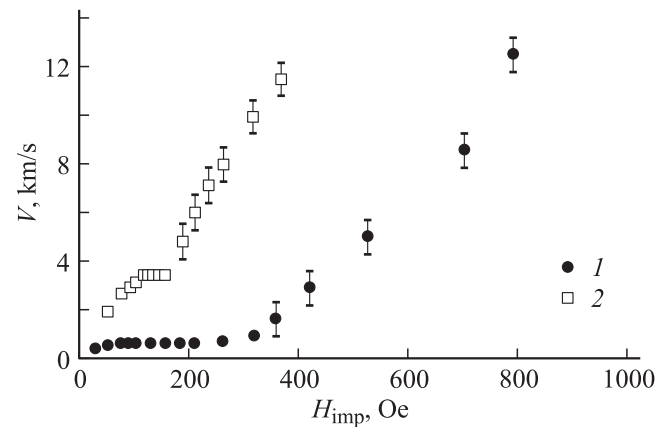


Рис. 3. Зависимость скорости движения доменной границы от величины импульсного магнитного поля в присутствии постоянного плоскостного магнитного поля. H_{pl} , kOe: 1 — 0.9, 2 — 4.4.

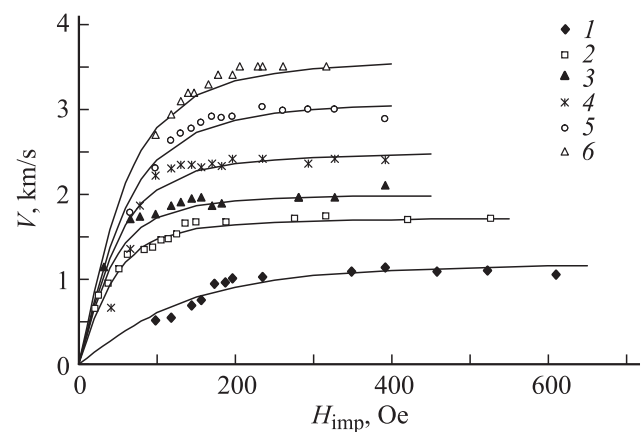


Рис. 4. Зависимость скорости движения недиффузной доменной границы от величины импульсного магнитного поля в присутствии постоянного плоскостного магнитного поля. H_{pl} , kOe: 1 — 1.3, 2 — 2, 3 — 2.5, 4 — 2.9, 5 — 3.9, 6 — 4.4.

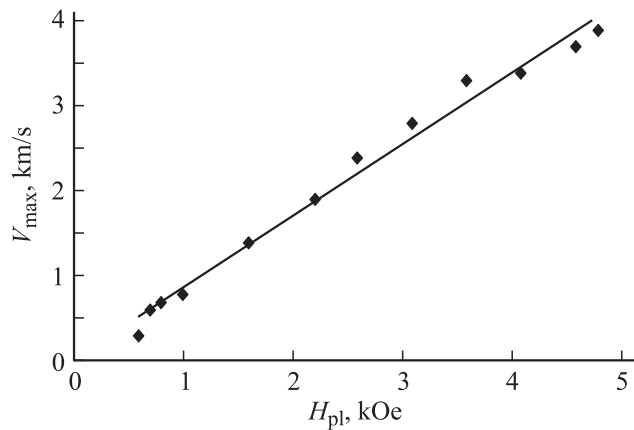


Рис. 5. Зависимость скорости насыщения от величины плоскостного магнитного поля.

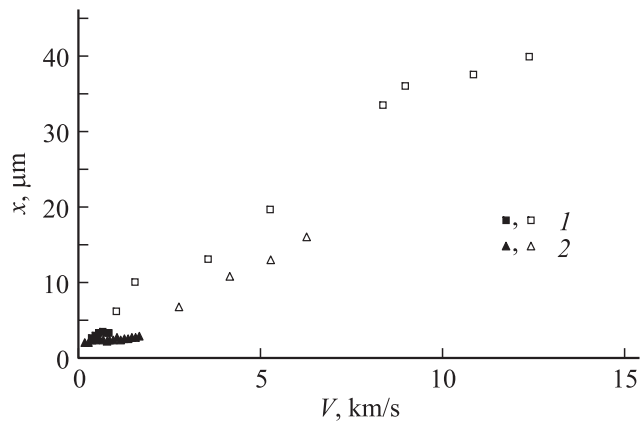


Рис. 6. Зависимость видимой ширины доменной границы x от скорости ее движения в присутствии постоянного плоскостного магнитного поля, перпендикулярного плоскости границы. H_{pl} , kOe: 1 — 1, 2 — 2.

значениях постоянного магнитного поля H_{pl} представлены на рис. 4.

Зависимость скорости движения ДГ от величины продвигающего магнитного поля H_{imp} для недиффузной границы описывается уравнением [8]

$$V(H_{imp}) = \frac{\mu H_{imp}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\mu H_{imp}}{V_{max}}\right)^2}}.$$

Здесь μ — подвижность доменной границы. По данной формуле для различных значений V_{max} рассчитаны сплошные кривые на рис. 4. Авторы работы [8] сравнивали свои теоретические расчеты с экспериментальными данными, полученными в работе [9], где максимальная скорость движения ДГ не превышала 1 км/с.

Характер $V(H_{imp})$ не меняется в зависимости от величины плоскостного магнитного поля, а значение скорости V_{max} линейно возрастает в зависимости от величины H_{pl} (рис. 5) и стремится к скорости звука в ферритах-гранатах при приближении величины H_{pl}

к полю анизотропии материала. Кроме того, с ростом величины плоскостного поля H_{pl} уменьшается интервал значений H_{imp} , в котором скорость движения ДГ остается неизменной.

Исследования влияния постоянного плоскостного магнитного поля на динамику ДГ в пленках ферритов-гранатов описаны во многих работах [1,3]. Однако в указанных экспериментах величины плоскостных полей не превышали 40% от величины поля анизотропии образцов. В наших исследованиях использованы плоскостные поля, значения которых составляют не менее 90% от поля анизотропии пленок.

На рис. 6 представлены зависимости видимой ширины доменной границы от скорости движения, полученные в присутствии различных по величине постоянных плоскостных магнитных полей. Зависимости показывают, что при движении ДГ со скоростью, меньшей V_{max} , ее видимая ширина практически не меняется с ростом скорости и составляет 3–5 μm . Последующее увеличение скорости движения границы приводит к линейному возрастанию ее видимой ширины. ДГ становится диффузной.

Постоянное магнитное поле H_{pl} стабилизирует структуру ДГ, благодаря чему увеличивается скорость, начиная с которой структура границы перестает быть стабильной. Благодаря использованию плоскостных полей, близких по величине к полю анизотропии, недиффузная доменная граница в пленке феррита-граната двигалась со скоростью, близкой к скорости звука. Однако экспериментальное наблюдение больших скоростей движения ДГ в плоскостных полях, сравнимых с полем анизотропии, ограничено снижением контраста доменной структуры. Кроме того, поскольку в присутствии больших плоскостных полей перед ДГ начинается хаотичное рождение доменов, точность определения скорости движения границы резко снижается.

Авторы искренне благодарны сотруднику Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе доктору физико-математических наук В.В. Волкову за предоставление образцов.

Список литературы

- [1] В.А. Боков, В.В. Волков. ФТТ **50**, 193 (2008).
- [2] Л.П. Иванов, А.С. Логгинов, Г.А. Непокойчицкий. ЖЭТФ **84**, 1006 (1983).
- [3] G.N. Patterson, R.C. Giles, F.B. Humphrey. IEEE Trans. Magn. **27**, 5498 (1991).
- [4] В.В. Рандошкин. ФТТ **37**, 652 (1995).
- [5] V.G. Kleparski, I. Pinter, G.I. Zimmer. IEEE Trans. Magn. **6**, 2775 (1981).
- [6] М.В. Четкин, Ю.Н. Курбатова, Т.Б. Шапаева. ЖЭТФ **130**, 181 (2006).
- [7] Р.М. Вахитов, О.Г. Ряхова. ЖТФ **75**, 8, 59 (2005).
- [8] Б.А. Иванов, Н.Е. Кулагин. ЖЭТФ **112**, 953 (1997).
- [9] М.В. Логунов, В.В. Рандошкин, А.Я. Червоненкис. Письма в ЖТФ **15**, 9, 64 (1989).