

Л. В. КИРЕНСКИЙ, Р. В. СУХАНОВА, С. В. КАН, В. Г. ПЫНЬКО и Н. И. СИВКОВ

### ТОНКАЯ МАГНИТНАЯ СТРУКТУРА ДОМЕНОВ ЖЕЛЕЗО-НИКЕЛЕВЫХ ПЛЕНОК

Исследование тонкой магнитной структуры пленок пермаллоя с одноосной магнитной анизотропией посвящен ряд теоретических [1, 2] и экспериментальных [3, 4] работ. Так, Балтц и Доул исследовали зависимость ряби намагниченности от величины кристаллитов в пленках, напыленных в сверхвысоком вакууме ( $10^{-9}$  мм рт. ст.). Фукс [5] и Смит [6] показали, что пленки пермаллоя с нулевой константой кристаллической анизотропии (76% Ni — 24% Fe) и нулевой магнитострикцией (83 Ni — 17 Fe) не имеют ряби намагниченности.

Задачей данного исследования являлось изучение тонкой магнитной структуры пермаллоевых пленок, напыленных на свежий скол кристаллов каменной соли в вакууме  $10^{-4}$  мм рт. ст., в зависимости от состава, температуры подложки при напылении и величины кристаллитов. Кроме того, изучалась корреляция между длиной волны ряби намагниченности и коэрцитивной силой, а также влияние ряби на процессы перемагничивания.

Пермаллоевые пленки с составом исходного материала 80% Ni — 20% Fe, напыленные при температурах подложки от 50 до 200°С, получались со средними размерами кристаллитов от 210 до 860 Å.

На рис. 1 представлены электронномикроскопические снимки доменной структуры ( $1000\times$ ) (А), электронограммы и микрофотографии кристаллической структуры ( $10\,000\times$ ) (Б) и микрофотометрическая запись ряби намагниченности (В) этих пленок.

Наличие ряби на снимках (первая колонка) свидетельствует о колебаниях вектора намагниченности относительно среднего его направления в домене. Как видно из электронограммы, при температуре 160° пленка формируется в виде монокристалла (100)  $[100]_{\text{NaCl}}$  — 11 (100)  $[100]_{\text{NaCl}}$ , причем, в отличие от монокристаллических пленок из чистых ферромагнитных металлов, она имеет тонкую магнитную структуру с длиной волны ряби 1,25 мк при размерах кристаллитов 590 Å; угловая амплитуда колебаний намагниченности, вычисленная по Ротеру, составляет 8,5°.

С повышением температуры подложки при напылении увеличиваются средние размеры кристаллитов, увеличивается и длина волны ряби от 1,25 до 2,5 мк. При 200° ориентацию кристаллитов преднамеренно ухудшали, чтобы проследить дальнейший ход изменения длины волны ряби от величины кристаллитов.

Наличие тонкой магнитной структуры доменов в монокристаллических пленках пермаллоя, видимо, можно объяснить неоднородной упорядоченностью сплава и неоднородностью пленки по составу, обусловленными процессом формирования пленки, а также особенностями распыления исходного материала. Вполне возможно, что в пленке отдельные кристаллиты содержат неодинаковое процентное количество железа, из-за чего их магнитная кристаллическая анизотропия может различаться по вели-

чине, а в отдельных случаях, несмотря на одинаковую ориентацию кристаллических решеток, могут не совпадать и оси легкого намагничивания.

Далее исследовалась рябь намагниченности железо-никелевых пленок с различным процентным содержанием никеля (от 40 до 90%), напыленных при 100°. Средние размеры кристаллитов в пленках были примерно одинаковы (250—300 Å). Оказалось, что все пленки имеют тонкую магнитную структуру. Даже в пленках с предполагаемой нулевой кристаллической анизотропией (76% Ni) из-за неоднородности состава имеет место локальная кристаллическая анизотропия, отличная от нуля. Имеют подструктуру и пленки с нулевой константой магнитострикции (83% Ni).

В зависимости от состава пленок (толщиной 600 Å и с кристаллитами 300 Å) длина волны ряби  $d$  намагниченности изменяется следующим образом:

Содержание Ni в пленке, %	$\lambda_{\text{ср.}}$ , мк	$H_c$ , э	Содержание Ni в пленке, %	$\lambda_{\text{ср.}}$ , мк	$H_c$ , э
40	1,51	19,5	80	0,77	5,6
50	1,86	16,5	84	1,25	8,2
60	1,85	10,5	86	1,30	9,8
70	1,28	8,4	88	1,50	11,0
76	0,80	7,0			

Видно, что наименьшую длину волны ряби имеют пленки состава 80% Ni — 20% Fe, чему соответствует наименьшая коэрцитивная сила. Таким образом, между  $H_c$  и  $\lambda_{\text{ср}}$  есть определенная корреляция.

Наблюдалось поведение тонкой магнитной структуры пермаллоевых пленок при квазистатическом перемагничивании в электронном микроскопе УЭМВ-100. На рис. 2 представлены электронномикроскопические снимки доменной структуры монокристаллической пленки 80% Ni — 20% Fe. Пленка обладала двухосной магнитной анизотропией и рябью намагниченности 1,35 мк. Под рисунками показано направление векторов намагниченности в пленке при соответствующих магнитных полях.

Пленка насыщалась в направлении одной из легких осей, после снятия поля намагниченность сохранила свое направление (рис. 2, а). При наложении противоположного поля  $6 \text{ э}$  вдоль этой же оси некоторые полосы ряби стали контрастнее. Поворот промежуточных полос ряби свидетельствует о том, что намагниченности частей пленки повернулись на некоторый угол и в поле  $8 \text{ э}$  приближаются к трудным осям. По мере нарастания поля усиливается контраст выделившихся полос ряби, из которых затем образуются устойчивые 90-градусные доменные границы. В дальнейшем полосы ряби в доменах, а следовательно, и намагниченность в них продолжают поворачиваться. Направления векторов намагниченности с разных сторон приближаются ко второй легкой оси, образуя почти 180-градусные границы. При некотором определенном значении поля вся пленка очень быстро перемагничивается не смещением границ, а их разрушением. Подобную картину перемагничивания наблюдал Фельдткеллер [7].

Перемагничивание вдоль оси трудного намагничивания (рис. 2, б) осуществляется следующим образом. При снятии поля после насыщения пленки вдоль одной из трудных осей появляются дублетные границы, ориентированные вдоль другой оси трудного намагничивания. При увеличении магнитного поля до  $6 \text{ э}$  границы становятся более контрастными и слегка смещаются. Как явствует из направления полос ряби, намагниченность в крупных доменах вращается к одной из легких осей, в узких — к другой. Пройдя направления легких осей, намагниченности доменов

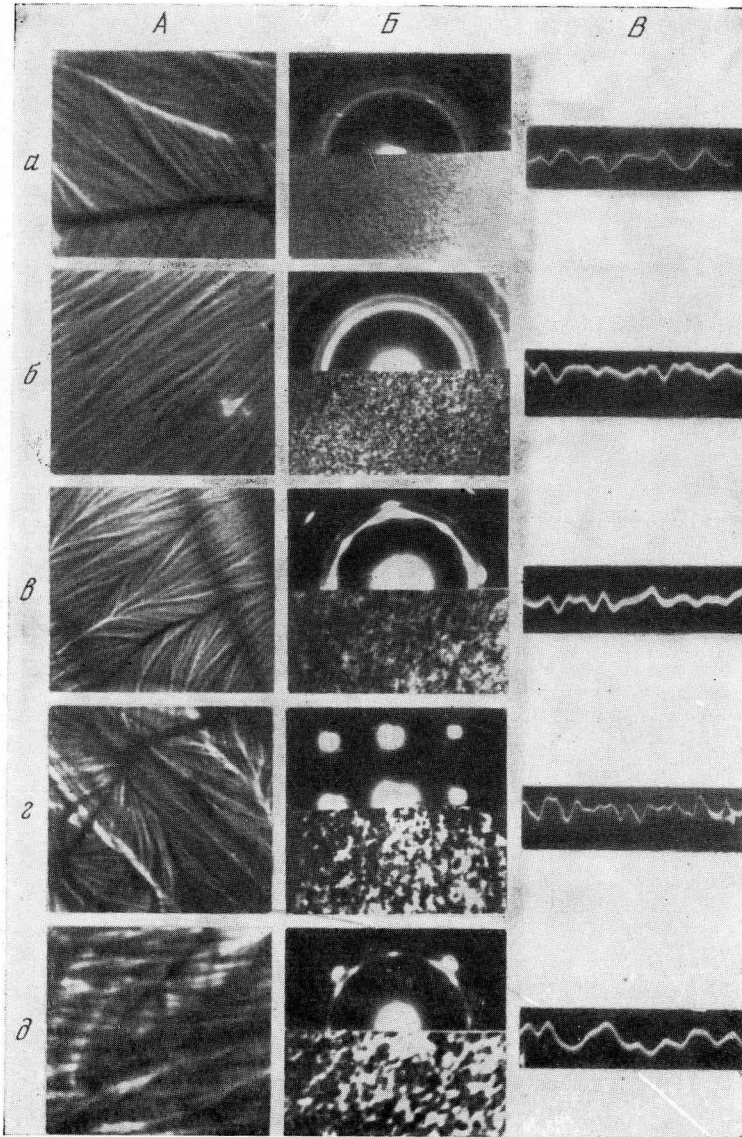


Рис. 1. Электронномикроскопические снимки пленок (80% Ni — 20% Fe), напыленных при различных температурах: а —  $t = 50^\circ$ ,  $d = 210 \text{ \AA}$ ,  $\lambda_{\text{ср}} = 1,79 \text{ мк}$ ; б —  $t = 100^\circ$ ,  $d = 490 \text{ \AA}$ ,  $\lambda_{\text{ср}} = 1,89 \text{ мк}$ ; в —  $t = 140^\circ$ ,  $d = 430 \text{ \AA}$ ,  $\lambda_{\text{ср}} = 1,42 \text{ мк}$ ; г —  $t = 160^\circ$ ,  $d = 590 \text{ \AA}$ ,  $\lambda_{\text{ср}} = 1,25 \text{ мк}$ ; д —  $t = 200^\circ$ ,  $d = 860 \text{ \AA}$ ,  $\lambda_{\text{ср}} = 2,5 \text{ мк}$

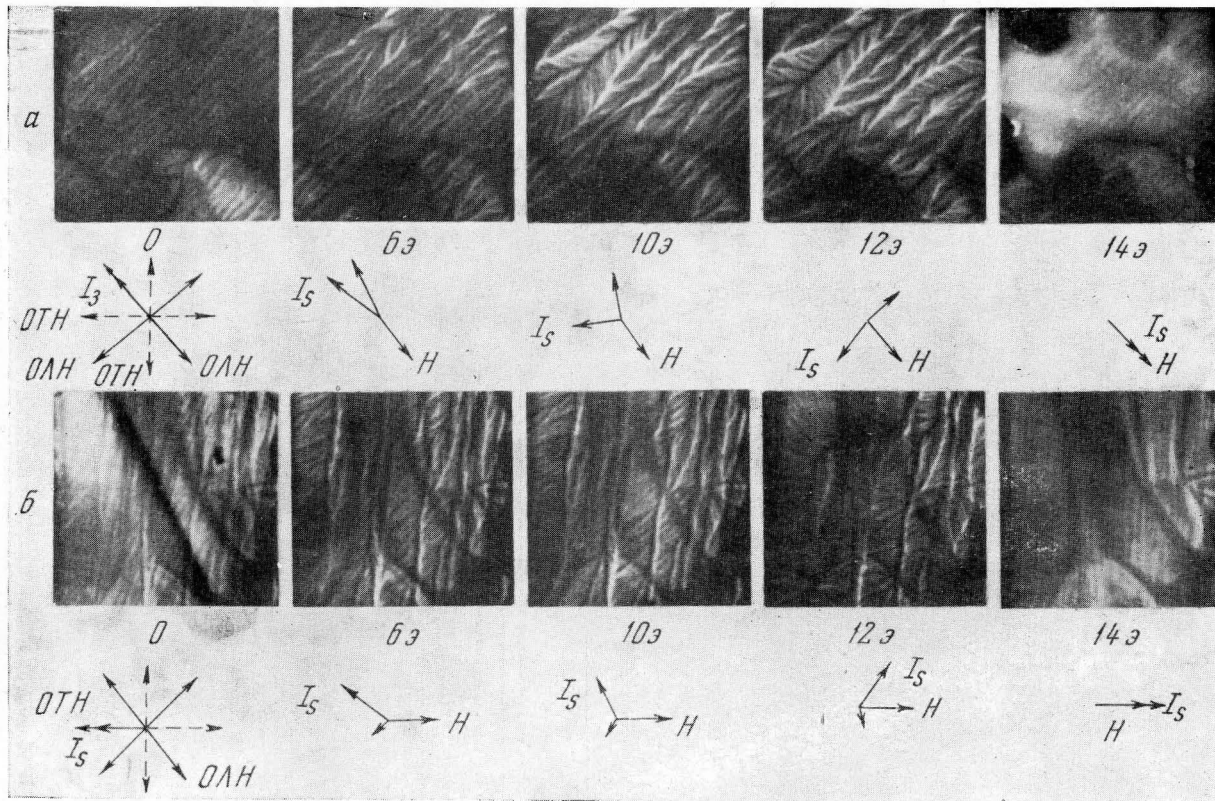


Рис. 2. Электронномикроскопические снимки доменной структуры монокристаллической железо-никелевой пленки толщиной 200 Å при перемагничивании вдоль осей легкого (ОЛН) (а) и трудного (ОТН) (б) намагничивания. 700 ×

приближаются с разных сторон к трудной оси, перпендикулярной к полю. При поле 12 э наблюдается более интенсивное движение границ и в поле 14 э пленка переманчивается полностью.

### Выводы

1. Длина волны ряби намагниченности в пермалловых пленках растет с увеличением средних размеров кристаллитов.

2. В монокристаллических пермалловых пленках, в отличие от монокристаллических пленок чистых металлов, а также и в поликристаллических пленках независимо от процентного содержания компонентов (даже при составе с нулевой кристаллической анизотропией) существует подструктура, что можно объяснить неравномерной упорядоченностью сплава и неоднородностью отдельных участков пленки по составу.

3. Существует определенная корреляция между коэрцитивной силой и длиной волны ряби.

4. Наличие ряби в монокристаллических пленках оказывает существенное влияние на процессы их квазистатического переманчивания.

Институт физики Сибирского отделения  
Академии наук СССР  
Красноярский педагогический институт

### Литература

1. Rother H., Z. Phys., 168, 42 (1962).
2. Hoffman H., J. Appl. Phys., 35, 1790 (1964).
3. Baltz A., Doyle W. D., J. Appl. Phys., 35, 1814 (1964).
4. Puchalska I. B., Sukiennichi A., Tymosz T., Phys. Stat. Sol., 9, 575 (1965).
5. Fuchs E., Z. angew. Phys., 13, 157 (1961).
6. Smith D. O., J. Appl. Phys., 32, 70 (1961).
7. Feldtkeller E., Electron. Rechenanl. 3, 167 (1961).