

## ГИГАНТСКАЯ ОДНОНАПРАВЛЕННАЯ АНИЗОТРОПИЯ СКОРОСТИ ДОМЕННЫХ ГРАНИЦ В ТОНКИХ МАГНИТНЫХ ПЛЕНКАХ

*Ф.В. Лисовский, А.С. Логгинов, Г.А. Непокойчицкий,  
Т.Б. Розанова*

Впервые обнаружены динамические преобразования структуры доменных границ (ДГ), происходящие в дискретных временных интервалах в узком диапазоне импульсных магнитных полей. В тонких магнитных пленках с плоскостной анизотропией они приводят к сильной однонаправленной анизотропии скорости ДГ ( $V_{max}/V_{min} > 4$ ).

Известно <sup>1,2</sup>, что предельная скорость движения доменных границ (ДГ) в монокристаллических пленках ферритов-гранатов (ФГ) существенно увеличивается, если образец обладает ромбической компонентой анизотропии, которая наиболее сильно проявляется в пленках, выращенных на подложках ориентации (110). Этот эффект, инвариантный относительно изменения направления движения, неоднократно наблюдался косвенными методами в экспериментах по исследованию стационарного движения ДГ <sup>3-5</sup>. Переход к изучению нестационарных процессов прямыми экспериментальными методами позволил выявить ряд новых физических явлений, не укладывающихся в рамки существующих теоретических представлений.

Динамика ДГ изучалась методом электронно-оптической высокоскоростной фотографии с временным и пространственным разрешениями соответственно  $\sim 8$  нс и  $\sim 0,3$  мкм <sup>6</sup>. Образцами служили эпитаксиальные пленки ФГ с ориентацией (110); далее приводятся результаты для образца состава  $(Y\text{GdTbBi})_3(\text{FeAl})_5\text{O}_{12}$  со следующими параметрами: толщина  $h \approx 10,9$  мкм, намагниченность насыщения  $4\pi M_S \approx 175$  Гс, поле коллапса цилиндрических магнитных доменов (ШМД)  $H_0 \approx 130$  Э, константы анизотропии: одноосной  $K_u \approx 4210$  эрг/см<sup>3</sup>, ромбической  $K_p \approx 15560$  эрг/см<sup>3</sup>, кубической  $K_1 \approx 4580$  эрг/см<sup>3</sup>.

Исследовалось радиальное расширение ЦМД в практически однородном импульсном магнитном поле  $H_{\text{имп}}$ , создаваемом плоскими однослойными катушками. Время нарастания импульса поля  $H_{\text{имп}}$  не превышало 2 нс, а напряженность  $H_{\text{имп}}$  изменялась от 0 до 150 Э. В исходном состоянии образец находился в постоянном поле смещения  $H_{\text{см}} < H_0$ , и в нем существовали изолированные ЦМД (рис. 1, А, а). Затем прикладывалось поле  $H_{\text{имп}}$ , антипараллельное  $H_{\text{см}}$ , и в различные моменты времени  $\tau$ , отсчитываемые от начала импульса, исследовалась динамика ДГ ЦМД (рис. 1). Для детального изучения особенностей поведения отдельных участков ДГ эксперименты проводились с двухимпульсной подсветкой, позволяющей регистрировать на одной фотографии исходное положение ЦМД и его форму в произвольный момент времени  $\tau$  (рис. 1, Б). Существенными отличиями условий данного эксперимента от выполненных ранее <sup>3-5</sup> являются: 1) использование импульсов магнитного поля с предельно коротким фронтом ( $\sim 2$  нс); 2) прямое исследование динамики ДГ с близким к предельному пространственным разрешением; 3) возможность одновременно исследовать динамику ДГ, ориентированных произвольным образом относительно кристаллографических осей; 4) возможность точного определения смещений отдельных участков ДГ за произвольный интервал времени  $\tau$  во время действия одиночного импульса поля.

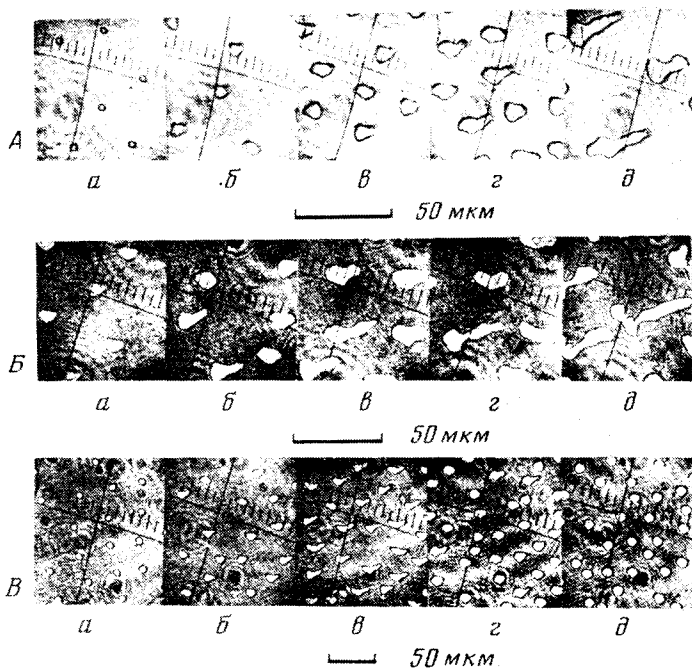


Рис. 1. А. Форма доменов через различные интервалы времени после начала импульса магнитного поля. Поляроиды полностью скрещены.  $H_{\text{см}} = 128$  Э.  $H_{\text{имп}} = 66$  Э.  $\tau$ : а - 0 нс; б - 10 нс; в - 15 нс; г - 25 нс; д - 60 нс. Б. Искажения формы ЦМД в различные моменты времени после приложения импульса поля  $H_{\text{имп}}$ . Использовалась двухимпульсная подсветка.  $H_{\text{см}} = 129$  Э.  $H_{\text{имп}} = 68$  Э.  $\tau_1 = 0$ .  $\tau_2$ : а - 10 нс; б - 30 нс; в - 50 нс; г - 70 нс; д - 100 нс. В. Динамические доменные конфигурации, возникающие в различных полях  $H_{\text{имп}}$  через  $\tau \approx 30$  нс после приложения импульса поля.  $H_{\text{см}} = 121$  Э.  $H_{\text{имп}}$ : а - 27 Э; б - 53 Э; в - 64 Э; г - 80 Э; д - 97 Э

Установлено, что после приложения импульса поля  $H_{\text{имп}}$  ДГ с любой ориентацией начинают двигаться практически мгновенно и уже в первые наносекунды движения ( $\tau < 10$  нс) достигают столь высоких скоростей ( $V > 500$  м/с), что за время экспозиции ( $\sim 8$  нс) четкого изображения ДГ зафиксировать не удастся (см. "размытые" участки ДГ на рис. 1, А, б - д). Однако, уже при  $\tau \approx 10$  нс скорость движения ДГ снижается настолько ( $V \approx 150$  м/с), что

практически все доменные стенки ЦМД фиксируются на фотографиях (рис. 1, А, б). Изучение особенностей данного явления показало, что высокая скорость движения ДГ ( $V > 500$  м/с) при  $\tau \approx 10$  нс, как правило, может сохраняться лишь у единственного участка границы ЦМД (рис. 1), определенным образом ориентированного относительно кристаллографических осей (см. вставку на рис. 2), в то время, как скорость ДГ любой другой ориентации стабилизируется на уровне  $\sim 150$  м/с. На фотографиях с временем экспозиции  $\sim 8$  нс гигантская однонаправленная анизотропия скорости ДГ ( $V_{max}/V_{min} > 4$ ) проявляется как "разрыв" доменной стенки ЦМД (рис. 1, А, в, г, д). С течением времени ( $\tau > 10$  нс) она приводит к сильным искажениям формы доменов (рис. 1, А, д; Б, в, г, д). Аномально высокая скорость одного участка ДГ ЦМД сохраняется лишь в течение  $\sim 20$  нс после приложения импульса поля, а затем ( $\tau > 20$  нс) у большинства доменов она снижается до скорости, характерной для других участков ДГ. Лишь у единичных ЦМД однонаправленная анизотропия скорости ("разрыв" ДГ) сохраняется в течение  $\tau \approx 50$  нс (рис. 1, А, д; Б, д).

Исследование зависимостей расстояний, пройденных различными участками ДГ ЦМД, от времени, и анализ разброса расстояний, пройденных аномальными участками границы, за различные интервалы времени  $\tau$ , дают основание предположить, что существуют дискретные отрезки времени, кратные  $\Delta t \approx 10$  нс, в течение которых может проявляться однонаправленная анизотропия скорости. Таким образом, снижение аномально большой скорости происходит в моменты времени  $\tau \approx 10, 20, 30$  нс и т.д.

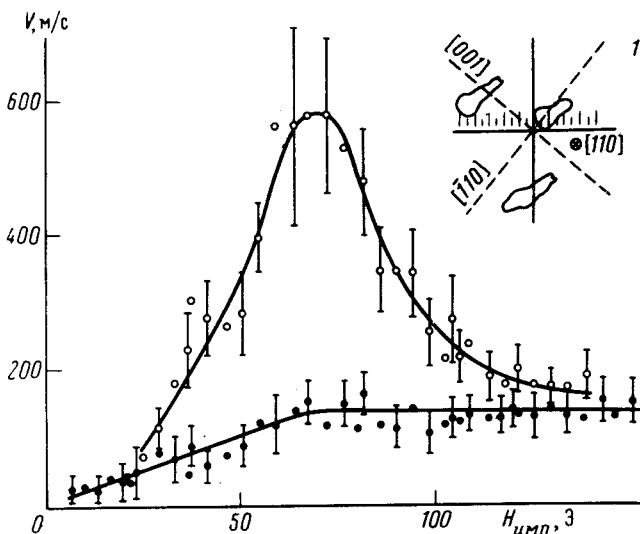


Рис. 2. Зависимость максимальной скорости ДГ в выделенном направлении (○) и минимальной скорости (●) от напряженности импульсного магнитного поля. На вставке представлено схематическое изображение доменов с рис. 1, А, д и ориентация важнейших кристаллографических осей в плоскости образца

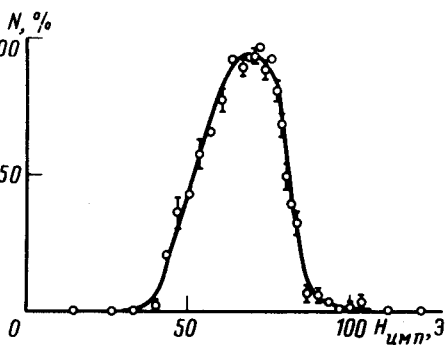


Рис. 3. Зависимость количества доменов, имеющих однонаправленную анизотропию скорости доменных границ (в процентах к общему числу доменов в поле зрения) от напряженности импульсного магнитного поля

Поскольку ДГ любой ориентации движутся неравномерно во времени, то значение средней скорости  $\bar{V}$  зависит от времени усреднения  $\Delta t$ . Поэтому для оценки средних скоростей ДГ на начальном этапе движения измерения и расчеты проводились при  $\Delta t \approx 10$  нс. На рис. 2 представлены зависимости от  $H_{имп}$  минимальной и максимальной (вдоль направления максимальных искажений формы доменов) скоростей  $V$  участков ДГ ЦМД.

Характерная особенность обнаруженных явлений состоит в том, что они проявляются в относительно узком диапазоне изменения импульсных полей (рис. 1, В, рис. 2). Из рис. 1, В хорошо видно, что количество ЦМД, у которых наблюдается однонаправленная анизотропия скорости ДГ, сильно зависит от напряженности  $H_{имп}$ . На рис. 3 представлена зависимость числа таких ЦМД, нормированная на общее количество доменов, от  $H_{имп}$ . Видно, (рис. 1, В,

рис. 3.), что в полях  $H_{\text{имп}} \approx 60 - 75$  Э практически у всех ЦМД проявляются искажения формы, связанные с однонаправленной анизотропией скорости ДГ.

Установлено, что обнаруженные явления не связаны с неоднородностью импульсного поля и его нестационарностью во времени. Таким образом, в данных экспериментах впервые наблюдались динамические процессы преобразования структуры ДГ во время их движения в однородном магнитном поле.

#### Литература

1. Schlomann E. J. Appl. Phys., 1976, 47, 1142.
2. Breed D.J., de Geus W., Enz U. J. Appl. Phys., 1980, 51, 2780.
3. Breed D.J., van der Heijden A.M.J., Logmans H., Voermans A.B. J. Appl. Phys., 1978, 49, 939.
4. Breed D.J., Nederpel P.Q.J., de Geus W. J. Appl. Phys., 1983, 54, 6577.
5. Breed D.J., de Geus W., Voermans A.B., van Bakel B.A.H. J. Appl. Phys., 1982, 53, 2546.
6. Иванов Л.П., Логгинов А.С., Непокойчицкий Г.А. ЖЭТФ, 1983, 84, 1006.

Московский государственный университет  
им. М.В. Ломоносова

Поступила в редакцию  
3 февраля 1987 г.