

Л. В. КИРЕНСКИЙ, В. А. БУРАВИХИН и М. К. САВЧЕНКО

## ИЗМЕНЕНИЕ ДОМЕННОЙ СТРУКТУРЫ ТОНКИХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЕНОК В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

За последние годы опубликовано несколько статей, в которых описывается поведение доменной структуры различных ферромагнитных пленок в процессе их намагничивания и перемагничивания. Наблюдения проводились порошковым методом [1—3] и при помощи магнитооптического эффекта Керра [4—5]. Однако проведенные исследования далеко не вскрывают всей сложной картины изменения доменной структуры тонких ферромагнитных пленок в магнитном поле.

В данной работе проведено исследование поведения доменной структуры в магнитном поле пленок сплавов, содержащих 80% Ni, 17% Fe, 3% Mo и 50% Fe, 50% Ni, в процессе их намагничивания и перемагничивания вдоль оси легкого намагничивания. Изучено изменение доменной структуры при намагничивании пленок в магнитных полях, приложенных под разными углами к оси легкого намагничивания.

### Эксперимент

Методика получения пленок — такая же, как в работе [6]. Наблюдение доменных структур производилось порошковым методом при помощи микроскопа МБИ-6. Для большей полноты и наглядности доменная структура пленок указанных выше сплавов кинофильмировалась. Съемка проводилась со скоростью 12 кадров в 1 сек на микроустановке МКУ-1.

На рис. 1 приведен ряд кадров из фильма, фиксирующего изменение доменной структуры пленки сплава Fe—Ni толщиной 2470 Å в поле, нарастающем вдоль оси легкого намагничивания. Исходная структура получена после размагничивания в этом же направлении. Направление оси легкого намагничивания и приложенного поля обозначены стрелкой под первой фотографией, а направление вектора намагниченности в доменах — стрелками на самой фотографии. Из кадров фильма видно, что при увеличении поля до 9,3 Ое доменная структура не изменяется. Этим отличается процесс намагничивания тонких пленок от процесса намагничивания массивных ферромагнитных кристаллов, в которых смещение границ начинается уже в очень слабых полях.

При дальнейшем увеличении поля начинается смещение границ, причем скорость движения различных границ различна, а сами движения границ не отличаются плавностью. При напряженности поля 17,6 Ое достигается насыщение.

На рис. 2 также показаны некоторые кадры из фильма; на них хорошо видно изменение доменной структуры в магнитном поле на пленке того же сплава толщиной 760 Å. В размагнченном вдоль оси легкого намагничивания состоянии на пленке видны домены, ограниченные границами с перечными связями [7]. При наложении поля до 10,8 Ое, совпадающего с направлением оси легкого намагничивания, не заметно каких-либо изменений в доменной структуре. При дальнейшем увеличении поля начинают исчезать перечные связи, хотя смещения основных границ не происходят.

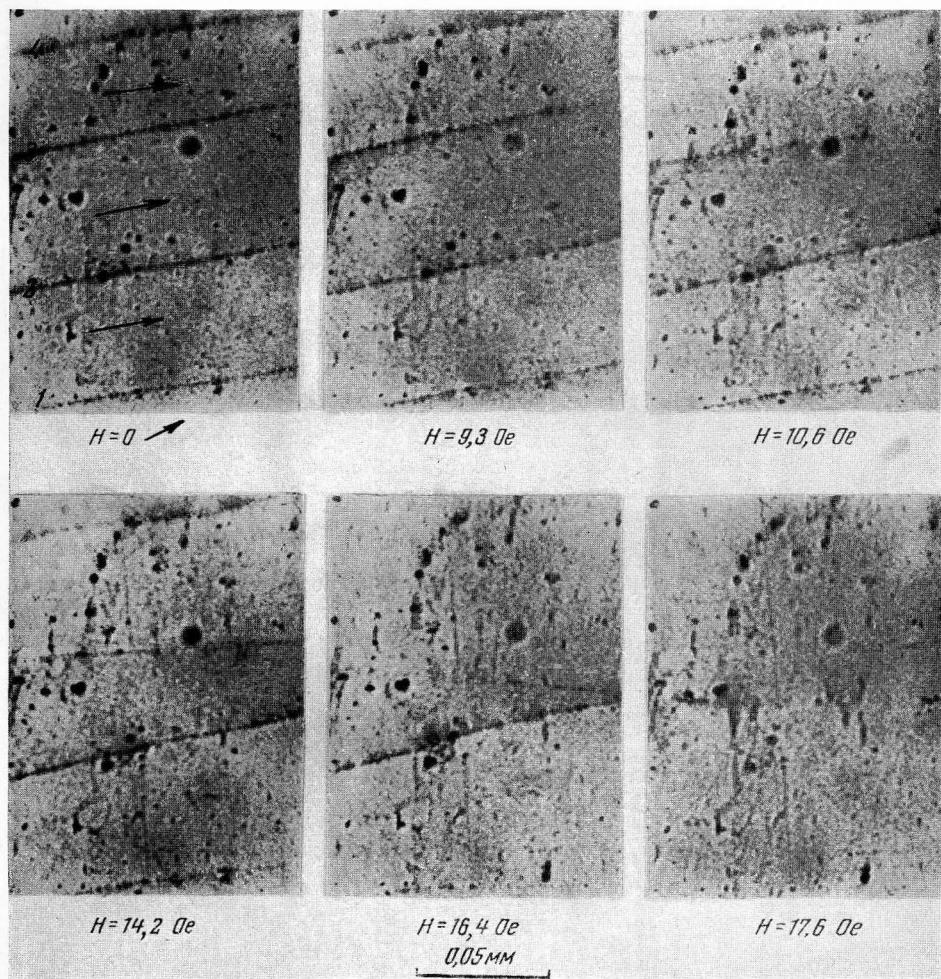


Рис. 1. Смещение границ между доменами в пленке Fe—Ni толщиной 2470 Å.  
На первой фотографии средняя стрелка должна иметь обратное направление

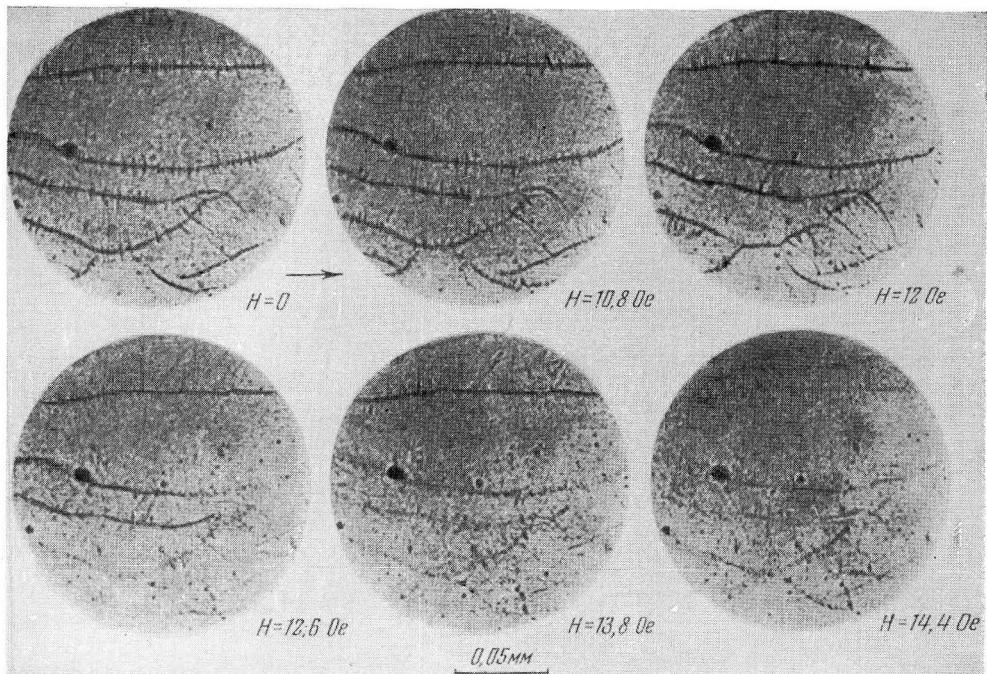


Рис. 2. Изменение границ и доменной структуры пленки Fe—Ni толщиной 760 Å при намагничивании вдоль горизонтально направленной оси легкого намагничивания

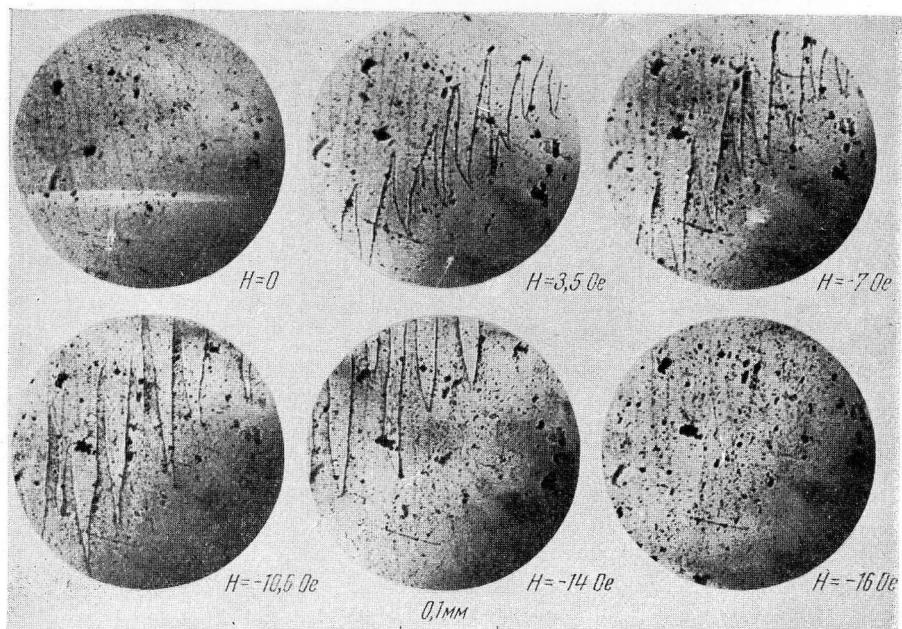


Рис. 3. Изменение доменной структуры смещением границ в пленке Fe—Ni толщиной 1200 Å. Поле, наложенное во время получения пленки, направлено вертикально. На второй фотографии  $H = -3,5$  Ое

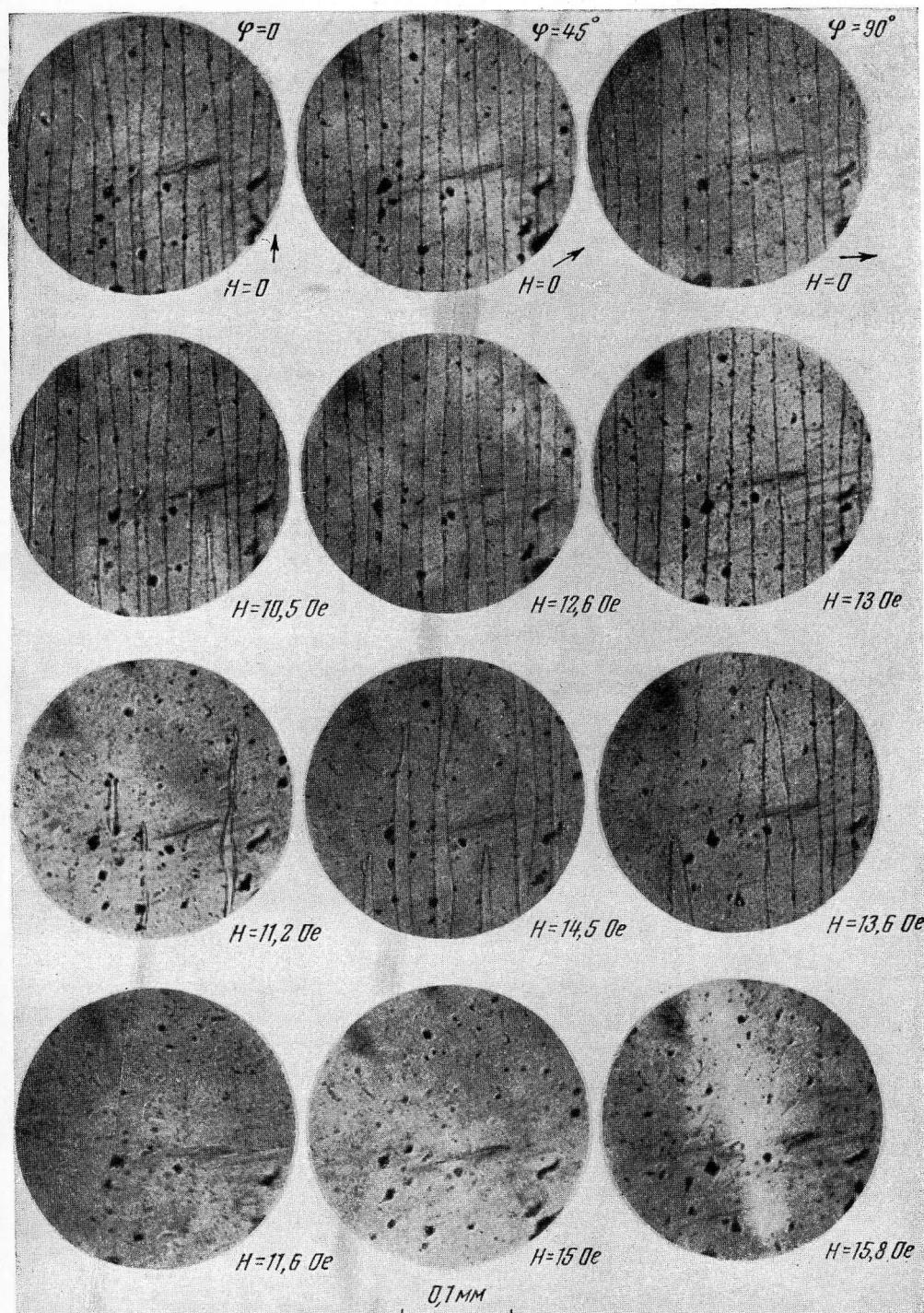
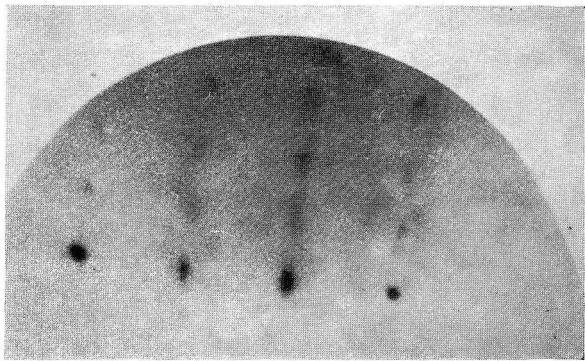
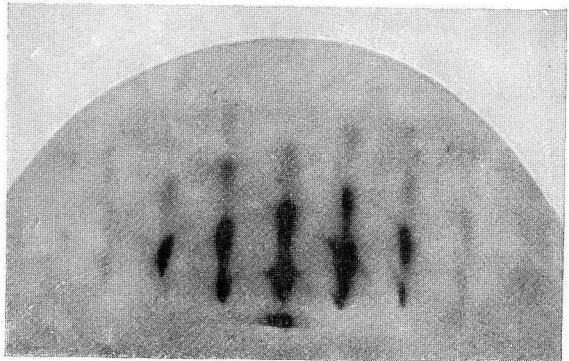


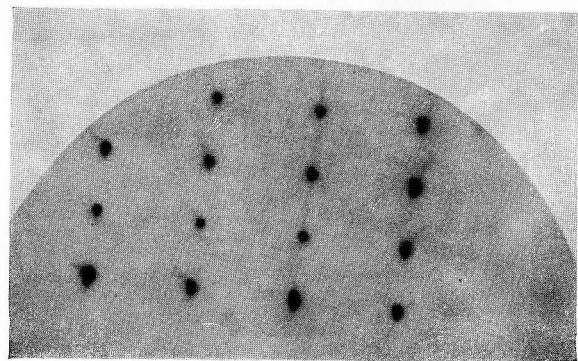
Рис. 4. Доменная структура на пленке Fe—Ni—Mo толщиной 1200 Å в магнитном поле, направленном под углами 0, 45 и 90° к вертикально направленной оси легкого намагничивания



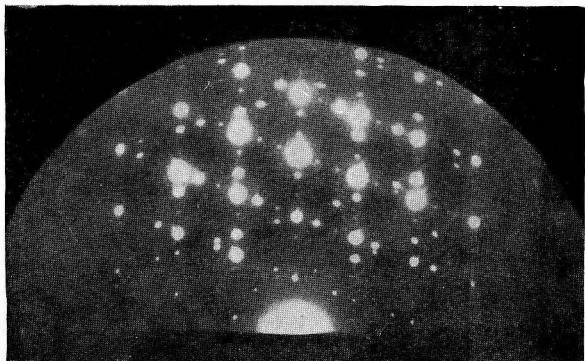
*a*



*b*



*c*



*e*

Электронограммы, полученные при отражении от поверхности грани (111) фторида кальция (*a*, *b*) и *б* от нанесенного на эту грань слоя германия: *a*, *c* — направление электронного пучка [211]; *b*, *e* — направление пучка [110]

дит. В доменах, невыгодно ориентированных в отношении поля, появились поперечные границы, развитые главным образом из небольшого числа сохранившихся поперечных связей. Это происходит, по-видимому, потому, что в отдельных частях невыгодно ориентированных доменов векторы намагниченности изменили направление, и образовавшиеся «субдомены» оказались разделенными новыми границами. При дальнейшем увеличении поля невыгодно ориентированные домены разрушаются и в поле 14,4 Ое полностью исчезают.

### Перемагничивание вдоль оси легкого намагничивания

На рис. 3 показан процесс перемагничивания пленки сплава Fe—Ni толщиной 1200 Å. Вначале пленка была намагнечена до насыщения. При сведении поля до нуля не возникло доменной структуры. Затем было наложено обратное поле. В поле зрения находилась примерно середина пленки. При возрастании обратного поля до —3,4 Ое доменная структура не появлялась. В поле —3,5 Ое появилась пилообразная граница, разделяющая домены противоположной намагниченности. При дальнейшем увеличении поля до —6,5 Ое изменения доменной структуры не наблюдалось. В поле 7 Ое уже заметен рост клиньев, намагниченность которых совпадает с полем.

Дальше с увеличением поля эти клинья продолжают расти плавным смещением границ за счет тех клиньев, намагниченность которых направлена против поля. В поле —16 Ое доменная структура исчезает как в поле зрения, так и по поверхности всей пленки.

### Намагничивание пленки под разными углами к направлению легкой оси

На рис. 4 показано изменение доменной структуры пленки Fe—Ni—Mo толщиной 1200 Å в магнитном поле, направленном под углами 0, 45 и 90° к оси легкого намагничивания. Исходная структура во всех случаях была получена после размагничивания пленки под углом 45° к оси легкого намагничивания.

При увеличении поля в первом случае до 10,5 Ое, во втором до 12,6 Ое и в третьем до 13 Ое не наблюдалось изменения доменной структуры. Затем в небольшом интервале полей в первом и втором случаях наблюдалось некоторое смещение границ; при дальнейшем увеличении поля наблюдалось быстрое перемагничивание участков тех доменов, в которых векторы намагниченности направлены против приложенного поля. В третьем случае при увеличении поля движения границ почти не наблюдается; намагничивание пленки осуществляется, по-видимому, процессами вращения. Поле насыщения пленки в первом случае 11,6 Ое, во втором 15 Ое, в третьем 15,8 Ое.

Из данных исследований по изменению доменной структуры пермаллоевых пленок можно сделать следующие выводы.

1. Для всех ферромагнитных пленок до некоторого критического поля доменная структура стабильна. Это наблюдалось на пленках разных толщин пермаллоевых сплавов и кобальта.

2. В относительно толстых ферромагнитных пленках намагничивание осуществляется смещением границ, которое начинается после некоторого критического поля, разного для пленок разных материалов и толщин. Само смещение границ не отличается плавностью.

3. С уменьшением толщины пленок намагничивание идет в определенном интервале полей еще заметным смещением границ и процессами вращения.

В более тонких пленках намагничивание происходит путем быстрого перемагничивания отдельных частей доменов, невыгодно ориентированных относительно приложенного поля. Такое перемагничивание, очевидно, осуществляется внезапным вращением векторов намагниченности перемагничающихся участков.

Институт физики Сибирского  
отделения  
Академии наук СССР  
Красноярский гос. педагогический  
институт

### Литература

1. Williams H., Sherwood R., J. Appl. Phys., **28**, 548 (1957).
2. Fuller G. E., J. phys. et radium, **20**, № 2—3, 310 (1959).
3. Fuller H. W., Rubinstein H., J. Appl. Phys., **30**, № 4, 84 (1959).
4. Fowler C. A., Jr., Fryer E. M., Stevens Z., Phys. Rev., **104**, 645 (1956) (пер. в сб. Магнитная структура ферромагнетиков, ИЛ, 1959).
5. Olmen K. W., Mitchell E. N., J. Appl. Phys., **30**, № 4, 258 (1959).
6. Киренский Л. В., Буравихин В. А., Звегинцев А. Г., См. настоящий номер журнала, стр. 577.
7. Huber E. E., Jr., Smith D. O., Goodenough J. B., J. Appl. Phys., **29**, № 3, 294 (1958).