

УДК 539.216.2 : 538.248

ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЕ ПЛЕНОК С ПОЛОСОВОЙ ДОМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

*Л. С. Палатник, Л. И. Лукашенко, Ю. В. Золотницкий,
Л. З. Лубяный*

Исследованы процессы перемагничивания в «закритических» пленках пермаллоя, конденсированных в вакууме при нормальном падении молекулярного пучка. Показано, что перемагничивание их осуществляется вращением магнитного момента в полосовых доменах и сопровождается изменением ширины последних. При перестройке полосовой доменной структуры во внешних полях большую роль играют дефекты магнитной структуры («магнитные дислокации»).

Полосовая доменная структура является общим свойством широкого класса ферромагнитных материалов. Она реализуется в определенном интервале толщин магнетика в том случае, если имеет место перпендикулярная анизотропия (анизотропия с легкой осью, не лежащей в плоскости слоя). Закритические пленки пермаллоя, исследованные в настоящей работе, также обладали полосовой структурой [1, 2]. В работе [3] высказана гипотеза, что в процессе перемагничивания закритических пленок могут возникать макродомены, включающие большое число полос и отличающиеся средним направлением проекции намагниченности на плоскость слоя.

Подобная ситуация реализуется, например, для четырехосных монокристаллов магниймарганцевых ферритов [4]. Экспериментальные данные, подтверждающие или опровергающие изложенную гипотезу, отсутствуют. В настоящей работе исследованы процессы перемагничивания в закритических пленках пермаллоя (83% Ni, 17% Fe) толщиной от 1 до 15 мкм.

Образцы получены конденсацией в вакууме при перпендикулярном падении молекулярного пучка на подложку. Слои обладали высокодисперсной кристаллической структурой — размер блоков составлял $\sim 1000 \text{ \AA}$. Перпендикулярная анизотропия была обусловлена столбчатой формой кристаллитов, длинные оси которых вытянуты в направлении падения молекулярного пучка. Процессы перемагничивания изучались путем сопоставления доменной структуры и петель гистерезиса образцов. Доменная структура исследовалась порошковым методом с помощью микроскопа МБИ-6, а также по дифракции света на порошковых фигурах. Кривые перемагничивания с частотой 50 гц снимались индукционным методом. Контрольные измерения, выполненные на вибрационном магнитометре, показали, что петли гистерезиса, полученные при частоте 50 гц, совпадают со статическими и имеют вид, типичный для закритического состояния. Перед измерениями все пленки отделялись от подложки.

На рис. 1 показано изменение порошковых фигур на пленке толщиной 12 мкм, происходящее при ее перемагничивании. Для улучшения визуализации картины порошковых осадков было включено перпендикулярное к пленке поле $\sim 150 \text{ э}$, которое не оказывало существенного влияния на перестройку доменной структуры. При этом выявлялись домены через один. Как видно, в момент образования полосовая доменная структура весьма нерегулярна (рис. 1а), по мере уменьшения поля структура совершенствуется. На рис. 1б—д цифрами 1—5 отмечены места нарушения регулярности доменной структуры (магнитные дислокации [5]). Проследим за их движением в процессе перемагничи-

вания пленки. Точкой отсчета может служить белое пятно, расположенное в центре рисунков. При уменьшении поля H от 30 до 10 э расстояния между магнитными дислокациями (м.д.) 1 и 2, а также 3 и 4

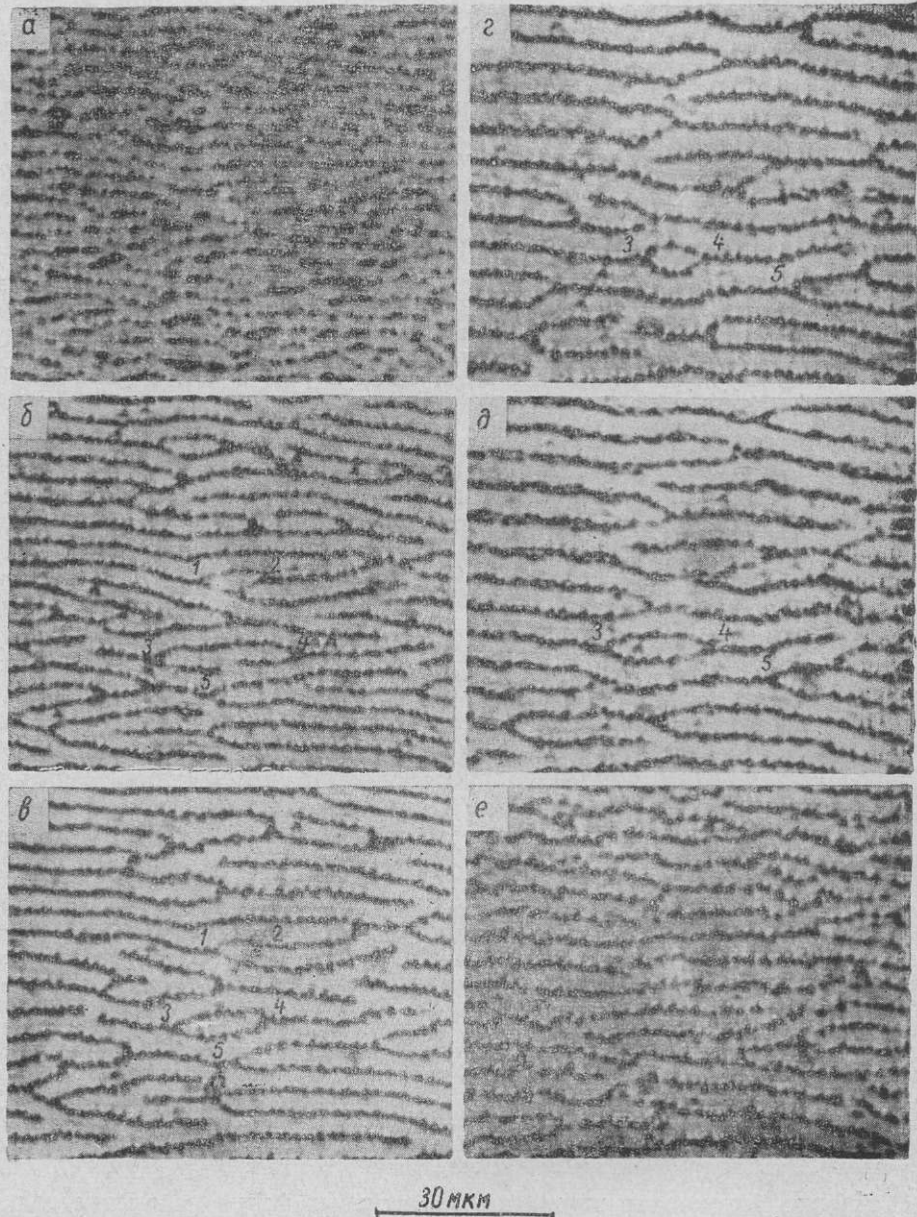


Рис. 1. Изменение порошковых фигур, происходящее под влиянием параллельного полосам поля:

$a - (+55)$; $b - (+30)$; $c - (+10)$; $e - (-10)$; $d - (-30)$; $e - (-55)$ э.

уменьшилось, одновременно 5 сдвинулась вправо на 2—3 мкм. В интервале H от +10 до -10 э близко расположенные м.д. 1 и 2 исчезли, 3 и 4 еще сблизилась, а 5 сместилась вправо относительно центра на расстояние ~ 20 мкм. При некотором отрицательном значении поля, совпадающем примерно с величиной коэрцитивной силы, направление движения м.д. изменилось на противоположное (рис. 1д): в поле $H = -30$ э

расстояние между м.д. 3 и 4 снова увеличилось, а 5 сдвинулась влево на несколько микрон. Вблизи насыщения наблюдается возникновение новых м.д. и нарушение регулярности структуры (рис. 1е).

В работе [3] высказано предположение, что граница между макродоменами, в которых проекции намагниченности на плоскость пленки противоположны, может представлять собой систему магнитных дислокаций. Однако, как видно из рис. 2, в широком интервале полей, соответствующем изменению намагниченности образца на 60—70%, наблюдается лишь слабое смещение м.д. С другой стороны, имеет место немонотонное изменение концентрации их при перемагничивании конденсатов. Отсюда следует, что движение м.д. не может быть ответственным за перемагничивание рассмотренных пленок, а сами м.д. не являются границей между макродоменами.

Чем же определяются законы движения м.д. в магнитном поле H , параллельном доменам? Как видно из рис. 1, перестройка доменной структуры сопровождается изменением ширины D полосовых доменов. Величина D может быть измерена непосредственно по порошковым фигурам, а также по положению максимума дифракции света от полосовых доменов. Оба метода применялись в настоящей работе и дали одинаковые результаты. На рис. 2 представлена зависимость D от H для пленки толщиной 5 мкм. Стрелкой обозначено направление изменения поля. Как видно, величина D достигает максимального значения в области отрицательных полей, то есть при $H_{\max} \approx H_c$ (H_c — коэрцитивная сила). Приведенный график можно объяснить с помощью существующих моделей полосовой доменной структуры (см., напр., [2]). Согласно этим моделям, ширина доменов должна возрастать при увеличении угла между вектором намагниченности и внешним полем, то есть значение D должно быть максимальным в области H_c . Оказалось, что движение м.д. является механизмом, при помощи которого происходит изменение D в процессе перемагничивания пленки. Действительно, в интервале H от поля насыщения $+H_s$ до $-H_c$ наблюдается такое перемещение м.д., при котором уменьшается количество м.д. и число доменных стенок на единицу площади пленки, то есть D возрастает (см. рис. 1а—г). Уменьшение D в области $H < -H_c$ достигается движением м.д. в обратном направлении (см. рис. 1д), а в больших полях — зарождением новых м.д. (см. рис. 1е).

Описанный «дислокационный» механизм изменения D с ростом H хорошо согласуется с наблюдавшейся нами ранее перестройкой полосовой доменной структуры под действием переменного поля, ориентированного вдоль полос [5]. Согласно [5], в области полей $(0,2-0,3) H_s$ имеет место изменение направления движения м.д. Качественно одинаковое поведение доменной структуры в переменном и постоянном поле, на наш взгляд, является подтверждением того, что движение м.д. определяется не взаимодействием внешнего поля с намагниченностью в доменах, а законом изменения D с ростом H .

Таким образом, при перемагничивании закритических пленок не наблюдается образование и рост макродоменов, как это имеет место, например, в тонких слоях магниймарганцевых ферритов [4]. Однако гра-

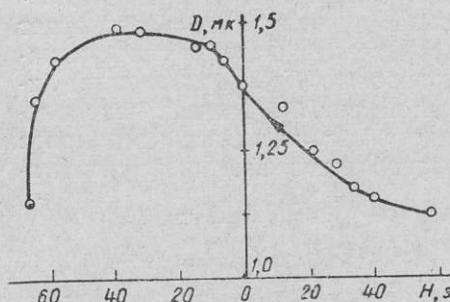


Рис. 2. Зависимость ширины D полосовых доменов от внешнего поля H , параллельного полосам.

ница между макродоменами в закритических пленках может быть параллельна полосам, и в этом случае она не будет обнаруживаться магнитной суспензией. Для того чтобы выявить, присутствуют ли такие макродомены, применялась методика, представленная схематически на рис. 3. Предположим, что в процессе перемагничивания образца возникают области I и II с противоположным направлением средней проекции намагниченности на плоскость пленки. Поскольку остаточная намагниченность исследованных конденсатов мала (она составляла 0,1—0,3 от намагниченности насыщения), макродомены должны присутствовать также в образце, находящемся в состоянии остаточной намагниченности. Поместим такой образец в постоянное поле, перпендикулярное полосовым доменам H_{\perp} . При увеличении H_{\perp} выше поля старта будет происходить поворот полос к направлению H_{\perp} (пунктирные линии на рис. 3). Так как направление вращения полосовых доменов определяется взаимной ориента-

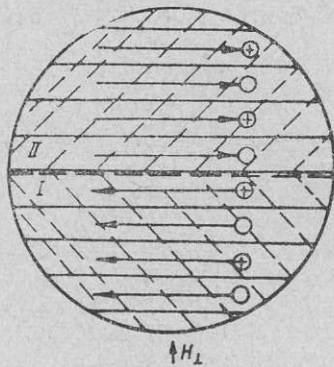


Рис. 3. Схема перестройки полосовой доменной структуры в поле H_{\perp} при наличии макродоменов.

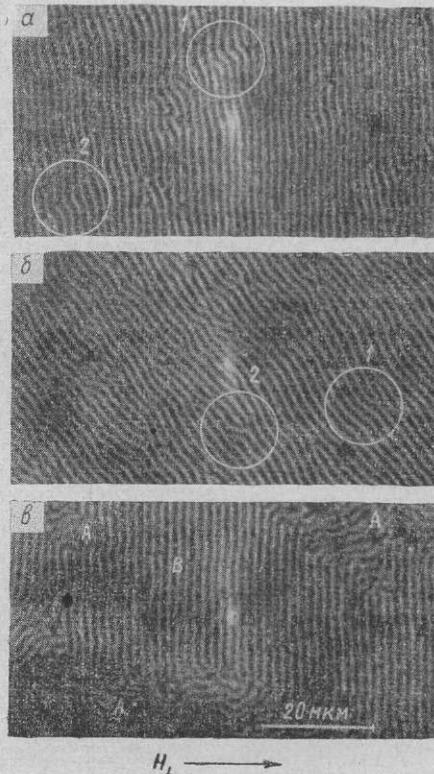


Рис. 4. Влияние постоянного поля H_{\perp} , перпендикулярного полосам, на доменную структуру:

a — пленка предварительно находилась в состоянии остаточной намагниченности, $H_{\perp} = 25$ э; *б* — то же место пленки, поле H_{\perp} увеличено до 34 э; *в* — пленка размагничена переменным полем и затем помещена в постоянное поле $H_{\perp} = 25$ э.

цией намагниченности и внешнего поля, оно окажется противоположным для областей I и II.

На рис. 4а, б показаны порошковые фигуры на пленке, которая в состоянии остаточной намагниченности была помещена в поле H_{\perp} . Видно, что направление вращения полос одинаково по всему видимому участку пленки (как и по всей пленке), хотя имеет место существенный разброс по величине угла поворота доменов. Отсюда можно заключить, что в состоянии остаточной намагниченности макродомены отсутствуют.

Исследования, проведенные без перпендикулярного к пленке поля, показали, что смещение границ между полосовыми доменами также

не имеет места. Следовательно, образцы, полученные при перпендикулярном падении молекулярного пучка, перемагничиваются путем вращения магнитного момента в полосовых доменах. В наклонно осажденных слоях процесс перемагничивания может быть существенно иным. Так, закритические пленки, конденсированные при угле падения молекулярного пучка более 50° , перемагничиваются путем зарождения и роста доменов обратной намагниченности. Этому вопросу будет посвящена другая статья.

Представляет интерес выяснить, каково распределение намагниченности в пленке, размагниченной переменным полем, амплитуда которого уменьшалась от H_s до 0. Для решения этого вопроса применялась методика, аналогичная описанной выше: пленка размагничивалась переменным полем и затем помещалась в постоянное поле H_\perp . Оказалось, что перестройка доменной структуры в поле H_\perp происходит следующим образом. При включении $H_\perp > H_{ст}$ (поле старта) зарождаются и растут макрообласти A со средним направлением полос, параллельным H_\perp . На рис. 4в зафиксирован момент, когда перестройка структуры почти завершилась, и остались лишь небольшие островки B с полосовыми доменами, ориентированными вдоль размагничивающего поля. Наблюдаемая картина не может быть описана с помощью схемы, показанной на рис. 3. Отсюда следует, что в размагниченном состоянии пленка не разбивается на макродомены с различным направлением намагниченности в них. С другой стороны, при включении H_\perp не происходит поворот полос в каком-либо одном направлении (ср. с рис. 4а, б), что свидетельствует об отсутствии общей составляющей намагниченности в полосовых доменах. Таким образом, в размагниченном состоянии векторы намагниченности в соседних полосовых доменах могут быть только антипараллельны. Полученный результат хорошо согласуется с описанными ранее наблюдениями [6].

Заметим, что различие в предварительной магнитной обработке пленки (и, следовательно, в распределении намагниченности по образцу) оказывает влияние на скорость перестройки доменной структуры в поле H_\perp . Если пленка находилась в состоянии остаточной намагниченности, то поворот доменов начинается в поле $H_\perp = H_{ст}$, и при $H_\perp = H_s$ (~ 100 э) угол поворота α еще не достигает 90° . Перестройка доменной структуры предварительно размагниченной пленки происходит в интервале $\Delta H_\perp = 3-5$ э вблизи поля старта, то есть практически скачкообразно, при этом устанавливается средний угол поворота доменов $\bar{\alpha} = 90^\circ$.

В заключение рассмотрим механизм перестройки полосовой доменной структуры в поле H_\perp для случая, когда пленка предварительно находилась в состоянии остаточной намагниченности. Этот вопрос представляет большой интерес с точки зрения практического применения закритических пленок в качестве управляемых дифракционных решеток. Как видно из рис. 4а, поворот полосовых доменов начинается вблизи м.д. Две магнитные дислокации, отстоящие друг от друга на расстоянии 2—3 мкм, ограничивают область, в которой полосы повернуты на одинаковый угол α относительно первоначального положения (участок 1 на рис. 4а). Вблизи единичной м.д. угол α постепенно уменьшается от максимального значения до 0 (участок 2 на рис. 4а). С увеличением H_\perp области с новым направлением полосовых доменов растут, одновременно возникают участки с большими значениями α . Образование участков происходит как с помощью описанного механизма искривления стенок вблизи м.д. (участок 1 на рис. 4б), так и путем ис-

кажения регулярности полосовой доменной структуры, при котором возникают две или более м.д. (участок 2 на рис. 4б).

Следует заметить, что описанные закономерности изменения доменной структуры качественно не зависят от толщины пленки в рассмотренном интервале от 1 до 15 мкм.

Таким образом, в настоящей работе установлено, что закритические пленки, осажденные при нормальном падении молекулярного пучка на подложку, перемагничиваются путем вращения магнитного момента в полосовых доменах. Процесс перемагничивания сопровождается изменением ширины D полосовых доменов, при этом величина D достигает максимального значения в области отрицательных полей. Изменение D осуществляется с помощью движения магнитных дислокаций. Обнаружено, что м.д. играют также большую роль при повороте полосовых доменов в поле H_{\perp} : перестройка доменной структуры начинается вблизи м.д., с ростом H_{\perp} возникают новые м.д., между которыми располагаются области с большим углом поворота полосовых доменов.

Авторы выражают благодарность Р. И. Тагирову за измерения, выполненные на вибрационном магнитометре.

Харьковский политехнический
институт им. В. И. Ленина

Поступила в редакцию
8 октября 1971 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Палатник Л. С., Лукашенко Л. И., Равлик А. Г. ФТТ, 1965, 7, 2829.
2. Saito N., Fujiwaga H., Sugita Y. J. Phys. Soc. Japan, 1964, 19, 1116.
3. Мицек А. И., Семьянников С. С., Носков А. С. ФТТ, 1970, 12, 2554.
4. Нестреляй Т. И. Автореф. канд. дисс., Куйбышевский пединститут, 1971.
5. Палатник Л. С., Лукашенко Л. И. ФММ, 1970, 29, 782.
6. Палатник Л. С., Кринчик Г. С., Лукашенко Л. И., Верховин А. Н. Изв. АН СССР, сер. физ., 1967, 31, 764.