

## КИНОФИЛЬМИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕНЕНИЯ МАГНИТНОЙ СТРУКТУРЫ ТОНКИХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЕНОК В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

*Л. В. Киренский, В. А. Буравихин и М. К. Савченко*

Произведено кинофильмирование порошковых фигур тонких ферромагнитных пленок при их намагничивании. Изучение проводилось на пленках сплавов Fe (50%), Ni (50%) и Fe (17%), Ni (80%), Mo (3%). Показано, что в полях, меньших некоторого критического поля, доменная структура устойчива. В полях, превышающих указанное критическое поле, с ростом поля происходит изменение доменной структуры: в более толстых пленках — путем смещения границ, а в относительно тонких пленках — путем разрушения доменной структуры.

Детальное изучение динамики магнитной структуры тонких ферромагнитных пленок весьма важно для правильного понимания сложных процессов, протекающих при их намагничивании и перемагничивании, для сознательного подбора наиболее подходящих ферромагнитных пленок запоминающих устройств в счетнорешающих и управляющих машинах.

За последние годы появился ряд работ, в которых изучалось поведение доменной структуры в тонких ферромагнитных пленках. Эти работы проводились как с помощью магнитооптического эффекта Керра [1—2], так и порошковым методом [3—5].

Однако проведенные исследования далеко не вскрывают всей сложной картины поведения доменной структуры тонких ферромагнитных пленок в магнитном поле. Кроме того, при фотографировании исследовались отдельные этапы состояния доменной структуры, а не непрерывное ее изменение с изменением магнитного поля, что лучше всего достигалось путем кинофильмирования доменной структуры [6].

В данной работе с помощью порошковых фигур произведено кинофильмирование процессов изменения доменной структуры тонких ферромагнитных пленок сплавов Fe (50%), Ni (50%) и Fe (17%), Ni (80%), Mo (3%) в процессе их намагничивания.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Пленки получались путем термического напыления сплавов указанных составов в вакууме  $7 \cdot 10^{-6}$  мм рт. ст. на оптически полированные стекла размером  $1 \times 10 \times 40$  мм, нагретые до  $350^\circ \text{C}$ . При получении пленок накладывалось внешнее поле напряженностью 100 э.

Сплав, закладываемый в тигли для испарения, каждый раз расплавлялся полностью, примерно в течение 30 сек. Это обстоятельство дает право утверждать, что состав полученных тонких ферромагнитных пленок может лишь незначительно отличаться от исходного состава.

Как показали исследования, направление легкого намагничивания в пленках совпадает с направлением магнитного поля, приложенного в момент получения пленок. Толщина пленок измерялась на универ-

сальном монохроматоре УМ-2, с помощью линий равного хроматического порядка [7].

Съемка доменной структуры проводилась на микрокиноустановке МКУ-1 в отраженном свете.

Доменная структура выявлялась порошковым методом. Скорость съемки 12 кадров в сек.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На полученных пленках доменная структура без предварительного размагничивания не обнаруживается, поскольку пленки оказываются намагниченными до насыщения. При размагничивании переменным магнитным полем с убывающей до нуля амплитудой возникает доменная структура, причем вид ее в сильной степени зависит от направления размагничивающего поля по отношению к оси легкого намагничивания. Во всех случаях доменная структура становится более мелкой при увеличении угла между направлением размагничивающего поля и легкой осью.

Кинофильмирование каждый раз начиналось с размагниченного состояния в нарастающем магнитном поле.

На рис. 1 представлен ряд кадров из фильма, фиксирующего изменение доменной структуры пленки сплава Fe—Ni толщиной  $2470 \text{ \AA}$  в поле, нарастающем вдоль оси легкого намагничивания.

Исходная структура получена после размагничивания в этом же направлении. Направления оси легкого намагничивания и приложенного поля обозначены стрелкой под первой фотографией, а направление вектора намагниченности в доменах — стрелками на самой фотографии. При увеличении поля до  $9,3 \text{ э}$  доменная структура не изменяется. Этот факт является специфическим для тонких ферромагнитных слоев, так как в массивных ферромагнетиках обратимое смещение границ начинается уже в весьма слабых полях. С последующим ростом поля начинается смещение границ, причем скорость движения различных границ весьма различна, и движения границ не отличаются плавностью. В поле напряженностью  $17,6 \text{ э}$  достигается насыщение, и доменная структура исчезает на всей поверхности пленки.

На рис. 2 показано изменение доменной структуры пленки сплава Fe—Ni—Mo толщиной  $1400 \text{ \AA}$  в магнитном поле, направленном под углами  $0$  и  $90^\circ$  к оси легкого намагничивания. Из фильма выбраны наиболее характерные кадры, по которым можно судить об изменении доменной структуры. Исходная структура была получена размагничиванием под углом  $45^\circ$  к оси легкого намагничивания. В результате получена относительно более мелкая доменная структура. Следует также заметить, что даже при одинаковых условиях размагничивания трудно получить в одном и том же месте образца строго одинаковую магнитную структуру. Это видно на первых фотографиях, соответствующих нулевому полю на рис. 2а и 2б. Под этими же фотографиями указаны направления намагничивающих полей. При возрастании поля до  $8,7$  (рис. 2а) и до  $11 \text{ э}$  (рис. 2б) доменные структуры остаются без изменения. При дальнейшем увеличении поля в обоих случаях не наблюдается смещения границ, а происходит разрушение доменной структуры путем внезапной ломки и исчезновения границ, что, очевидно, происходит в результате внезапного перемагничивания отдельных участков доменов быстрым вращением в них вектора намагниченности.

На рис. 3 показано изменение доменной структуры пленки сплава Fe—Ni толщиной 850 Å в поле, приложенном вдоль оси легкого намагничивания, обозначенной на рисунке стрелкой. Исходная структура была получена размагничиванием пленки в этом же направлении.

Вплоть до поля в 15,4 э доменная структура не изменяется. При увеличении поля до 16 э границы доменов остаются на прежних местах, но в доменах, невыгодно ориентированных к направлению поля, появляются новые границы, ориентированные перпендикулярно приложенному полю. Это происходит, по-видимому, потому, что отдельные части невыгодно ориентированных доменов претерпели изменение направления вектора намагниченности, и образовавшиеся «субдомены» оказались разделенными новыми границами.

С дальнейшим ростом поля происходит скачкообразное разрушение невыгодно ориентированных доменов, вплоть до их полного исчезновения.

На рис. 4 показано изменение доменной структуры при намагничивании сплава Fe—Ni толщиной 760 Å в магнитном поле, приложенном вдоль оси легкого намагничивания. Размагничивание пленки для получения исходной структуры производилось в том же направлении.

В поле, равном нулю, на кадре видны домены, оконтуренные границами с поперечными связями [8]. До поля в 10,8 э изменений доменной структуры не наблюдается. При дальнейшем увеличении поля начинают исчезать поперечные связи, хотя смещение основных границ не происходит. В доменах, невыгодно ориентированных в отношении поля, появляются, как и на рис. 3, поперечные границы, развитые главным образом из небольшого числа сохранившихся поперечных связей. С дальнейшим увеличением поля невыгодно ориентированные домены разрушаются и в поле 14,4 э полностью исчезают.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью выборочных кадров, естественно, трудно передать все результаты исследования доменной структуры, которые становятся особенно наглядными и убедительными при непосредственном просмотре кинофильма. Тем не менее совершенно очевидно, что процессы намагничивания в тонких ферромагнитных пленках обладают некоторым своеобразием по сравнению с массивными ферромагнитными кристаллитами. Это своеобразие существенно зависит от толщины ферромагнитных пленок и направления намагничивания.

Особенности намагничивания тонких ферромагнитных пленок можно свести к следующему.

1. Для всех ферромагнитных пленок до некоторого критического поля доменная структура стабильна.

2. В относительно толстых ферромагнитных пленках намагничивание осуществляется смещением границ, которое начинается по достижении некоторого критического поля. Само смещение границ не отличается плавностью.

3. В более тонких пленках смещение границ не наблюдалось. Намагничивание происходило путем разрушения доменной структуры, вызванной, по-видимому, внезапным поворотом вектора намагниченности отдельных участков доменов, невыгодно ориентированных в отношении поля. Разрушение доменной структуры начинается также при достижении некоторого критического поля. Намагничивание тонких

пленок иногда сопровождается возникновением новых границ, разделяющих невыгодно ориентированные домены на отдельные «субдомены», а также изменением структуры основных границ.

Институт физики

СО АН СССР

Красноярский педагогический  
институт

Поступила в редакцию

10 сентября 1960 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Fowler C. A., Fryer E. M., Stevens Z. Phys. Rev., 1956, **104**, 645. (Перевод в сб. Магнитная структура ферромагнетиков, ИЛ, 1959).
2. Olmen R. W., Mitchell E. N. J. Appl. Phys., 1959, **30**, № 4, 258.
3. Williams H., Sherwood R. J. Appl. Phys., 1957, **28**, 548.
4. Fuller C. E. J. phys. etrad., 1959, **20**, № 2—3, 310.
5. Fuller H. W., Rubinstein H. J. Appl. Phys., 1959, **30**, № 4, 84.
6. Киренский Л. В. и Дылгеров В. Д. ФММ, 1956, **3**, № 2, 216.
7. Шкляревский И. Н. Оптика и спектроскопия, 1958, **5**, 617.
8. Huber E. E., Jr., Smith D. O., Goodenough J. V. J. Appl. Phys., 1958, **29**, № 3, 294.



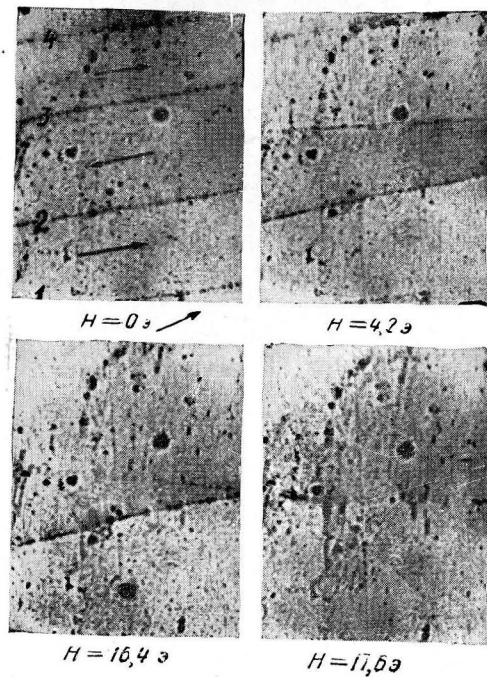


Рис. 1. Смещение границ между доменами в пленке Fe—Ni толщиной 2470 Å.

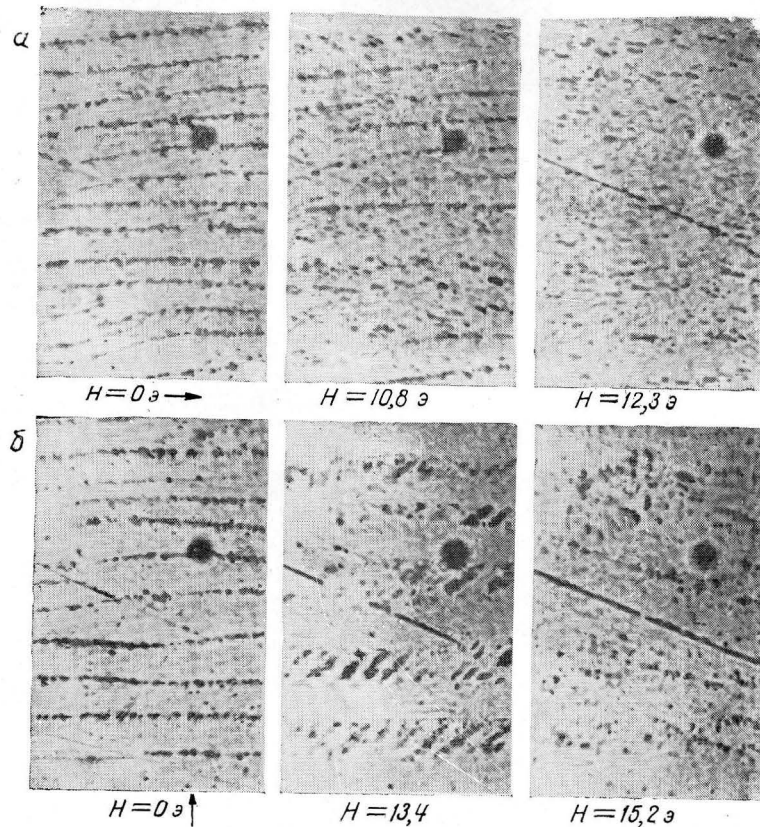


Рис. 2. Изменение доменной структуры на пленке Fe—Ni—Mo толщиной 1400 Å в магнитном поле, направленном под углом 0° (а) и 90° (б) к оси легкого намагничивания, которая горизонтальна.

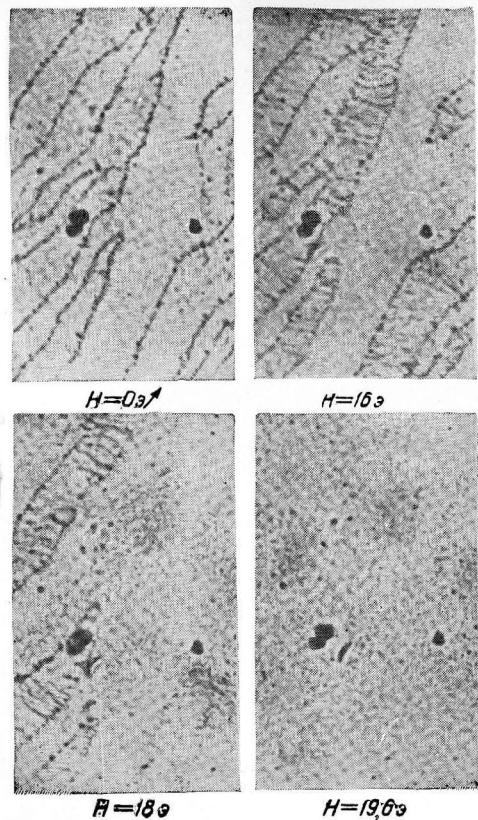


Рис. 3. Изменение доменной структуры на пленке Fe—Ni толщиной 850 Å в магнитном поле, направленном вдоль оси легкого намагничивания.

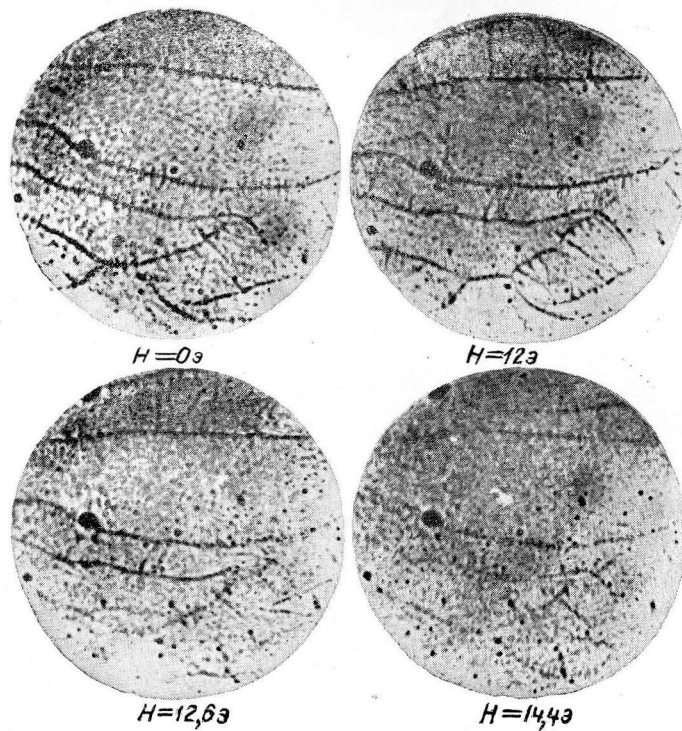


Рис. 4. Изменение границ и доменной структуры пленки Fe—Ni толщиной 760 Å при намагничивании вдоль легкой оси. Ось легкого намагничивания горизонтальна.