

ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЕ ИНВЕРСНЫХ ПЛЕНОК В НАПРАВЛЕНИИ ОСИ ЛЕГКОГО НАМАГНИЧИВАНИЯ

Я. М. ПОГОСЯН, Т. А. ПОГОСЯН, В. А. МАМЯН

Рассмотрен процесс перемагничивания инверсных пленок ($H_{c1}/H_k = 1,5$) в направлении оси легкого намагничивания электронно-микроскопическим методом. Толщина пленок 470Å .

Показано, что перемагничивание осуществляется тремя стадиями: 1) переориентация ряби намагниченности с образованием блокирующих границ, 2) поворот намагниченности по обеим сторонам границы, 3) перемагничивание участков границ Нееля, приводящее к образованию линий Блоха в них, и их смещение. Разница между $H_{c\parallel}$ и $H_{c\perp}$ объясняется разностью плотностей энергии границ Нееля, образовавшихся в направлении оси легкого и трудного намагничивания соответственно.

Характер перемагничивания реальных тонких ферромагнитных пленок (ТФП) резко различен в зависимости от их состава и условий получения. В случае пленок с $H_{c\parallel}/H_k 0,3 + 0,5$ (H_{c1} — коэрцитивная сила по оси легкого намагничивания (ОЛН), H_k — поле анизотропии) перемагничивание по ОЛН осуществляется чистым смещением 180° -ных границ, в то время как при $H_{c\parallel}/H_k \geq 1$, что имеет место при наличии большой дисперсии анизотропии, характер перемагничивания как по оси трудного намагничивания (ОТН), так и по ОЛН аналогичен, на что указывается в ряде работ [1—4]. В этом случае из-за большой дисперсии анизотропии при толщинах пленок $500 - 1500\text{Å}$ в направлении ОТН появляется устойчивая петля [3], с коэрцитивной силой $H_{c\perp}$, сильно зависящей от H_{c1} . В работах по исследованию инверсных пленок [1,4] указывается на существование линейной связи между H_{c1} , $H_{c\perp}$, при этом, если в первой из этих работ величина $H_{c\parallel}$ связывается с плотностью границ Нееля в состоянии остаточной намагниченности в направлении ОТН, то во второй работе $H_{c\parallel} - H_{c\perp}$ объясняется разностью полей рассеяния перемагничивающих границ в направлении ОЛН и ОТН. Процесс перемагничивания, наблюдаемый с помощью электронного микроскопа, описывается в работе [2]. Здесь автор указывает на аналогию характера перемагничивания пленок с одноосной анизотропией в направлении ОТН инверсных пленок в направлении ОЛН и ОТН и изотропных пленок независимо от направления перемагничивания. Возникновение блокирующих границ при перемагничивании пленок в направлении ОЛН описано в работе [5], где независимым методом обнаружены области полей, при наличии которых возникают блокирующие границы.

Несмотря на то, что перемагничиванию ТФП в направлении ОЛН уделялось большое внимание, остается непонятным, какую роль играет H_k в инверсных пленках, если у них характер перемагничивания в направлении ОЛН не отличается от характера перемагничивания в направлении ОТН.

Цель настоящей работы — показать некоторые характерные особенности перемагничивания инверсных пленок в направлении ОЛН.

Экспериментальная часть

Пленки были получены путем вакуумного испарения (остаточный вакуум $P = 10^{-5}$ мм рт. ст.) при температуре подложки 300°C . Испарение осуществлялось из алундового тигля, нагреваемого с помощью электронной бомбардировки. Пленки были получены на покровных стеклах, предварительно напыленных каменной солью. Исходным материалом служил сплав $Ni/Fe - 82/18\%$. Толщина пленок, измеренная по электропроводности контрольного образца, составляла 470 \AA . Предварительная калибровка производилась путем измерения толщины пленки методом полос равного хроматического порядка. Состав исходного сплава был выбран таким образом, чтобы отделение пленки от подложки, сопровождающееся снятием внутренних напряжений, не приводило бы к изменениям магнитных свойств [9]. Исследуемые пленки имели отношение $H_{c1}/H_k = 1,5$.

Состояние остаточной намагниченности в направлении ОЛН, наблюдаемое в дефокусированном электронном микроскопе, приведено на рис. 1а, где видна рябь намагниченности большой длины волны, харак-

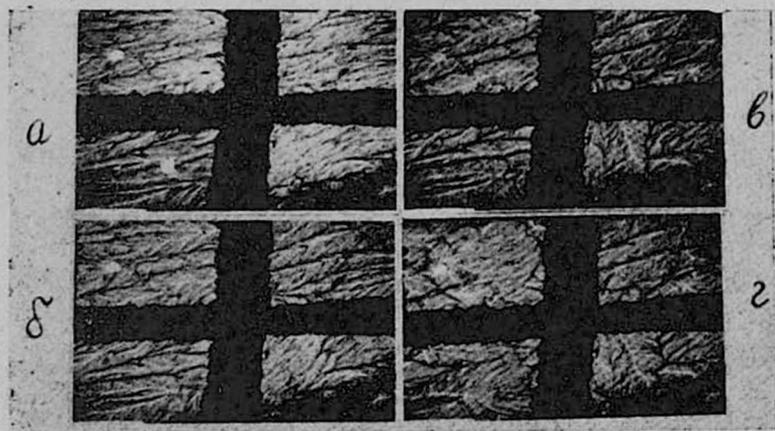


Рис. 1. Перемагничивание инверсных пленок в направлении ОЛН:

1а — $H_{вн} = 0$; б $H_{вн} = 1,2 \text{ э}$; в $-H_{вн} = 2,0 \text{ э}$; г — $H_{вн} = 3,0 \text{ э}$, ОЛН: вертикальна (600).

теризующая наличие большой дисперсии анизотропии. Процесс перемагничивания этой пленки приводится на серии снимков при соответствующих значениях приложенных полей. При постепенном увеличении перемагничивающего поля наблюдается следующее:

1) переориентация ряби намагниченности, приводящая к образованию доменной структуры, напоминающей состояние остаточной намагниченности в направлении ОТН (16);

2) поворот намагниченности по обе стороны границы при дальнейшем увеличении внешнего поля ($H_{вн} < H_{c11}$), что в конечном ито-

ге приводит к увеличению полей рассеяния границ Нееля и изображение границ становится более контрастным (рис. 1в);

3) перемагничивание участков границ Нееля при значении $H_{\text{вн}} = H_c$, проявляющееся в появлении и дальнейшем смещении линий Блоха на границах Нееля (рис. 1г).

Обсуждение результатов

Как было указано выше, перемагничивание инверсных пленок в направлении ОЛН осуществляется тремя последовательными процессами. Во-первых, переориентацией ряби намагниченности, приводящей к возникновению блокирующих границ типа Нееля. Во-вторых, поворотом намагниченности по обе стороны границ, что приводит к увеличению плотности энергии границы Нееля, и, наконец, перемагничиванием границ Нееля, образованием стирающей границы и ее смещением. Следует указать, что эти три стадии характерны и при перемагничивании в направлении ОТН. Так в работе [7] при перемагничивании в направлении ОТН наблюдались необратимые скачки при перемагничивающем поле, равном $0,04 H_k$, приводящие к появлению петли гистерезиса в направлении ОТН при малых значениях полей. Величина поля, при которой осуществляются эти скачки, приводящие к переориен-

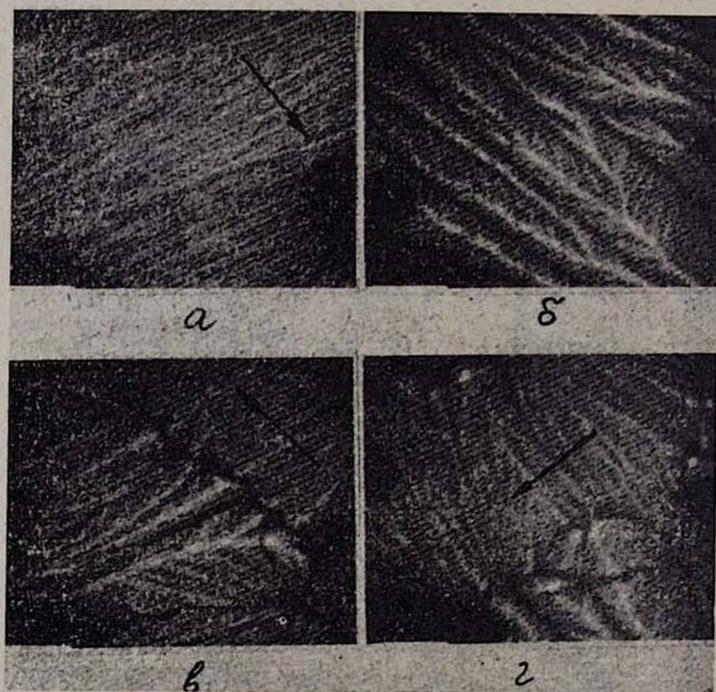


Рис. 2. Микрофотография остаточного состояния одного и того же участка пленки в направлении ОЛН (2а) и ОТН (2б) и процесс перемагничивания (2в, 2г) в направлениях ОЛН и ОТН соответственно ($\times 900$).

резиса в направлении ОТН при малых значениях полей. Величина поля, при которой осуществляются эти скачки, приводящие к переориен-

бтации ряби намагниченности, по-видимому, обусловлена степенью анизотропности исследуемой пленки. В работе [7] исследовались пленки с $H_{c\parallel}/H_k \approx 2,3$ и процесс переориентации осуществлялся при положительном поле 0,04э. Увеличение анизотропности приведет к установлению такого состояния ряби намагниченности уже при отрицательных полях.

В свете вышеизложенного неудивительно, что у инверсных пленок в отличие от пленок с ярковыраженной одноосной анизотропией появляется петля при малых значениях перемагничивающих полей, несмотря на то, что магнитооптический метод Керра не обнаруживает образования и роста доменов обратной намагниченности при таких значениях полей.

После переориентации ряби намагниченности с возникновением блокирующих границ дальнейший характер перемагничивания в направлении ОЛН будет аналогичен перемагничиванию в направлении ОТН. Это хорошо иллюстрируется на рис. 2, на котором приводится микрофотография процесса перемагничивания одного и того же участка инверсной пленки в направлении ОЛН (2в) и в направлении ОТН (2г). Соответствующее им исходное остаточное состояние приведено на рис. 2а и 2б. Возникает вопрос — в чем же состоит роль H_k в процессе перемагничивания инверсных пленок?

Рассмотрим сам процесс перемагничивания. Плотность энергии границ Нееля, выражающаяся суммой плотностей энергий одноосной анизотропии полей рассеяния и обменной энергии, в основном обуславливается полями рассеяния границ. Поэтому энергетически безразлично, в каком направлении возникают границы, параллельно направлению ОЛН или перпендикулярно ей.

Перемагничивание отдельных участков границ Нееля и появление линий Блоха обусловлено тем, что в момент перемагничивания плотность энергии границ Нееля $\gamma_{\varphi}^N = \gamma_0^N (1 - \cos\varphi)^2$ становится больше, чем плотность энергии границ типа колючей проволоки $\gamma_{\varphi}^{к.п.} = \gamma_0^{к.п.} \sin^2 \varphi$, где γ_0^N и $\gamma_0^{к.п.}$ плотности энергии границы Нееля и границы типа колючей проволоки соответственно при 180°-ой — границе, φ — угол между направлением перпендикуляра к границе и вектором намагниченности [8].

Изменение γ в зависимости от угла φ для обоих типов границ приводится на рис. 3, откуда видно, что с увеличением φ плотность энергии границ обоих типов увеличивается, но скорость изменения различна. В момент, когда $\gamma_{\varphi}^N = \gamma_{\varphi}^{к.п.}$, на границах Нееля возникают линии Блоха, так как дальнейшее увеличение плотности энергии границ Нееля путем поворота намагниченности энергетически неблагоприятно. В этом свете $H_{c\parallel}$ и $H_{c\perp}$ связаны между собой (если пренебречь вкладом энергии одноосной анизотропии в общую энергию границы). Если в состоянии остаточной намагниченности в направлении ОТН $\varphi_{\perp} = 30 - 40^\circ$ и плотность энергии границ соответствует уровню А, то в состоянии остаточной намагниченности в направлении ОЛН $\varphi_{\parallel} = 15^\circ$ и

плотность энергии границ соответствует уровню В. Тогда в первом случае анизотропия способствует увеличению φ , во втором—она препятствует этому увеличению и разность коэрцитивных сил $H_{c\parallel} - H_{c\perp}$ пропорциональна разности плотностей энергии границ, соответствующих уровням В и А. Отсюда уже легко понять, что чем выше степень

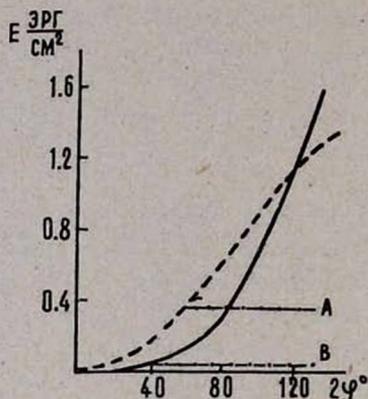


Рис. 3. Зависимость плотности энергии границ Нееля (—) и типа колючей проволоки (---) от угла 2φ .

анизотропии, тем больше разность уровней А и В и, соответственно, тем больше разность $H_{c\parallel} - H_{c\perp}$, и наоборот, с уменьшением степени анизотропии уровни А и В сближаются и в изотропных пленках они становятся равными. В этом аспекте легко объяснить поведение ТФП при отжиге, когда после отжига прикладывается в направлении \perp ОТН и пленка становится изотропной, при этом $H_{c\parallel}$ уменьшается по сравнению с исходными значениями, а $H_{c\perp}$ — растет.

Следует отметить, что при других толщинах соотношение уровней А и В будет иным.

Ереванский государственный
университет

Поступила 26.VII 1968

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. E. Feldtkeller, Zs. angew. Phys., 15, 206 (1963).
2. E. Fuchs, W. Zinn, J. Appl. Phys., 34, 2557 (1963).
3. Я. М. Погосян, ФММ, 17, 678 (1964).
4. К. А. Ешян, В. А. Джидарян, ФММ, 19, 33 (1965).
5. В. Р. Телескин, ФММ, 24, 882 (1967).
6. E. Fuchs, Zs. angew. Phys., 13, 157 (1961).
7. E. Feldtkeller, J. Appl. Phys. 34, 2646 (1963).
8. S. Middelhoek, J. Appl. Phys., 34, 1054 (1963).
9. F. T. Wooten, Y. L. Artley, T. C. Pinkington, J. Vacuum, Sci. and Technol., 4, № 1, 29 (1967).

Ինվերսիոն ԹԱՂԱՆԹՆԵՐԻ ՎԵՐԱՄԱԳՆԻՍԱՑՈՒՄԸ ՀԵՇՏ ՄԱԳՆԻՍԱՑՄԱՆ ԱՌԱՆՑՔԻ ՈՒՂՂՈՒԹՅԱՄԲ

Յա. Մ. ՊՈՂՈՍՅԱՆ, Տ. Ա. ՊՈՂՈՍՅԱՆ Վ. Ա. ՄԱՄՅԱՆ

Էլեկտրոնային-մանրադիտակային մեթոդով դիտված է ինվերսիոն թաղանթների վերամագնիսացման ($H_{c\parallel}/H_k = 1,5$) ընթացքը հեշտ մագնիսացման առանցքի ուղղությամբ: Թաղանթների հաստությունը 470 Å է:

Ցույց է տրված, որ վերամագնիսացումը իրականացվում է երեք ստադիաներով:

1) Մագնիսացվածության ծփանցի վերակողմնորոշում բլոկավորող սահմանների առաջացումով, 2) սահմանի երկու կողմերում մագնիսացվածության դարձ, 3) Նեելի սահմանների մասերի վերամագնիսացում, որը բերում է նրանց մեջ Բլոխի գծերի առաջացմանը և նրանց շեղմանը: $H_{c\parallel}$ -ի և $H_{c\perp}$ միջև եղած տարբերությունը բացատրվում է Նեելի սահմանների էներգիայի խտության տարբերությունով, որը առաջացել են համապատասխանաբար հեշտ և դժվար մագնիսացման առանցքների ուղղությամբ:

REMAGNETIZATION OF INVERSE FILMS IN THE EASY AXIS DIRECTION OF MAGNETIZATION

Y. M. POGOSIAN, T. A. POGOSIAN, V. A. MAMIAN

The process of remagnetization of inverse films ($H_{c\parallel}/H_k = 1,5$) in the easy axis direction of magnetization is considered by the electron-microscopic method. The film thickness is equal to 470 Å.

Remagnetization is shown to take place in three stages:

1. Stabilization of magnetization ripple with formation of blocking walls;
2. Rotation of magnetization on both sides of the wall.
3. Remagnetization of segments of the Neel walls, leading to the formation of the Bloch lines in them and their bias.

The difference between $H_{c\parallel}$ and $H_{c\perp}$ is due to the difference of the Neel's wall energy densities, formed in the state of the residual magnetization in the easy and hard directions, respectively.

Վ՛՛