

О ДИНАМИКЕ ДОМЕННЫХ СТЕНОК В ПЛЕНКАХ ФЕРРИТ-ГРАНАТОВ ВБЛИЗИ ТОЧКИ КОМПЕНСАЦИИ МАГНИТНОГО МОМЕНТА

© В.В.Рандошкин, А.Ф.Мартынов, А.Я.Червоненкис

Совместная хозрасчетная лаборатория «Магнитооптоэлектроника»
института общей физики Российской академии наук
при Мордовском государственном университете
(Поступило в Редакцию 9 октября 1995 г.)

При теоретическом рассмотрении доменных стенок (ДС) в ферритмагнетиках их представляют как достаточно узкую область магнетика, разделяющую соседние домены, при переходе через которую происходит главный поворот векторов намагниченности. Других каких-либо изменений свойств ферритмагнетика обычно не предполагается, и он рассматривается как однородный.

К сожалению, такой подход не позволяет объяснить ранее наблюдавшиеся в монокристаллических пленках феррит-гранатов (МПФГ) с малой намагниченностью насыщения эффекты аномальной магнитной вязкости [1-4] и сползания ДС [5]. Первый из этих эффектов заключается в том, что изменение намагниченности пленки отстает от изменения магнитного поля на значительное время, иногда значительно превышающее 1 с. Эффект сползания обусловлен тем, что ДС, выведенная из положения равновесия импульсом магнитного поля, не возвращается в исходное состояние после окончания его действия. Как следствие при воздействии периодического импульсного магнитного поля происходит медленное сползание ДС.

Целью настоящей работы являлось показать, что в ферритмагнетиках, по крайней мере вблизи точки компенсации магнитного момента (КММ), когда намагниченность насыщения мала, неоднородное распределение намагниченности внутри ДС вызывает нарушение однородности и других их свойств, которое необходимо учитывать при рассмотрении динамики ДС в ферритмагнетиках.

Для экспериментов была выбрана МПФГ $\text{Bi}_{0.4}\text{Y}_{2.6}\text{Fe}_{3.75}\text{Ga}_{1.25}\text{O}_{12}$, выращенная методом жидкофазной эпитаксии из переохлажденного раствора-расплава на подложке $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ с ориентацией (111) [6]. С учетом вхождения части ионов Ga^{3+} в октаэдрическую подрешетку структуры феррит-граната этот состав близок к тому, который обеспечивает КММ. Для синтеза МПФГ использовали раствор-расплав на основе $\text{Bi}_2\text{O}_3-\text{CaO}$. Пленка имела следующие параметры: толщина $h = 9.6 \mu\text{m}$, намагниченность насыщения $4\pi M_s = 30 \text{ G}$, характеристическая длина $l = 4.5 \mu\text{m}$, $\sigma_w = 0.032 \text{ erg/cm}^2$. В этой МПФГ с относительно малой намагниченностью насыщения наблюдается аномальная магнитная вязкость. Из-за нее в пленке, находящейся в исходном состоянии в магнитном поле, меньшем поля насыщения, так что существовали узкие, удаленные друг от друга домены, после выключения магнитного поля доменная структура медленно «прорастает», причем ее результирующая конфигурация устанавливается за время порядка 60 с. Заметим, что в предварительно насыщенном образце после

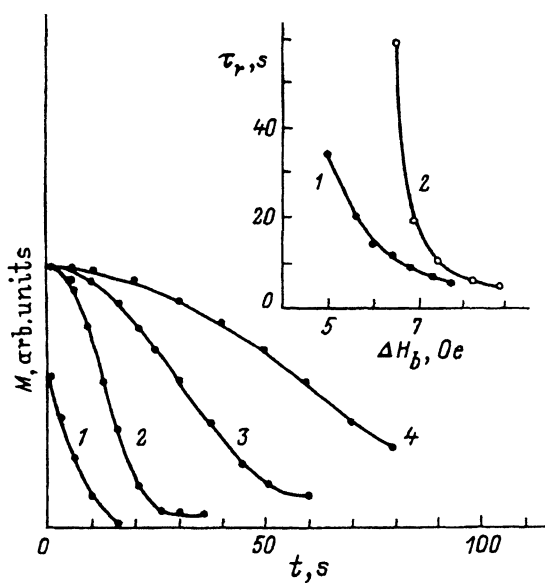


Рис. 1. Временные зависимости спада намагниченности для разных значений изменения поля смещения. ΔH_b (Oe): 1 — 8, 2 — 7, 3 — 6, 4 — 5. На врезке — зависимость характерного времени спада намагниченности τ_r от изменения поля смещения ΔH_b при температурах 294 (1) и 311 K (2).

выключения магнитного поля доменная структура появлялась через время, превышающее иногда 10^3 s.

Типичные кривые временного спада намагниченности M , обусловленного «проращением» доменной структуры, для разных значений изменения поля смещения ΔH_b при комнатной температуре приведены на рис. 1. Для относительно больших значений ΔH_b (кривая 1) имеют место два разных процесса: обычное быстрое изменение M с характерным временем $\leq 10^{-2}$ s и аномально медленное изменение M с характерным временем ≥ 10 s. При уменьшении ΔH_b первый процесс перестает проявляться, а аномальная магнитная вязкость увеличивается (кривые 2–4 на рис. 1).

На врезке на рис. 1 показана зависимость характерного времени спада намагниченности τ_r (промежуток между моментами времени, в которые относительная намагниченность M/M_s принимает значения 0.1 и 0.9) от ΔH_b при разной температуре T . Видно, что τ_r увеличивается с ростом T .

В МПФГ, выращенных из раствора-расплава на основе $\text{Vi}_2\text{O}_3\text{—CaO}$, но имеющих более высокую $4\pi M_s$ (~ 300 G), а также в пленках, близких по составу к исследованным, но выращенным из раствора-расплава на основе $\text{Vi}_2\text{O}_3\text{—Na}_2\text{O}$, аномальной магнитной вязкости не наблюдается.

Вследствие отсутствия свинца в растворе-расплаве зарядовая компенсация примесных ионов Ga^{2+} должна обеспечиваться образованием ионов Fe^{4+} [6,7] и кислородных вакансий [8].

Сравнение оптических спектров поглощения МПФГ, выращенных из растворов-расплавов $\text{Vi}_2\text{O}_3\text{—CaO}$ и $\text{Vi}_2\text{O}_3\text{—Na}_2\text{O}$, показывает, что МПФГ с аномальной магнитной вязкостью характеризуются допол-

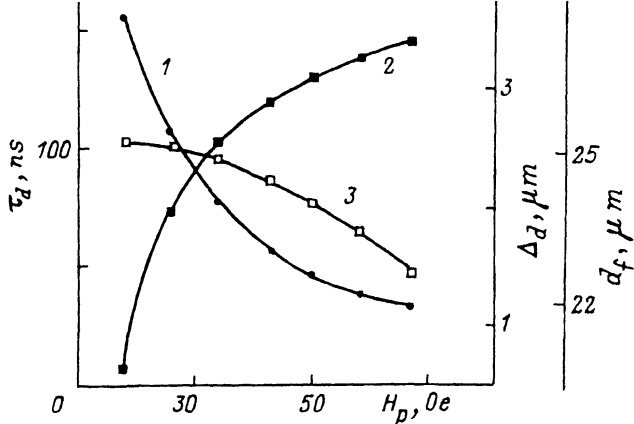


Рис. 2. Зависимости задержки τ_d начала движения ДС после приложения импульса магнитного поля (1), изменения диаметра ЦМД Δd во время действия этого импульса (2) и диаметра ЦМД d_f перед его приложением (3) от амплитуды импульса H_p при $T = 293$ К, $H_b = 9$ Ое, $\tau_p = 0.5 \mu\text{s}$ и $f_p = 10$ Hz.

нительным поглощением с максимумом в области $10\,000\text{ cm}^{-1}$, положение которого хорошо согласуется с положением максимума разрешенного по спине для ионов Fe^{4+} перехода в кристаллическом поле ${}^5T_2 - {}^5E$ [7]. Появление примесей ионов Fe^{4+} в МПФГ, выращенных из раствора-расплава на основе $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{Na}_2\text{O}$, не наблюдается, поскольку крупные ионы Na^+ практически не внедряются в структуру граната.

Именно взаимодействие ДС с такими дефектами, как примеси магнитных ионов и кислородные вакансии, в феррит-гранате приводит к необратимым эффектам и диссипации при движении ДС. Неоднородная ориентация намагниченности в ДС обуславливает пространственную неоднородность диффузионного распределения концентрации примесей и вакансий в окрестности ДС и как следствие возникновение наведенной локальной анизотропии и появление стабилизирующих потенциальных барьеров, закрепляющих ДС. При движении ДС под действием достаточно малых магнитных полей кинетические процессы релаксации примесей и вакансий должны проявляться как задержка начала движения ДС.

Действительно, в МПФГ с аномальной магнитной вязкостью такая особенность в динамике ДС обнаружена. В эксперименте с помощью метода высокоскоростной фотографии [9] регистрировали временные зависимости диаметра цилиндрических магнитных доменов (ЦМД), находящихся под действием следующих с частотой f_p -периодических импульсов поля с амплитудой H_p , приложенных в том же направлении, что и поле смещения H_b . Оказалось, что начало движения ДС отделено от начала импульса поля промежутком времени $\tau_d \sim 10^{-7}$ s, уменьшающимся с ростом H_p . Из-за аномальной магнитной вязкости диаметр ЦМД за промежуток времени между последовательными импульсами поля (~ 0.1 s) не успевает достичь равновесного значения ($d = 28.5 \mu\text{s}$). Время задержки τ_d начала движения ДС после приложения импульса поля убывает с ростом его амплитуды (кривая 1 на рис. 2). Из-за большей задержки τ_d (меньшего времени движения во время действия импульса магнитного поля) изменение диаметра ЦМД Δd за это время

увеличивается с ростом H_p (кривая 2 на рис. 2). Увеличение скорости релаксации ДС с ростом H_p не обеспечивает компенсации такого изменения Δd в промежутки времени между соседними импульсами магнитного поля, поэтому диаметр ЦМД d_f перед приложением импульса поля снижается с ростом H_p (кривая 3 на рис. 2).

Приведенные выше экспериментальные результаты исследования динамики ДС МПФГ вблизи КММ позволяют предложить следующую модель ее движения. В исследованных пленках примеси и вакансии вблизи ДС перераспределяются таким образом, что создают потенциальную яму, закрепляющую ДС. Как следствие внутри домена становятся неоднородными химический состав феррит-граната и его физические свойства. При квазистатическом изменении магнитного поля давление на ДС, обусловленное магнитостатическим взаимодействием, мало (малы как $4\pi M_s$, так и H_b), и ДС не может покинуть эту потенциальную яму. Однако за счет термических флуктуаций конфигурация и глубина потенциальной ямы непрерывно меняется, и при больших, но крайне редких флуктуациях ДС скачком изменяет свое местоположение, что обуславливает эффект аномальной магнитной вязкости. При изменении внешнего магнитного поля происходит диффузионное перераспределение примесей и вакансий вблизи ДС (каждый тип примесей характеризуется своей энергией активации и характерным временем релаксации), а также меняется глубина потенциальной ямы и как следствие величина аномальной магнитной вязкости. Тот факт, что задержка начала движения ДС имеет место при $H_b > 4\pi M_s$ (рис. 2), свидетельствует о большой глубине потенциальной ямы. При достаточно большой $H_b > 20$ Ое диффузия примесей протекает относительно быстро (за время $\tau_d \sim 10$ с), тем не менее движение ДС начинается не сразу после приложения импульса поля, а с задержкой. Возвращение ДС в исходное положение после окончания импульса поля проходит сначала путем обычного движения ДС, а затем за счет механизма аномальной магнитной вязкости.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 95-02-05498а).

Список литературы

- [1] Телеснин Р.В., Балбашов А.М., Мартынов А.Ф., Рандошкин В.В., Червоненкис А.Я., Черкасов А.П. ЖТФ 7, 16, 1001 (1981).
- [2] Uba S., Maziewski A., Simsova J. J. Phys. C: Solid State Phys. 16, 12, L383 (1983).
- [3] Maziewski A., Tekiel M., Gornert P. Acta Phys. Pol. 68, 1, 15 (1985).
- [4] Kisielewski M., Maziewski A., Gornert P. J. Phys.: D: Appl. Phys. 20, 2, 222 (1987).
- [5] Осико В.В., Рандошкин В.В., Сигачев В.Б., Тимошечкин М.И. ЖТФ 54, 12, 2423 (1984).
- [6] Рандошкин В.В., Червоненкис А.Я. Прикладная магнитооптика. М. (1990). 320 с.
- [7] Рандошкин В.В., Червоненкис А.Я. ЖТФ 55, 6, 1382 (1985).
- [8] Грошенко Н.А., Прохоров А.М., Рандошкин В.В., Тимошечкин М.И., Шапошников А.Н., Ширков А.В., Степанов Ю.П. ФТТ 27, 6, 1712 (1985).
- [9] Логунов М.В., Рандошкин В.В., Сигачев В.Б. ПТЭ, 5, 245 (1985).