

## ЛИТЕРАТУРА

1. Климов А. И., Коблов А. Н., Мишин Г. И., Серов Ю. Л. // Письма в ЖТФ. 1982. 8, № 7. С. 439.
2. Фоменко Е. Н., Шугаев Ф. В. // Нестационарные течения газов с ударными волнами. Л., 1990. С. 304.
3. Быстров С. А., Заслонко И. С., Мукосев Ю. К., Шугаев Ф. В. // ДАН СССР. 1990. 310, № 1. С. 70.
4. Абрамович Л. Ю., Клярфельд Б. М., Носбич Ю. Н. // ЖТФ. 1966. 36. С. 714.
5. Ковалевский В. Л. Физические свойства приэлектродной области емкостного высокочастотного разряда: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. М. (МГУ), 1988.
6. McIntyre T. I., Houwing A. F. P., Sandeman R. I., Bachor H. A. // J. Fluid Mech. 1991. 227. P. 617.
7. Баженова Т. В., Гвоздева Л. Г. Нестационарные взаимодействия ударных волн. М., 1977.

Поступила в редакцию  
13.03.95

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1995. Т. 36, № 5

## ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

УДК 537.632; 538.624

### НАМАГНИЧИВАНИЕ ДОМЕННЫХ ГРАНИЦ В ФЕРРИТ-ГРАНАТОВЫХ ПЛЕНКАХ

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

(кафедра магнетизма)

Представлены результаты магнитооптического исследования структуры и гистерезисных свойств доменных границ (ДГ) висмутсодержащих феррит-гранатовых пленок с осью легкого намагничивания, перпендикулярной поверхности образца. Обнаружено, что форма локальных петель гистерезиса доменной границы зависит от ее структуры. Установлено, что возможно наблюдение смещенных по оси  $H$  (на  $\sim 4-8$  Э) петель гистерезиса. Объяснение полученных данных дано в рамках существующих представлений о структуре ДГ в ферритах-гранатах.

Исследование структуры доменных границ (ДГ) в ферромагнетиках — одна из важнейших задач физики магнитных явлений, решение которой связано с большими экспериментальными трудностями. Обусловлено это тем, что, согласно существующим представлениям, ширина ДГ в реальных магнетиках  $\omega = \pi\sqrt{A/K}$  ( $A$  — обменный параметр,  $K$  — константа анизотропии) не превосходит 0,03—0,3 мкм. В настоящее время получили развитие такие способы изучения структуры ДГ, как лоренцевская электронная микроскопия [1], рассеяние медленных нейтронов [2], растровая электронная микроскопия [3], реализация которых требует сложного оборудования. Существует огромное количество работ (см., напр., [4—6]), в которых о состоянии ДГ судят по косвенным данным. Особое место среди перечисленных способов изучения ДГ занимает магнитооптический метод. Именно благодаря магнитооптическому методу была осуществлена визуализация вертикальных блоховских линий (ВБЛ) в ферритах-гранатах (ФГ) [7].

В данной работе представлены результаты магнитооптического исследования гистерезисных свойств ДГ в ФГ. Измерения были выполнены на магнитооптическом микромагнитометре, принцип действия которого описан в [8]. Объектами исследования служили висмутсодержащие ФГ-пленки с осью легкого намагничивания, перпендикулярной

поверхности образца. Толщина пленок варьировалась от 6 до 15 мкм, намагниченность насыщения  $4\pi M_s$  — от 110 до 200 Гс. Для изучения структуры и гистерезисных свойств ДГ в указанных образцах использовалась методика, предложенная нами для исследования преобразования структуры ДГ под действием внешнего магнитного поля [9].

Измерения выполняются на проходящем через образец свете. В качестве источника поляризованного света используется гелий-неоновый лазер ЛГН — 107 Б. Свет падает под углом  $\Phi$  на поверхность изучаемой пленки. Внешнее магнитное поле прикладывается в плоскости образца. Магнитооптический сигнал (эффект Фарадея, обусловленный изменением намагниченности ДГ) регистрируется с участка образца, размеры которого равны  $(2 \times 1 \times t')$  мкм,  $t' = t \cdot \operatorname{tg} \Phi$  ( $t$  — толщина пленки,  $\Phi$  — угол преломления света).

В работе [9] было показано, что перемагничивание ДГ в поле, параллельном ее плоскости, осуществляется за счет смещения ВБЛ, а в перпендикулярном — за счет вращения вектора намагниченности ДГ. Последнее обстоятельство было использовано нами для детектирования участков ДГ разной полярности. Внешнее магнитное поле в форме однополярного импульса  $H_{\perp} = H_0(1 + \sin \omega t)$  прикладывалось в плоскости образца перпендикулярно плоскости ДГ. Как показано в [9], в такой конфигурации исключаются побочные эффекты за счет вращения вектора намагниченности в доменах и малых колебаний ДГ. В поле  $H_{\perp}$  магнитооптический сигнал от ДГ ( $\delta_{DW}$ ) пропорционален изменению блоховской компоненты намагниченности  $M_{BL}$ , причем значения  $\delta_{DW}$  противоположны по знаку для границ с разной полярностью  $M_{BL}$ . Таким образом, по виду зависимости  $\delta_{DW}$  от координаты, фиксирующей положение щели ФЭУ при сканировании ее вдоль ДГ (ось  $x$ ), можно судить о наличии (или отсутствии) субдоменов в границе.

На рис. 1 приведено типичное распределение  $\delta_{DW}(x)$ , полученное на одном из изучаемых образцов в поле  $H_0 = 60$  Э. Из рисунка видно, что наблюдаются два участка разной полярности и две области с нулевыми значениями  $\delta_{DW}$  (области пронумерованы римскими цифрами). Здесь следует иметь в виду, что при высокой плотности ВБЛ луч лазера может пересекать несколько субдоменов с различной полярностью  $M_{BL}$ . В результате величина  $\delta_{DW}$  будет определяться изменением среднего значения  $M_{BL}$  в этой области, которое может быть и нулевым. Таким образом, участки с  $\delta_{DW} = 0$  (области II и IV) могут характеризоваться высокой плотностью субдоменов (соответственно ВБЛ).

Дополнительные исследования показали, что измеренная на участке типа I локальная кривая перемагничивания границы, соответствующая переходу от правовинтовой к левовинтовой ДГ (внешнее маг-

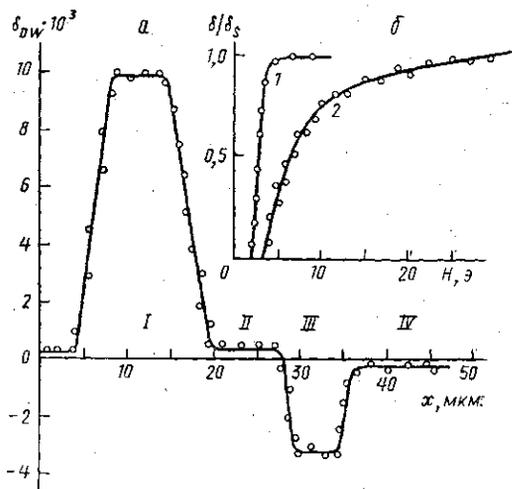


Рис. 1. Типичная зависимость  $\delta_{DW}(x) \sim M_{BL}$  при однополярном, поперечном перемагничивании границы (а) и типичные доменные кривые перемагничивания доменных границ (ДГ) в продольном поле (б) для участков I (1) и II (2)

нитное поле параллельно плоскости ДГ), имеет вид кривой 1, приведенной на рис. 1, б (здесь  $\delta_s$  — максимальное значение  $\delta_{DW}$ , регистрируемое при полном перемагничивании ДГ). Аналогичные кривые перемагничивания на участках II—IV подобны кривой 2. С использованием методики однополярного перемагничивания на тех же участках ДГ были измерены локальные петли гистерезиса (рис. 2). Анализ полу-

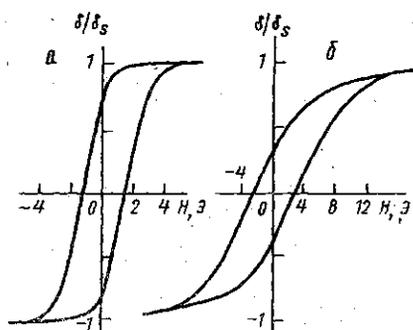


Рис. 2. Типичные локальные петли гистерезиса доменных границ в феррит-гранатовых пленках: для участков I (а) и II (б)

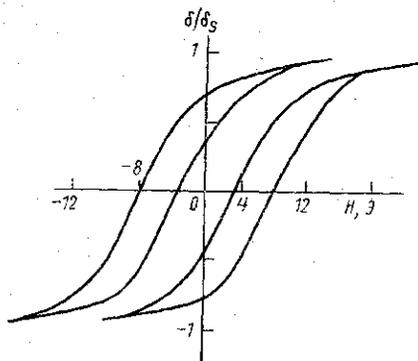


Рис. 3. Типичные локальные петли гистерезиса доменной границы после воздействия на нее магнитного поля  $\pm H_{\parallel}$

ченных данных показал, что участки типа I характеризуются прямоугольной петлей гистерезиса, а II—IV — пологой с углом наклона, различающимся от участка к участку. Кроме того, было установлено, что если к образцу предварительно приложить постоянное магнитное поле, параллельное плоскости ДГ ( $H_{\parallel} \approx 1000 \text{ Э} \gg 8M_s$ ), то вид кривых намагничивания ДГ не будет существенно отличаться от кривой 2, изображенной на рис. 1, б. Вместе с тем измеренная в этом случае локальная петля гистерезиса оказалась несимметричной относительно нулевого значения  $H$  — смещенной в противоположную сторону относительно ориентации предварительно приложенного поля на величину  $H \sim 4-8 \text{ Э}$  (рис. 3). Следует указать, что распределение  $\delta_{DW}(x)$  в этом случае имело вид монотонной кривой с практически неизменяющимися, отличными от нуля вдоль всего прямолинейного участка ДГ значениями  $\delta_{DW}$ , причем знак  $\delta_{DW}$  изменялся с изменением направления  $H_{\parallel}$ .

Объяснение приведенных выше результатов может состоять в следующем. Перед началом измерений образцы перемагничивались полем  $H \gg H_s$  ( $H_s$  — поле насыщения образца), что, как правило, сопровождается произвольным распределением ВБЛ в ДГ. Вероятно, участки первого типа имеют одно направление блоховской компоненты, и перемагничивание их осуществляется за счет смещения одиночных ВБЛ. В результате наблюдается прямоугольная петля гистерезиса (см. рис. 2, а). Участки второго, третьего и четвертого типа характеризуются наличием большого числа равномерно распределенных ВБЛ, что обуславливает уменьшение среднего значения намагниченности локального участка ДГ и связанное с ним видоизменение петли гистерезиса (см. рис. 2, б).

Наиболее вероятной причиной смещения по оси  $H$  петель гистерезиса, наблюдаемых на предварительно намагниченных полем  $H_{\parallel} \approx 1000 \text{ Э}$  границах, можно указать стабилизацию некоторого выделенного направления. Это может привести к асимметрии пиннинга ВБЛ,

а следовательно, и к различию коэрцитивной силы ВБЛ в параллельном и антипараллельном направлениях по отношению к ориентации предварительно приложенного поля. Последнее обстоятельство и обуславливает смещение петли гистерезиса.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 95-02-05601) и Международного научного фонда (грант J9C100).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Grundy P. J.//Phys. Stat. Solidi (a). 1973. 20, N 1. P. 295.
2. Legner R., Steyer A.//Phys. Stat. Solidi (a). 1976. 33, N 2. P. 531.
3. Suzuki T., Takashi M.//J. Appl. Phys. 1978. 17. P. 1371.
4. Konishi S., Shibata N., Shimaya M. et al.//J. Appl. Phys. 1979. 50, N 11. P. 7841.
5. Jantz W.//J. Appl. Phys. 1982. 53, N 3. P. 2543.
6. Юрченко С. Е.//Микроэлектроника. 1979. 8, № 5. С. 432.
7. Theile I., Engemann I.//IEEE Trans. Magn. 1988. MAG-24, N 2. P. 1781.
8. Криничк Г. С., Штайн А. В., Чепурнова Е. Е.//ЖЭТФ. 1984. 87, № 12. С. 2014.
9. Криничк Г. С., Папорков В. А., Чепурова Е. Е.//Письма в ЖЭТФ. 1989. 49, № 6. С. 356.

Поступила в редакцию  
17.03.95

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1995. Т. 36, № 5

УДК 539.1

## БЛИЖНИЙ ПОРЯДОК И ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКАЯ ТЕМПЕРАТУРА В СПЛАВЕ МАГНИЯ С ДИСПРОЗИЕМ

В. М. Силонов, Е. В. Евлюхина, Л. Л. Рохлин

(кафедра физики твердого тела)

Проведено экспериментальное — методом диффузного рассеяния рентгеновских лучей (ДРРЛ) и теоретическое — методом псевдопотенциала — изучение атомного ближнего порядка в сплаве магния с диспрозием. В сплаве Mg—3,4 ат. % Dy установлено существование ближнего порядка. Методом ДРРЛ определена характеристическая температура сплава:  $\Theta_D = 250$  К.

Экспериментальное исследование ближнего порядка в сплавах магния с РЗМ было предпринято в работах [1, 2]. В качестве легирующих добавок в первой использовались эрбий и гадолиний, во второй — тербий и гольмий. Однако лишь в [1] удалось установить существование ближнего порядка в сплаве Mg—6,4 ат. % Er и локального порядка в сплаве Mg—2,9 ат. % Gd. В [2] образцы Mg—2,8 ат. % Tb и Mg—3,3 ат. % Ho оказались двухфазными и дальнейшее изучение их методом ДРРЛ не представлялось возможным. Исследований магниевых сплавов с другими редкоземельными металлами в этом направлении не проводилось.

При исследовании ближнего порядка в сплавах магния с РЗМ возникает проблема выбора характеристической температуры, которая связана с большим разнообразием ее значений, предлагаемых разными авторами [3, 4]. Только для магния указываются значения температуры Дебая ( $\Theta_D$ ) от 300 до 400 К. Нет согласия в определении  $\Theta_D$  и для редкоземельных металлов. Данные о температуре Дебая магниевых сплавов с РЗМ нам не известны.

Целью данной работы является экспериментальное и теоретическое исследование ближнего порядка в сплаве магния с редкоземель-