

ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ И МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ НА СПОЛЗАНИЕ ДОМЕННЫХ ГРАНИЦ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ МАГНИТНЫХ ПЛЕНКАХ

К. А. ЕГИЯН, Р. Г. МАРТИРОСЯН, В. В. КАРАПЕТАН

Исследуется сползание доменных границ цилиндрических магнитных пленок двух типов — шероховатых и гладких в интервале толщины 0,4—2 мкм. Показано, что существенное влияние на критические кривые сползания оказывает коэрцитивная сила пленок (H_c).

Увеличение толщины пленок при постоянной H_c несущественно сказывается на критических кривых сползания, но сильно влияет на пороговые кривые переключения.

Несмотря на успешное использование цилиндрических магнитных пленок [1], исследованиям сползания доменных границ посвящено лишь несколько работ. В [2, 3] изучалась скорость сползания доменных границ в различных ортогональных полях. В [4] рассматривалось влияние магнитных свойств пленок на критические кривые и сползание доменных границ. Данная работа, являясь продолжением [4], посвящена исследованию влияния свойств пленок на критические кривые сползания. В частности, изучались пленки в широком интервале толщин.

Пороговые кривые сползания и критические кривые переключения определялись так же, как и в [4], индукционным методом на несколько модифицированной установке. В отличие от [4], с целью исключения механического воздействия на пленку, доменная граница в данной установке создавалась не с помощью щупа, а посредством цикла Ваабена [5]. Для этого в средней части образца рядом с соленоидом, создающим переменное поле по трудной оси, располагался второй соленоид, перекрывавший первый на участке 3 мм. Длина обоих соленоидов — 25 мм. После насыщения образца в импульсном поле порядка 60 э на второй соленоид подавался импульс тока больший поля анизотропии, синхронизированный по времени с двумя разнополярными импульсами тока по легкой оси (цикл Ваабена), приводящий к переключению участка пленки под вторым соленоидом. Таким образом, в начале первого соленоида создавалась доменная граница, сползание которой и наблюдалось при действии на нее переменного синусоидального поля первого соленоида (H_T) (частота 10 кГц) и постоянного поля по легкой оси (H_L). Индикатором состояния пленки является сигнал, индуцируемый полем H_T . Система соленоидов укреплена на подвижной каретке, перемещающейся вдоль пленки, что позволяло контролировать цикл создания доменной границы. За критические поля сползания принимались максимальные значения H_L при данных H_T , не приводящие при $6 \cdot 10^5$ циклах к переключению пленки. Критические поля переключения определялись после цикла создания границы.

Помимо определения критических кривых сползания и переключения, установка позволяет определять угол скоса легкой оси, коэрцитивную силу, дисперсию и поле анизотропии по методике [6].

Было изучено большое количество образцов железоникелевых пленок с весьма широким интервалом свойств, полученных электролитическим осаждением в установке непрерывного действия на проволоку из бериллиевой бронзы диаметром 0,23 мм. Характерная особенность пленок — наличие аморфного подслоя сплава никель-фосфор. Изучались пленки двух видов — „гладкие“ и „шероховатые“. В случае „гладких“ пленок осаждение подслоя велось на полированную поверхность проволоки — подложки, у „шероховатых“ до осаждения подслоя проволока подвергалась специальному электролитическому травлению. Изменением шероховатости удастся в широких пределах управлять свойствами пленок [7].

Все использованные образцы делятся на три группы:

1. Образцы с переменной шероховатостью, регулируемой плотностью тока травления в интервале от нуля до 24 ма/см². Толщина этих образцов менялась в пределах 0,85—1,05 мкм.

2. „Шероховатые“ образцы, полученные при плотности тока травления 16 ма/см² в интервале толщин 0,37—2,24 мкм.

3. „Гладкие“ образцы в интервале толщин 0,55—2,1 мкм.

Ниже приводятся характерные данные для указанных групп пленок. H_c определялась по переключению в постоянном поле, H_k — на феррографе методом экстраполяции.

На рис. 1 приводятся критические кривые сползания и переключения пленок с различной шероховатостью подложки. Пленка 21 гладкая, 25 — наиболее шероховатая. С ростом шероховатости подложки

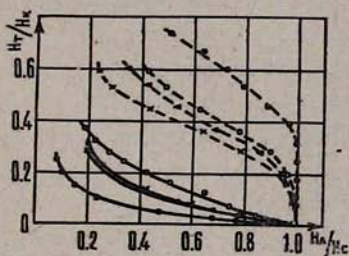


Рис. 1. Критические кривые сползания (сплошные) и переключения (пунктирные линии) для пленок с различной шероховатостью: ● — 21; ▲ — 22; × — 23; ○ — 25.



Рис. 2. Критические кривые сползания (сплошные) и переключения (пунктирные) для шероховатых пленок различной толщины: ○ — 31 (2,24 мкм); × — 34 (0,73 мкм); ▲ — 32 (1,47 мкм); ● — 35 (0,37 мкм).

резко растет коэрцитивная сила пленок. H_c образцов равна: 21—0,55 э; 22—0,96 э; 23—1,28 э; 25—1,7 э. Поле анизотропии образцов изменяется незначительно и лежит в пределах 2,5—3,3 э.

Характерны следующие особенности кривых сползания: отсутствие порога по H_T — сползание существенно даже в области очень малых переменных полей в трудном направлении, и зависимость поло-

жения критических кривых сползания от H_c . Из рисунка видно, что ближе всего к оси абсцисс идет кривая с наименьшим H_c , и с ростом H_c кривые смещаются в область больших H_t . Такая группировка по H_c не случайна и проявляется так же для других партий пленок.

На рис. 2 приводятся кривые сползания и переключения для шероховатых пленок разной толщины. Коэффициентные силы образцов равны: 31—0,95 э; 32—1,3 э; 34—2,62 э; 35—4,3 э. Как и в предыдущем случае характерна зависимость сползания от H_c , несмотря на большой интервал изменения толщины. Интересна другая особенность кривых переключения: в случае толстых пленок они приближаются к кривым сползания и вертикальный участок в области малых H_t исчезает.

На рис. 3 приводятся данные по гладким пленкам различной толщины. Самый тонкий образец 61 толщиной 0,55 мкм имеет $H_c=0,9$ э, с ростом толщины до 0,9 мкм H_c падает до уровня 0,65 э. В интервале толщин 1—2 мкм H_c лежит на уровне 0,59—0,63 э. Кривые сползания пленок лежат весьма кучно, причем кривая пленки с наибольшей H_c лежит выше других. Для толстых пленок и здесь кривая переключения смещена в область малых H_t и начальный участок пологий.

Обсуждение результатов

Несмотря на большое количество как теоретических, так и экспериментальных работ по сползанию на сегодня нет четкости в понимании механизма этого процесса. Появившиеся недавно работы, где сползание наблюдалось с помощью лоренцевой микроскопии [8—10], позволяющей непосредственно наблюдать за процессом, указывают, что он может идти по-разному, в зависимости от толщины пленок и их свойств. Ясно, что зарядовый механизм, предложенный в [11] и в дальнейшем развитый в [12], играет существенную роль в процессе сползания. К сожалению, указанные работы относятся к плоским пленкам, причем работы по лоренцевой микроскопии ограничены толщиной до 2000 Å, так что механизмы сползания в толстых цилиндрических пленках построены на предположениях. В частности, в [2] предполагается, что под действием H_t граница в местах с малыми H_c изгибается, причем переменное H_t вызывает смещение линий Нееля и появление дополнительных переходных полей, приводящих к локальным сдвигам границы.

Наши экспериментальные данные не противоречат этой модели. Действительно, обнаруженная во всех экспериментах сильная зависимость Δh_t (разность между кривыми переключения и сползания, отнесенная к H_c) от h_t в области малых полей согласуется с предположением модели о смещении линий Нееля в границах Блоха под действием H_t , так как поля смещения этих линий должны быть порядка десятых долей эрстеда [9]. С этой точки зрения модель, связанная с переходами Блок-Неель [13], в малых полях работать не может.

Существенна обнаруженная зависимость критической кривой сползания в координатах h_t , h_t от величины H_c . Для сравнения на

рис. 4 приводится зависимость h_T от H_c для всех использованных пленок. Данные по h_T взяты для двух значений h_L — 0,3 и 0,5. Из

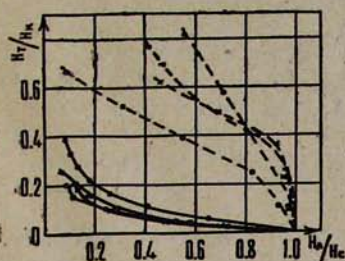


Рис. 3. Критические кривые сползания (сплошные) и переключения (пунктирные) для гладких пленок различной толщины; ● — 61 (0,55 мкм); × — 65 (1,28 мкм); ▲ — 64 (1,1 мкм); ○ — 67 (2,1 мкм).

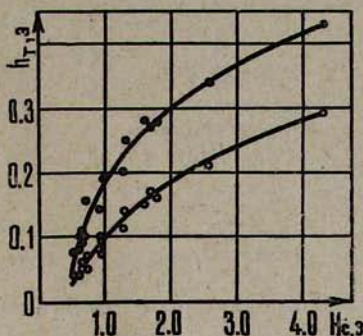


Рис. 4. Зависимость порога сползания h_T от H_c для гладких и шероховатых пленок различной толщины при двух значениях h_L : ○ — 0,5; ● — 0,3.

графика видно, что с приемлемой точностью указанная зависимость выполняется для всех пленок. Наибольшие отклонения наблюдается для наиболее толстой шероховатой пленки 31. Приведенные данные говорят об определяющей роли коэрцитивной силы в характеристике процесса сползания. В свете механизма Дойля [2] возможно, что рост H_c приводит к соответствующему росту коэрцитивной силы смещения неелевских линий, в связи с чем при $h_L = \text{const}$ высококоэрцитивные пленки требуют больших h_T для начала сползания.

Интересны результаты по зависимости критических кривых сползания от толщины пленок. Учитывая сильную зависимость кривых сползания от H_c , прямое сравнение возможно лишь для гладких пленок, коэрцитивная сила которых в интервале толщин 1—2 мкм практически постоянна. Из данных, представленных на рис. 3, видно, что хотя по толщине образцы 64, 65, 68 отличаются в два раза, критические кривые сползания весьма близки. Как уже отмечалось, существенно изменяются с толщиной критические кривые переключения, в связи с чем наблюдается зависимость эффективности сползания пленок [12] от толщины. На рис. 5 приводятся зависимости ΔH_L и $\Delta h_L = \Delta H_L/H_c$ от толщины на уровне $h_T = 0,25$. В интервале $h_T = 0,2—0,3$ сползание наиболее эффективно [4], поэтому здесь удобнее сравнивать отдельные образцы. Как видно из рисунка, ΔH_L как в случае шероховатых, так и в случае гладких пленок, с ростом толщины падает, а кривые Δh_L имеют небольшой максимум в области толщин 1—1,2 мкм. Ход кривых Δh_L определяется рядом факторов, в частности, зависимостью H_c и критических кривых переключения от толщины, из-за чего данные не поддаются простой интерпретации. Можно лишь отметить, что спад Δh_L с ростом толщины в основном определяется зависимостью ме-

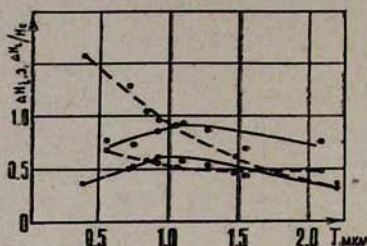


Рис. 5. Зависимость ΔH_L (пунктирные линии) и $\Delta H_L/H_c$ (сплошные линии) от толщины: ● — шероховатые пленки; ○ — гладкие пленки.

ханизма сползания от толщины. В частности, любой за рядовой механизм сползания должен приводить к росту эффективности сползания с толщиной [12].

Поступила 15.IX.1971

ЛИТЕРАТУРА

1. J. S. Mathias G. A. Fedde, IEEE Trans. Magn., 5, 728 (1969).
2. W. D. Doyle, R. M. Josephs, A. Baltz, J. Appl. Phys., 40, 1172 (1969).
3. Р. В. Телеснин, Е. Н. Ильичева, Н. Г. Канакина А. Г. Шишков, С. М. Зимачева, Г. М. Нурмухамедов, Материалы школы-семинара в Цахкадзоре, октябрь 1970.
4. К. А. Егиян, К. А. Наринян, А. А. Едигарян, Р. Г. Арутюнян, А. Б. Какоян, ФММ, 32, 40 (1971).
5. S. Waaben, IEEE Trans. Electron. Comp., EC-16, 335 (1967).
6. Г. П. Зинькевич, Б. А. Стрельников, Сб. Аппаратура и методы исследования тонких магнитных пленок, стр. 220, Красноярск, Изд. СО АН СССР, 1967.
7. А. А. Едигарян, К. А. Егиян, А. Б. Какоян, Р. Г. Арутюнян, Г. А. Аланакян, Изв. АН АрмССР, Физика, 6, 34 (1971).
8. E. J. Torok, D. S. Lo, H. N. Oredson, N. J. Simon, J. Appl. Phys., 40, 1222 (1969).
9. E. J. Torok, H. N. Oredson, W. J. Simon, J. Appl. Phys., 41, 1338 (1970).
10. Я. М. Полюсян, Э. М. Гэрян, С. А. Арутюнян, ФММ, 31, 417 (1971).
11. A. L. Olson E. F. Torok, J. Appl. Phys., 36, 1058 (1965).
12. О. А. Виноградов, Е. Н. Ильичова, Н. Г. Канакина, В. Э. Осуховский, Р. В. Телеснин А. Г. Шишков, Сб. Физика магнитных пленок, стр. 219, Иркутск, СО-АН СССР, 1968.
13. H. C. Bourne, T. Kusuda, C. Lin, IEEE Trans. Magn., 5, 247 (1979).

ՀԱՍՏՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ՄԱԳՆԵՏԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ
ԴՈՄԵՆՆԵՐԻ ՍԱՀՄԱՆՆԵՐԻ ՍՈՂՄԱՆ ՎՐԱ ԳՂԱՆԱՅԻՆ ՄԱԳՆԵՏԱԿԱՆ
ԹԱՂԱՆԹՆԵՐՈՒՄ

Կ. Ա. ԵԴԻԱՆ, Ռ. Գ. ՄԱՐՏԻՐՈՍԻԱՆ, Վ. Վ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

Հետազոտված է 0,4—2 մկմ հաստություների տիրույթում, հարթ և անհարթ գլանալին յագնիսական թաղանթներում դոմենների սահմանների սողումը:

THE INFLUENCE OF CYLINDRICAL MAGNETIC FILM
THICKNESSES AND MAGNETIC PROPERTIES OF FILMS UPON
A CREEP OF DOMAIN BOUNDARIES

K. A. YEGGIAN, R. G. MARTIROSIAN, V. V. KARAPETIAN

A domain boundaries creep of rough and smooth cylindrical magnetic films with thicknesses from 0,4 to 2 μ has been investigated.