

## ДОМЕННАЯ СТРУКТУРА ТОНКИХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЕНОК В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

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

Методом порошковых фигур исследовалась доменная структура в тонких ферромагнитных пленках сплава 80% Ni, 17% Fe, 3% Mo. Показано, что вид доменной структуры существенно зависит от направления размагничивающего поля по отношению к оси легкого намагничивания. Исследовалось изменение доменной структуры в магнитном поле, приложенном под разными углами к легкой оси, изменение доменной структуры при перемагничивании, а также во вращающемся магнитном поле.

### ВВЕДЕНИЕ

В последние годы появился ряд работ, в которых описывается изменение доменной структуры тонких ферромагнитных пленок в магнитном поле.

Фаулер, Фрайер и Стивенс [1] с помощью магнитооптического эффекта Керра наблюдали фотографическим методом совмещений перемагничивание доменов в обратном поле в пленках сплава 20% Fe, 80% Ni толщиной 5000, 2500 и 500 Å.

Вильямс и Шервуд [2] порошковым методом выявили конфигурации доменов в размагнченных пленках чистых металлов и ряда сплавов, а также описали зарождение и рост доменов на пленках кобальта и сплава Fe—Ni—Mo. Фуллер [3] этим же методом исследовал процесс перемагничивания в тонких пленках Fe (400 Å) и 20% Fe 80% Ni (900 Å) в поле, параллельном и перпендикулярном направлению, в котором было наложено магнитное поле во время получения пленок. Поведение пленки железа оказалось одинаковым при перемагничивании в обоих направлениях, а в случае пленки Fe—Ni перемагничивание в перпендикулярном направлении осуществлялось, главным образом, вращением.

Олмен и Митчел [4] визуально и фотографически с помощью магнитооптического эффекта Керра изучали скорость движения доменных стенок в зависимости от изменения направления поля и изменения температуры на пленках состава 22% Fe, 78% Ni толщиной 1500 Å. Они выяснили, что скорость доменных стенок увеличивается с ростом температуры при фиксированном значении приложенного магнитного поля.

В указанных выше работах содержится ценный экспериментальный материал по изменению доменной структуры тонких ферромагнитных пленок в магнитном поле.

Но этих данных далеко недостаточно, чтобы понять всю сложность процессов, протекающих при намагничивании и перемагничивании тонких пленок.

Без детального изучения доменной структуры тонких ферромагнитных пленок в магнитных полях трудно объяснить процессы их перемагничивания и правильно подбирать наиболее совершенные элементы запоминающих устройств для счетно-решающих и управляющих систем.

В данной работе проведено исследование изменения с полем доменной структуры тонких пленок сплава 17% Fe, 80% Ni, 3% Mo. Изучалась доменная структура в зависимости от угла между направлением переменного размагничивающего поля и осью легкого намагничивания. Изучено изменение доменной структуры при перемагничивании и намагничивании в магнитных полях, приложенных под различными углами к легкой оси, а также изменение доменной структуры во вращающемся магнитном поле.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Пленки получались термическим испарением сплава 17% Fe, 80% Ni, 3% Mo из вольфрамовых тиглей в вакууме  $7 \cdot 10^{-6}$  мм рт. ст. на оптически полированные стекла размером  $1 \times 10 \times 40$  мм<sup>3</sup>, нагретые до 350°C при наложении магнитного поля 100 э. Направление поля совпадало с плоскостью пленки. Сплав, закладываемый в тигли, каждый раз распылялся полностью.

Толщина пленок измерялась на универсальном монохроматоре УМ-2 с помощью линий равного хроматического порядка [5]. Наблюдение порошковых фигур проводилось на микроскопе МБИ-6. Направление легкого намагничивания в пленках совпадало с направлением поля в момент их осаждения.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

а) Влияние угла между направлением размагничивающего поля и осью легкого намагничивания. Ферромагнитные пленки данного сплава, полученные термическим испарением в вакууме в присутствии магнитного поля, в большинстве случаев намагниченны до насыщения. Для того чтобы наблюдать доменную структуру на этих пленках, их следует предварительно размагнитить.

На рис. 1 показаны порошковые фигуры, полученные на пленке толщиной 900 Å после размагничивания переменным полем с убывающей до нуля амплитудой, приложенным под углами 0, 15, 45 и 90 градусов к оси легкого намагничивания. Из фотографий видно, что число границ увеличивается при увеличении угла между размагничивающим полем и осью легкого намагничивания, тогда как направление границ сохраняется, совпадая с направлением поля, наложенного при получении пленки.

б) Намагничивание в легком направлении. На рис. 2 показано изменение доменной структуры пленки толщиной 2600 Å в поле, приложенном вдоль оси легкого намагничивания. Исходная структура получена после размагничивания пленки в направлении, параллельном ее легкой оси. На первой фотографии видны домены неодинаковой ширины, что указывает на не совсем полное размагничивание пленки. Направление поля и векторов намагниченности в доменах обозначены стрелками. При возрастании поля до 8 э движения границ не наблюдается, что отличает процесс намагничивания тонких пленок от процесса намагничивания массивных ферромагнит-

ных кристаллов, в которых обратимое смещение границ начинается в очень слабых полях. При дальнейшем увеличении поля начинается такое же смещение границ, которое наблюдается в массивных образцах, вырезанных, например, из кристаллов кремнистого железа в плоскости (110) при намагничивании вдоль легкой оси. В поле 14,5 э доменная структура исчезает.

На фотографиях рис. 3 показано изменение доменной структуры на пленке толщиной 830 Å в процессе ее перемагничивания вдоль легкой оси. Вначале пленка была намагнечена до насыщения. При сведении поля до нуля доменной структуры не возникает, так что остаточная намагнченность равна намагнченности насыщения. При наложении возрастающего обратного поля до  $-1,4$  э доменная структура не появлялась. В поле  $-1,4$  э внезапно появились домены, разделенные искривленными границами с поперечными связями. Направление основных границ совпадает с полем, в присутствии которого была получена пленка. При увеличении обратного поля смещения границ не наблюдается, а начинается исчезновение поперечных связей, которые при  $-7$  э исчезают, а основные границы становятся слабо выраженным. При дальнейшем увеличении обратного поля границы становятся еще слабее выраженным и при поле  $-10,3$  э скачком исчезают.

в) Намагничивание под разными углами к направлению легкой оси. На рис. 4 показано изменение доменной структуры пленок толщиной 1200 Å в магнитном поле, направленном под углами  $0^\circ$  (a),  $0,45^\circ$  (б) и  $90^\circ$  (в) к оси легкого намагничивания. Исходная структура во всех трех случаях получена после размагничивания под углом  $45^\circ$  к той же оси.

При увеличении поля в первом случае до 10,5, во втором до 12,6 и в третьем до 13 э изменений доменной структуры не наблюдается. Затем в небольшом интервале полей в 1 и 2 случаях наблюдается незначительное смещение границ, их ломка, и при дальнейшем увеличении поля намагнченность пленки быстро достигает насыщения. В третьем случае при увеличении поля с 13 до 15,8 э движения границ не наблюдается, намагничивание пленки осуществляется процессом вращения. Поле насыщения пленки в первом случае составляет 11,6, во втором 15, в третьем 15,8 э.

г) Изменение доменной структуры во вращающемся поле. На рис. 5 показано изменение доменной структуры пленки толщиной 980 Å во вращающемся поле 10 э. Пленка была размагнечена под углом  $45^\circ$  к оси легкого намагничивания, затем под углом  $90^\circ$  к этой оси было приложено поле напряженностью 10 э. При постепенном уменьшении угла между полем и осью легкого намагничивания домены, намагнченность которых направлена против оставляющей поля, начинают рваться и перемагничиваться отдельными участками.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из данных исследований по изменению доменной структуры пленок сплава Fe—Ni—Mo в магнитном поле можно сделать следующие выводы:

1. На пленках сплава Fe—Ni—Mo, полученных испарением в вакууме в присутствии магнитного поля, совпадающего с плоскостью пленок, в большинстве случаев не обнаруживается доменной структуры без их предварительного размагничивания. Вид доменной структу-

К статье Л. В. Киренского, В. А. Буравихина, М. К. Савченко  
 «Доменная структура тонких ферромагнитных пленок в магнитном поле».

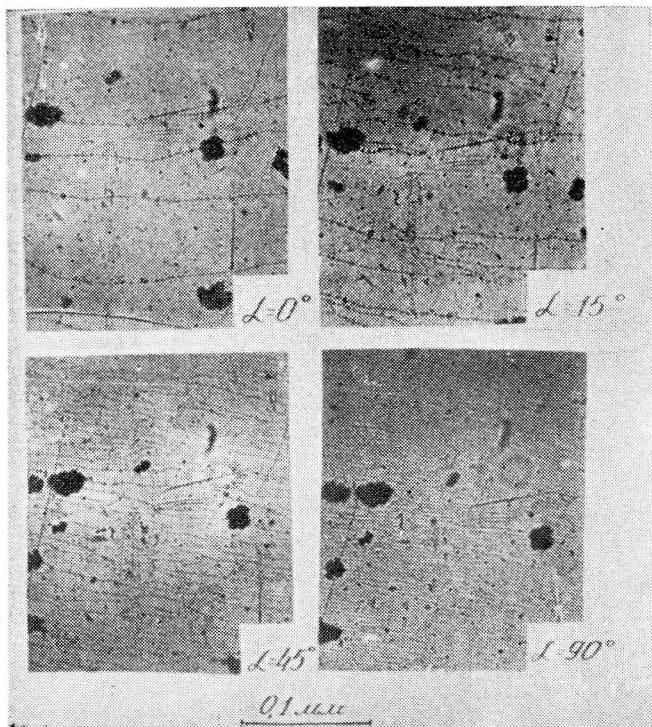


Рис. 1. Доменная структура, полученная при различных направлениях размагничивания пленки толщиной 900 Å по отношению к легкой оси. Ось легкого намагничивания горизонтальна.

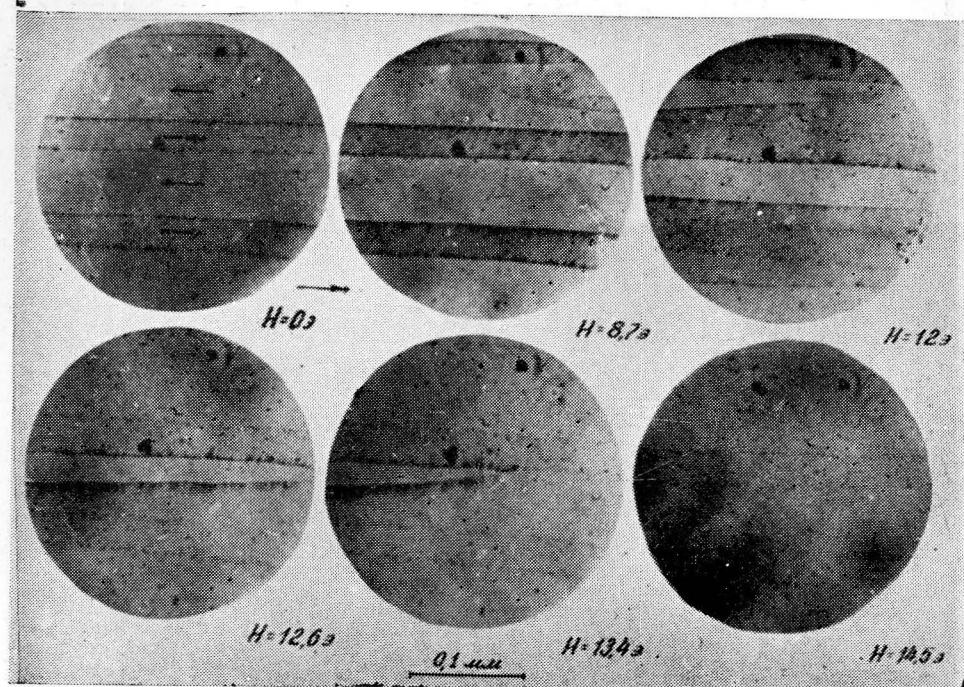


Рис. 2. Смещение границ между доменами в пленке толщиной 2600 Å. Приложенное поле и ось легкого намагничивания горизонтальны.

*К статье Л. В. Киренского, В. А. Буравихина, М. К. Савченко  
 «Доменная структура тонких ферромагнитных пленок в магнитном поле».*

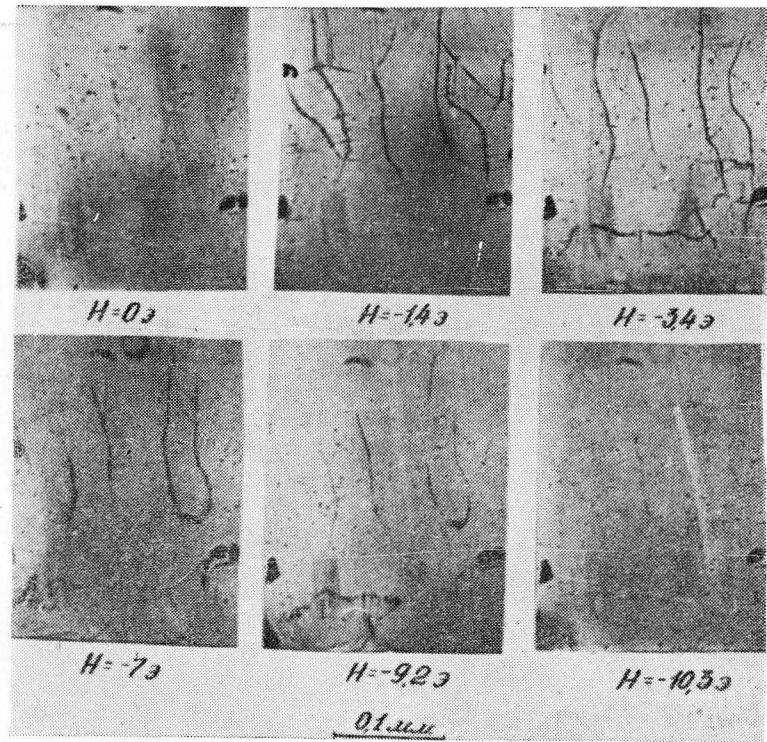


Рис. 3. Изменение границ и доменной структуры в пленке толщиной 830 Å при перемагничивании. Приложенное поле и ось легкого намагничивания вертикальны.

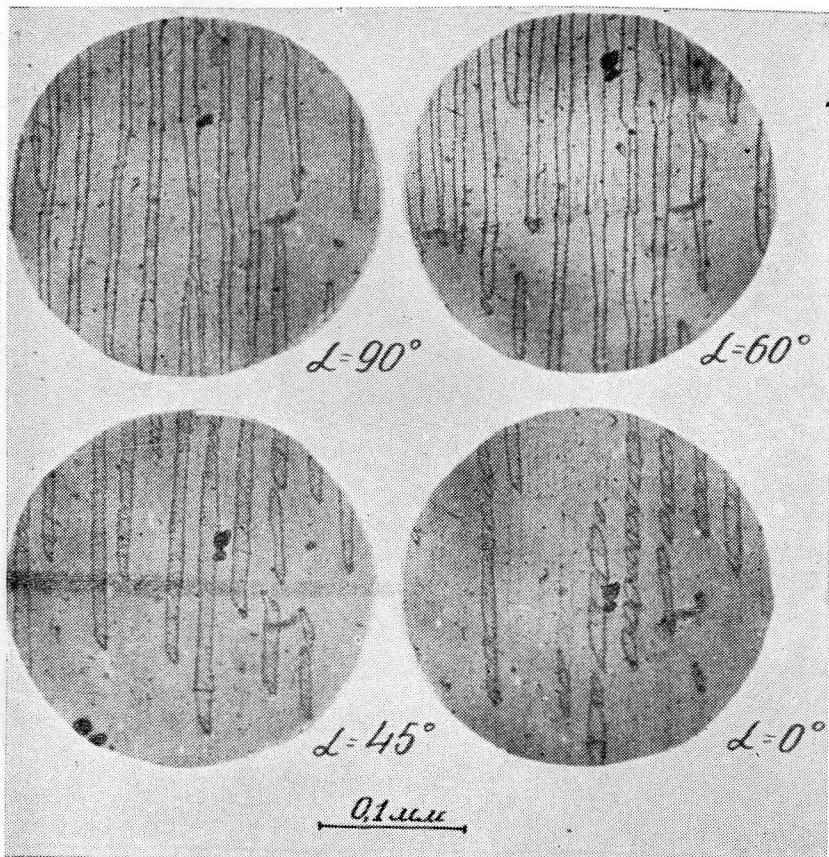


Рис. 5. Изменение доменной структуры на пленке толщиной 980 Å во вращающемся поле 10 э. Ось легкого намагничивания вертикальна.

К статье Л. В. Киренского, В. А. Буравихина, М. К. Савченко  
«Доменная структура тонких ферромагнитных пленок в магнитном  
поле».

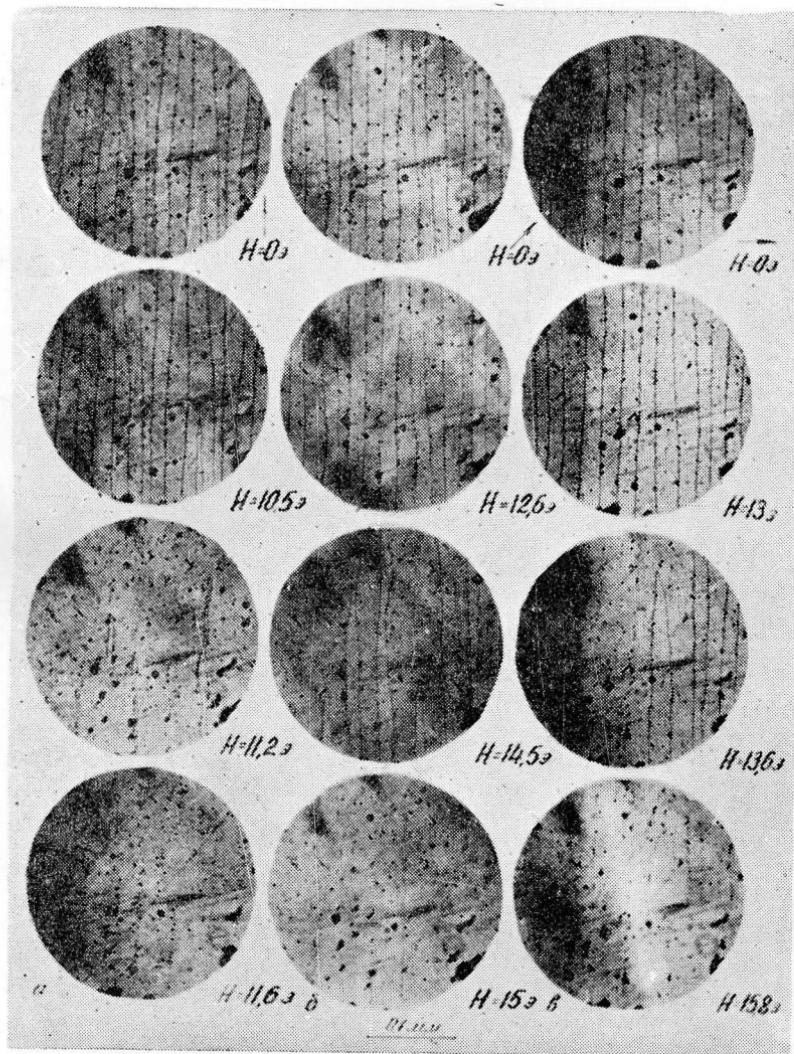


Рис. 4. Доменная структура на пленке толщиной 1200 Å в магнитном поле, направленном под углами 0 (а), 45 (б), 90° (в) к оси легкого намагничивания. Ось вертикальна.

ры после размагничивания пленок существенно зависит от направления размагничивающего поля по отношению к оси легкого намагничивания. При увеличении угла между размагничивающим полем и осью легкого намагничивания увеличивается число границ, а домены становятся уже.

2. В размагниченных пленках в значительном интервале полей доменная структура устойчива. При дальнейшем увеличении полей в небольшом их интервале происходит изменение доменной структуры, причем в пленках, достаточно толстых ( $2600 \text{ \AA}$ ), изменение доменной структуры происходит со смещением границ, т. е. примерно так же, как в массивных ферромагнитных кристаллах.

В более тонких пленках почти не наблюдается смещения границ, а возникает их ломка, связанная, по-видимому, с внезапным перемагничиванием значительных частей доменов, не выгодно ориентированных в отношении поля. Такое перемагничивание, очевидно, осуществляется внезапным вращением вектора намагниченности перемагничивающегося участка.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] A. A. Fowler, E. M. Fruge, Z. Stevens. Phys. Rev., **104**, 645, 1956  
(Перевод в сб. „Магнитная структура ферромагнетиков“, ИЛ, 1959). [2] H. Williams, R. Sherwood. J. Appl. Phys., **28**, 548, 1957. (Перевод в сб. „Магнитная структура ферромагнетиков“, ИЛ, 1959). [3] C. E. Fuller. J. Phys. et radium, **20**, № 2—3, 310—317, 1959. Discuss., 317—318. [4] R. W. Olmep, E. N. Mitchell. J. Appl. Phys., **30**, 258, 1959. [5] И. Н. Шкляревский. Оптика и спектр., **5**, 617, 1958.