

Я. М. ПОГОСЯН

ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОПЕРЕЧНЫХ ПЕРЕТЯЖЕК НА ПРОЦЕСС СПОЛЗАНИЯ ДОМЕННЫХ ГРАНИЦ

(Представлено академиком Г. В. Курдюмовым 5 VII 1971)

Высокая подвижность доменных границ при сползании в пермалловых пленках толщиной 600—900 Å пока не нашла объяснения. Модели, описывающие процесс сползания доменных границ, не объясняют такую «аномалию». При этом крестообразные линии Блоха либо вообще не учитываются⁽¹⁻³⁾, либо рассматриваются как неоднородности, на которых «зацепляются» неелевские сегменты доменной границы⁽⁵⁾.

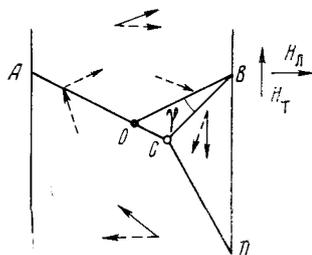


Рис. 1. Схема траектории линий Блоха. Точка O соответствует положению круговой линии Блоха при $H_t = 0$, точка C — при наличии поля H_t . Направленные векторы намагниченности вблизи границы указано стрелками: сплошные стрелки — при наличии поля H_t , пунктирные — при $H_t = 0$

Настоящая работа предпринята с целью выяснения влияния плотности поперечных перетяжек на процесс сползания доменных границ.

Исследуемые пленки были получены методом вакуумного испарения сплава 80НХС на покровных стеклах микроскопа, предварительно покрытых подслоем каменной соли; толщина пленок 400—1000 Å. Исследование проводилось методом лорентцовой микроскопии на электронном микроскопе типа УЭМВ-100К, снабженном специальным устройством для приложения взаимно перпендикулярных внешних полей к исследуемой пленке. Ось анизотропии пленки по отношению к внешним полям устанавливалась с помощью гониометрической головки. Магнитные характеристики пленок — коэрцитивная сила H_c , поле анизотропии H_k и угловая дисперсия анизотропии α_{90} — измерялись непосредственно в электронном микроскопе. Для исследований были выбраны пленки с $\alpha_{90} \sim 1^\circ$.

Процесс сползания доменных границ можно непосредственно наблюдать в электронном микроскопе при приложении соответствующих магнитных полей: в направлении оси легкого намагничивания (о.л.н.) — постоянно действующее поле $H_n = (0,5-0,9)H_c$, а в направлении оси трудного намагничивания (о.т.н.) — поле переменной полярности $H_t = (0,1-0,4)H_k$.

Электронномикроскопические наблюдения процесса сползания доменных границ с поперечными перетяжками показали, что явление сползания происходит следующим образом.

Под действием поля H_n векторы намагниченности вблизи границы по обеим ее сторонам, расположенные под углом 45° к о.л.н., отклоняются и углы становятся $45^\circ - \varphi_1$ и $45^\circ + \varphi_2$. Возникающие при этом магнитостатические поля рассеяния в состоянии переориентировать неелевские сегменты границы таким образом, чтобы свести к минимуму магнитостатические заряды в границе, т. е. границы под действием H_n прогибаются на величину $\Delta = \varphi q$, где q — расстояние между круговой и крестообразной

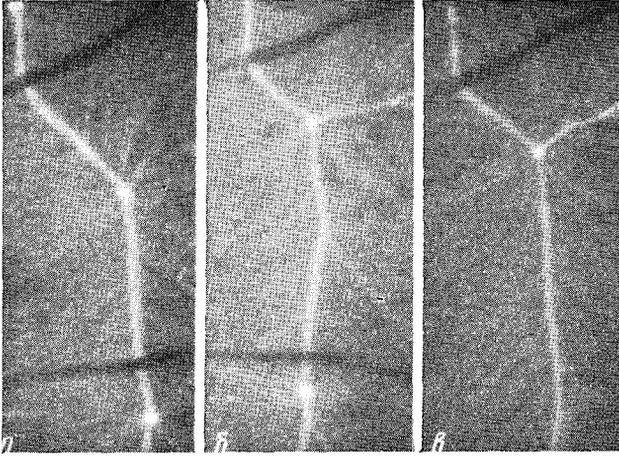


Рис. 2. Электронные микрофотографии структуры доменной границы под действием поля: $a - H_T = 0$, $b - H_T = 0,30 H_K$, $c - H_T = 0,35 H_K$

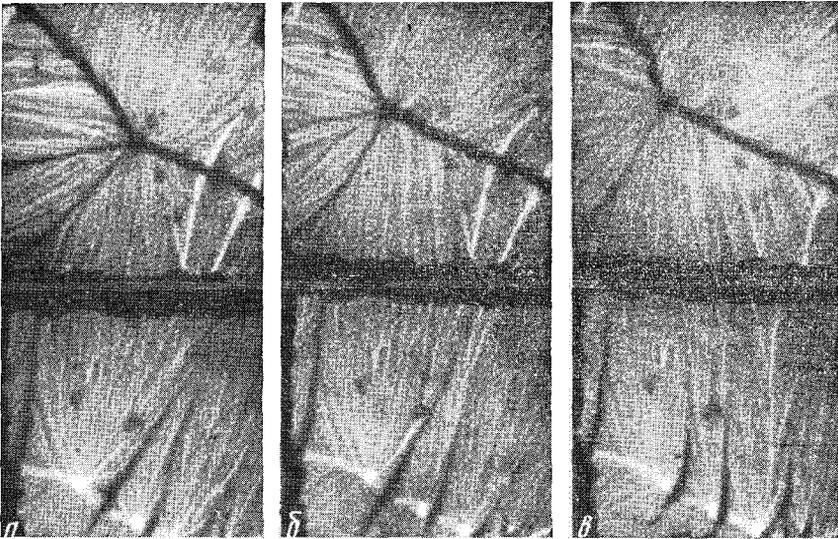


Рис. 3. Процесс сползания доменной границы на одном и том же участке пленки, имеющем границы с различным h_T при $H_T = 0,80 H_K$: $a - h_T = 0$, $b - h_T = 0,25$, $c - h_T = 0,35$

линиями Блоха и

$$\Phi = \frac{\Phi_1 + \Phi_2}{2} = \frac{h_{\pi}}{h'_T} \frac{h'^2_T + h^2_{\pi}}{h'^2_T - h^2_{\pi}}. \quad (1)$$

Здесь h_{π} — нормированное к H_K поле, действующее по о.л.н. и h'_T — условное поле по о.т.н., удерживающее вектор намагниченности под углом 45° к о.л.н. и принятое равным $\sqrt{2}/2$ (⁴, ⁶).

Последующее приложение поля по о.т.н. вызывает смещение круговой линии Блоха. В отличие от данных работы (⁴), круговая линия Блоха смещается не по имеющейся границе, а прокладывает себе путь по линии AOC (рис. 1), что приводит к изменению направленности коротких неелевских сегментов границы $BC = q - OC$ и возникновению в них магнитостатических полей рассеяния, пропорциональных углу γ . Здесь OC — отрезок пути, пройденный круговой линией Блоха под действием H_T и равный qh_T/h_a , где h_T — нормированное к H_K поле, действующее по о.т.н., h_a — поле аннигиляции (⁷). Величина возникающих при этом магнитостатических полей рассеяния на участке границы BC описывается выражением

$$H_p = \frac{Jt}{q - OC} \sqrt{2} \gamma = \frac{4Jth_{\pi}h_T h_a}{q(h_a - h_T)^2} \frac{h'^2_T + h^2_{\pi}}{h'^2_T - h^2_{\pi}}, \quad (2)$$

где J — намагниченность, t — толщина.

В работе (⁷) показано, что под действием поля H_p область намагниченности BCD вблизи границы, вопреки модели одноосной анизотропии, поворачивается в направлении, противоположном действию H_T , что приводит к возникновению дивергенции магнитного потока вблизи границы и появляется новая граница CD (рис. 1, 2 *аб*). Естественно коэрцитивная сила смещения круговой линии Блоха при этом растет и соответственно растет поле аннигиляции. Последнее в наших экспериментах при $q = 10 \mu$ составляет

$$h_a^* = h_a + 0,3h_{\pi}/h_c. \quad (3)$$

По мере увеличения H_T область BCD будет все больше препятствовать ходу намагниченности, и срыв границы на крестообразной линии по существу обусловлен уменьшением объема этой области на такую величину, чтобы исключить дивергенцию магнитного потока вблизи границы. Это состояние, по-видимому, будет соответствовать обратной очередности приложения внешних полей или отсутствию H_{π} (⁷). Условием, необходимым при моделировании процесса сползания доменных границ, является $H_{\pi} + H_p \geq H_c$.

Для выяснения роли плотности поперечных перетяжек в процессе сползания доменных границ, нами был выполнен ряд электронномикроскопических исследований, которые показали, что аннигиляция линий Блоха при большой плотности поперечных перетяжек наступает при сравнительно малых H_T , при этом под аннигиляцией уже подразумевается не полное исчезновение всех крестообразных линий, а уменьшение их числа на единицу длины границы вследствие последовательного исчезновения определенного числа линий Блоха. Тогда, если при $q = 15 \mu$ аннигиляция может наступить при поле $H_T \approx 0,6 - 0,7 H_K$, то при $q = 5 \mu$, аннигиляция может начаться при поле $\sim 0,4 H_K$ и завершиться при $0,7 H_K$ вследствие постепенного аннигилирования линий Блоха. Экспериментально найдена зависимость для поля аннигиляции в виде

$$h_a = 0,4 + 0,02q. \quad (4)$$

Справедливость сказанного подтверждается рис. 2, из которого видно смещение линии Блоха под действием поля H_T . Сползания нет, по-видимому, из-за больших неоднородностей на крестообразных линиях. Вид-

во возникновении области BCD вследствие образования вторичной неелевской границы. При дальнейшем увеличении H_T , приводящем к аннигиляции соседних крестообразных линий Блоха, круговая линия Блоха смещается в противоположную сторону (рис. 2 б, в), т. е. аннигиляция соседних крестообразных линий Блоха искусственно увеличивает длинный неелевский сегмент (рис. 2в). Протяженность длинного неелевского сегмента обусловлена компонентой намагниченности домена по о.т.п., поэтому при его искусственном увеличении круговая линия Блоха должна сместиться таким образом, чтобы на данном участке границы, разность длинных и коротких сегментов сохранилась. Рис. 2 б, в, хотя и косвенно, иллюстрируют, что аннигиляция линий Блоха при большом q наступает при большом H_T .

Выражение (5) для H_p с учетом плотности крестообразных линий Блоха таково:

$$H_p = \frac{4Jt(0,40 + 0,02q) h_T h_{\perp}}{q(0,40 + 0,02q - h_T)^2} \frac{h_T'^2 + h_{\perp}^2}{h_T'^2 - h_{\perp}^2}. \quad (5)$$

На рис. 3 приводятся электронномикроскопические снимки, иллюстрирующие процесс сползания одного и того же участка пленки, имеющего границы с различными q . Видно, что под действием поля H_T аннигиляция линий Блоха для участка границы с меньшим q наступает намного раньше, следовательно, и сползание имеет место при $H_{\perp} = \text{const}$ при сравнительно меньших H_T . Для исследуемых пленок толщиной 500 Å характерно $q = 12-15 \mu$. Возникновение границ по о.л.н. с меньшим q для данной толщины может иметь место только при росте H_K из-за магнитострикционных эффектов⁽⁸⁾, т. е. возможно, что в области где q меньше, H_K несколько больше, чем в области с большим q , но h_a в последнем случае намного больше, а следовательно, срыв здесь наступает при больших H_T . Если к описанному добавить, что плотность поперечных перетяжек увеличивается с ростом толщины, то согласно (5) скорость роста H_p^* в зависимости от h_{\perp} и h_T будет также пропорциональна толщине.

В заключение отметим, что при дальнейшем увеличении H_T , приводящем к сползанию верхнюю границу, сползание на нижнем участке может происходить по-другому⁽¹⁾, а именно переходом границы с поперечными перетяжками в границу типа Нееля и обратно, что более эффективно, чем поле, меньшее h_a .

Ереванский государственный
университет

Поступило
5 VII 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ S. Middelhoek IBM J. Res and Developm., 6, 140 (1962). ² T. H. Beeforth, Intern. J. of Control., 1, 376 (1964). ³ E. J. Torok, A. L. Olson, H. M. Oredson, J. Appl. Phys., 36, 1934 (1965). ⁴ E. J. Torok, D. S. Lo et al., J. Appl. Phys., 40, 1222 (1969). ⁵ О. А. Виноградов, Е. Н. Ильичева и др., В сборн. Физика магнитных пленок, Иркутск, 1968, стр. 219. ⁶ Я. М. Погосян, П. А. Безиргян и др., ДАН, 200, 839 (1971). ⁷ Я. М. Погосян, З. М. Гзрян, С. А. Арутюнян, Всесоюз. конфер. по магнетизму, Красноярск, июнь 1971. ⁸ S. Middelhoek, J. Appl. Phys., 34, 1054 (1963).