

Л. В. КИРЕНСКИЙ и В. А. БУРАВИХИН

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И ТОЛЩИНЫ ТОНКИХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЕНОК СПЛАВА Fe—Ni—Mo НА ИХ ДОМЕННУЮ СТРУКТУРУ

Тонкие ферромагнитные пленки представляют интерес как с чисто физической, так и практической точек зрения. Они по существу двухмерны, и их свойства отличаются от свойств массивных трехмерных образцов. Специально приготовленные ферромагнитные пленки, обладающие одноосной анизотропией, прямоугольными петлями гистерезиса, низкими коэрцитивными силами с большими по сравнению с ферритовыми сердечниками скоростями перемагничивания, могут применяться в виде элементов памяти в счетно-решающих и управляющих системах.

Прямоугольность петли гистерезиса тонких ферромагнитных пленок, изменение их коэрцитивной силы с толщиной во многом объясняются распределением векторов намагниченности в доменах и способами их перемагничивания. По ориентации доменной структуры можно определять направление оси легкого намагничивания в пленках.

Поэтому детальное изучение конфигурации доменной структуры ферромагнитных пленок в зависимости от технологии их изготовления, термомангнитного отжига, химического состава, толщины, а также поведения доменной структуры в магнитном поле может способствовать правильному сознательному выбору наиболее совершенных элементов запоминающих устройств.

Некоторые вопросы теории доменной структуры тонких ферромагнитных пленок рассмотрены в работах Киттеля [1] и Кацзера [2]. Ряд работ посвящен методике наблюдения доменной структуры [3, 4] и перемагничиванию [5—8] тонких ферромагнитных пленок. До сих пор слабо изучено влияние технологии приготовления и толщины пленок на конфигурацию доменной структуры. Этому вопросу посвящена работа Вильямса и Шервуда [8]. В данной работе изучается влияние условий получения, толщины и термомангнитного отжига пленок сплава 80% Ni, 17% Fe, 3% Mo на конфигурацию их доменной структуры.

Проведение эксперимента

Пленки получались распылением указанного выше сплава из вольфрамовых тиглей. Сплав, закладываемый в тигли, в вакууме $7 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст., каждый раз распылялся полностью. Пленки осаждались на оптически полированные стекла размером $1 \times 10 \times 40$ мм. Перед нанесением пленок подложки обезжиривались и очищались при помощи мыльного раствора, хромпика, спирта и предварительного прогрева в вакууме до $450-500^\circ$. Пленки получались в присутствии магнитного поля, которое создавалось парой катушек Гельмгольца. Направление поля совпадало с плоскостью пленок. Пленки были получены:

- а) на подложки, нагретые до 350° , в присутствии магнитных полей 125, 100, 75, 50, 25 и 4 Ое;
- б) в присутствии поля 100 Ое на подложки, нагретые до 420, 350, 150 и 50° ;
- в) пленки разной толщины от 6150 до 140 Å были получены при температуре подложек 350° в присутствии магнитного поля 100 Ое.

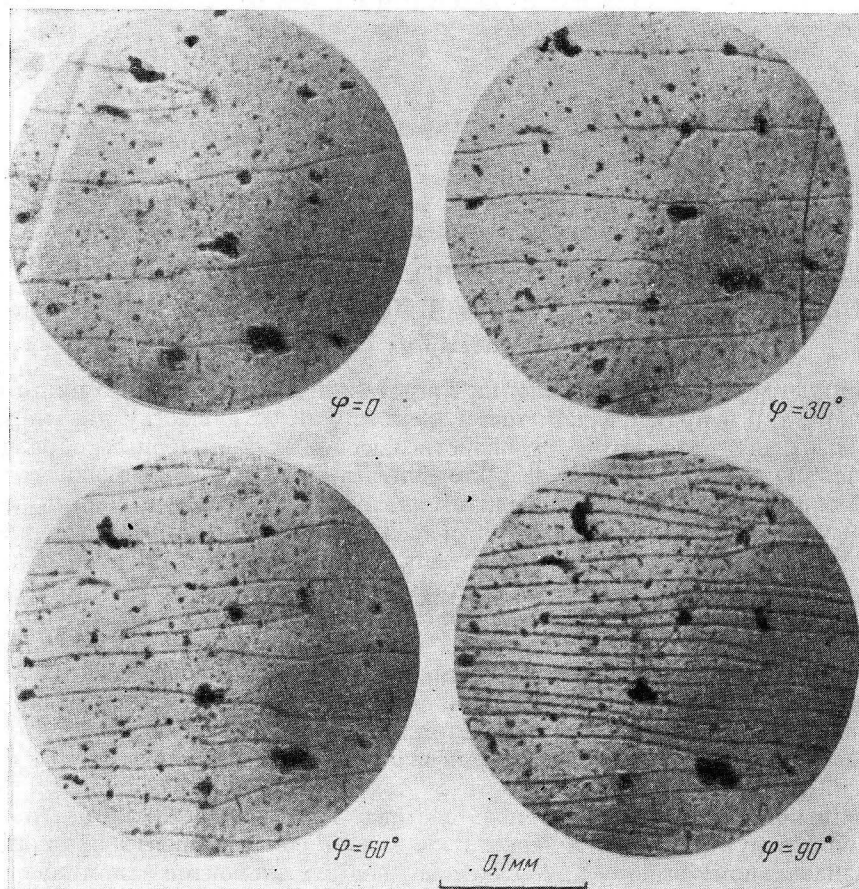


Рис. 1. Влияние направления размагничивающего поля на магнитную структуру пленки толщиной 1200 Å. Поле при ее получении 100 Ое. Температура подложки 350°. Ось легкого намагничивания горизонтальна

Толщина пленок измерялась оптическим методом [9]. Доменную структуру выявляли порошковым методом, наблюдали и фотографировали на микроскопе МБИ-6.

Направление оси легкого намагничивания в пленках совпадало с направлением магнитного поля в момент их осаждения.

Роль угла между размагничивающим полем и осью легкого намагничивания

На рис. 1 показаны порошковые фигуры, полученные на пленке толщиной 1200 Å после размагничивания переменным с убывающей до нуля амплитудой полем, приложенным под углами 0, 30, 60 и 90° к направлению 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.

Влияние магнитного поля, наложенного при получении пленок, на их доменную структуру

Влияние магнитного поля, наложенного при получении пленок, на конфигурацию их доменов изучалось на пленках примерно одинаковой толщины, напыленных на подложки, нагретые до 350°, в присутствии магнит-

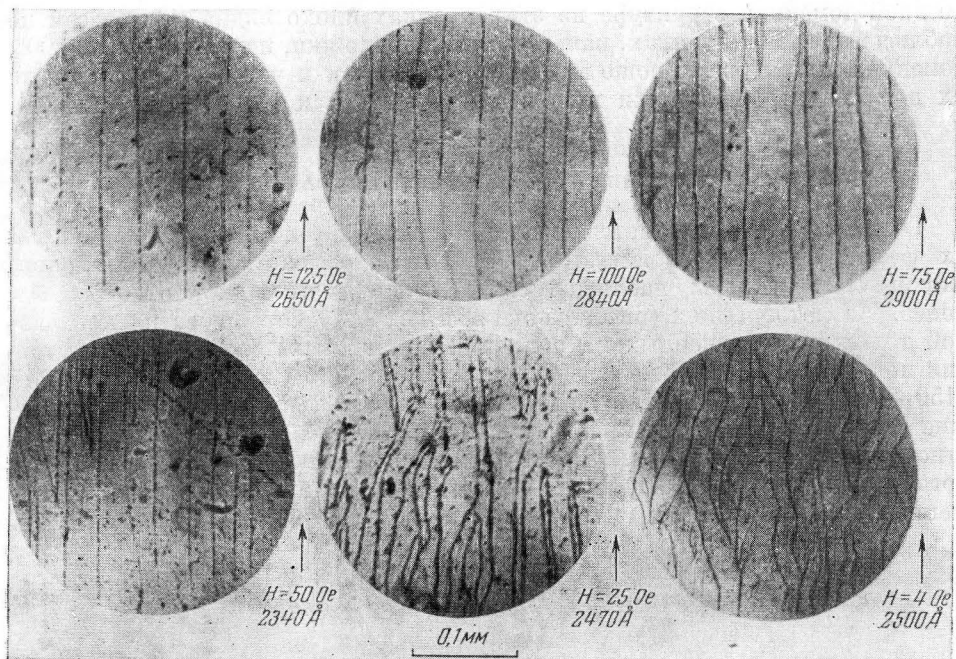


Рис. 2. Влияние магнитного поля, наложенного при получении пленок, на их доменную структуру. Температура подложек 350° . Ось легкого намагничивания вертикальна

ных полей различной напряженности. Из рис. 2 видно, что в пленке, полученной в присутствии поля 125 Ое, границы идут параллельно этому полю. Параллельность границ наблюдалась на протяжении всей пленки, и только на краях ее замечены искривления границ. В пленке, полученной в присутствии поля 100 Ое, наблюдается некоторое искривление границ, хотя нет слияния между ними на протяжении всей пленки. Относительная параллельность границ наблюдается и в пленках, полученных в полях 75 и 50 Ое, но в этих случаях местами образуются разрывы на границах, появляются домены в виде клиньев. В пленке, полученной в поле 50 Ое, наблюдается значительное искривление границ. В пленке, полученной в поле 25 Ое, границы становятся еще более искривленными, пересекающимися друг с другом.

В пленке, полученной в отсутствие специального ориентирующего поля, имеется также направление легкого намагничивания, которое, по видимому, вызвано полем, созданным нагревателем подложки и распылителями. Как показали измерения, это поле равно 4 Ое, и в пленке, полученной в этом поле, наблюдается еще более сильное искривление и переплетение границ.

Влияние температуры подложек на доменную структуру

Пленки для данных наблюдений были получены в присутствии поля 100 Ое на подложки, нагретые до разных температур. Наблюдения показывают, что на пленках, полученных на подложках, нагретых до температур 420, 350, 150 и 50° , хорошо видна доменная структура, ориентированная вдоль поля, присутствующего при получении пленок (рис. 3, см. вклейку 1). Фотографирование доменной структуры каждой пленки проводилось через 1 час после ее получения. Пленки, полученные на подложках, нагретых ниже 100° , механически непрочны и быстро окисляются. Через

10 дней доменная структура на этих пленках плохо видна или совсем не наблюдается. На пленках, нанесенных на подложки, нагретые выше 200° , доменная структура хорошо видна как сразу, так и через 3 месяца после их получения. Эти пленки химически устойчивы и механически прочны.

Влияние толщины пленок на конфигурацию доменов

Толщина пленок является одним из главных факторов, влияющих на их ферромагнитные свойства, в частности на конфигурацию доменов. Порошковые фигуры наблюдались на пленках толщиной от $6150 \text{ \AA}$ и менее. На фотографиях (рис. 4) показана доменная структура пленок разной толщины, полученных на подложках, нагретых до 350° в присутствии поля 100 Ое . Из фотографий видно, что границы в пленках толщиной 6150 — $1340 \text{ \AA}$ представляют собой почти параллельные линии, совпадающие с направлением поля. В пленках толщиной 1200 — $800 \text{ \AA}$ наряду с относительно параллельными границами наблюдаются изломанные, искривленные границы, домены принимают форму клиньев и петель. С уменьшением толщины пленок границы становятся еще более искривленными,

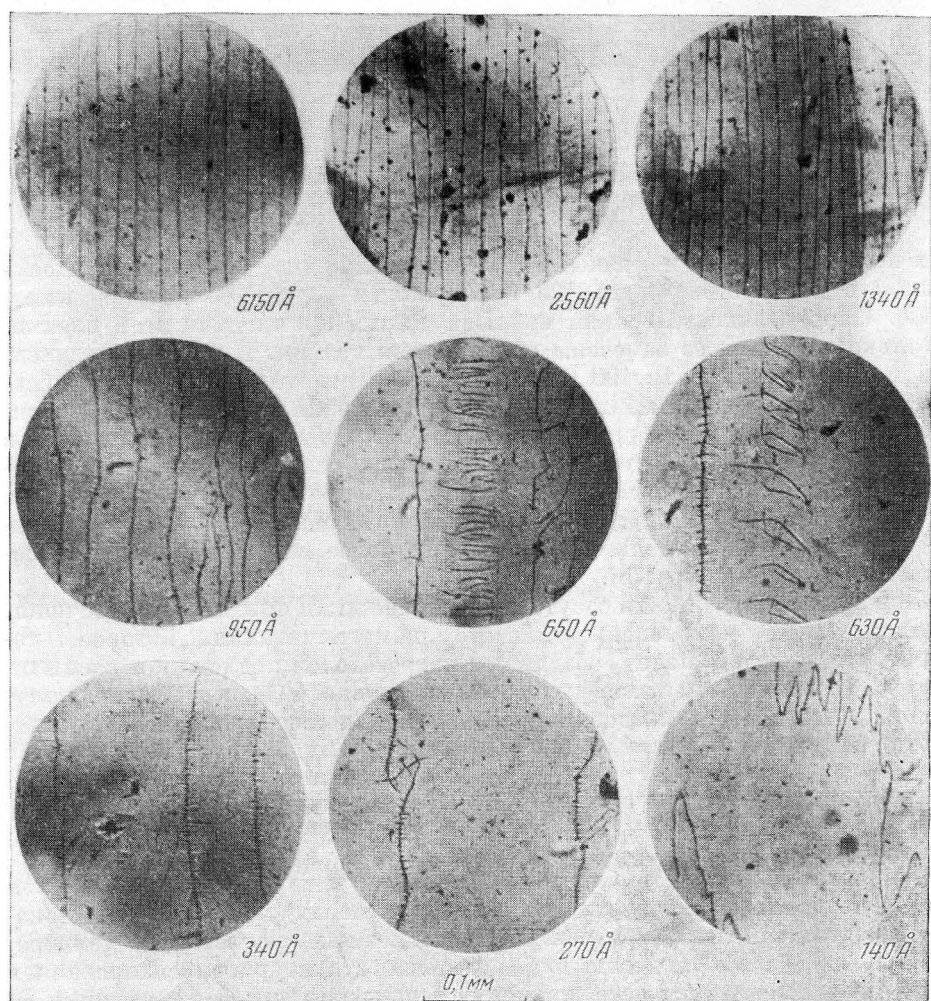


Рис. 4. Конфигурация доменов пленок разной толщины. Поле при получении пленок 100 Ое , температура подложек 350° . Ось легкого намагничивания вертикальна

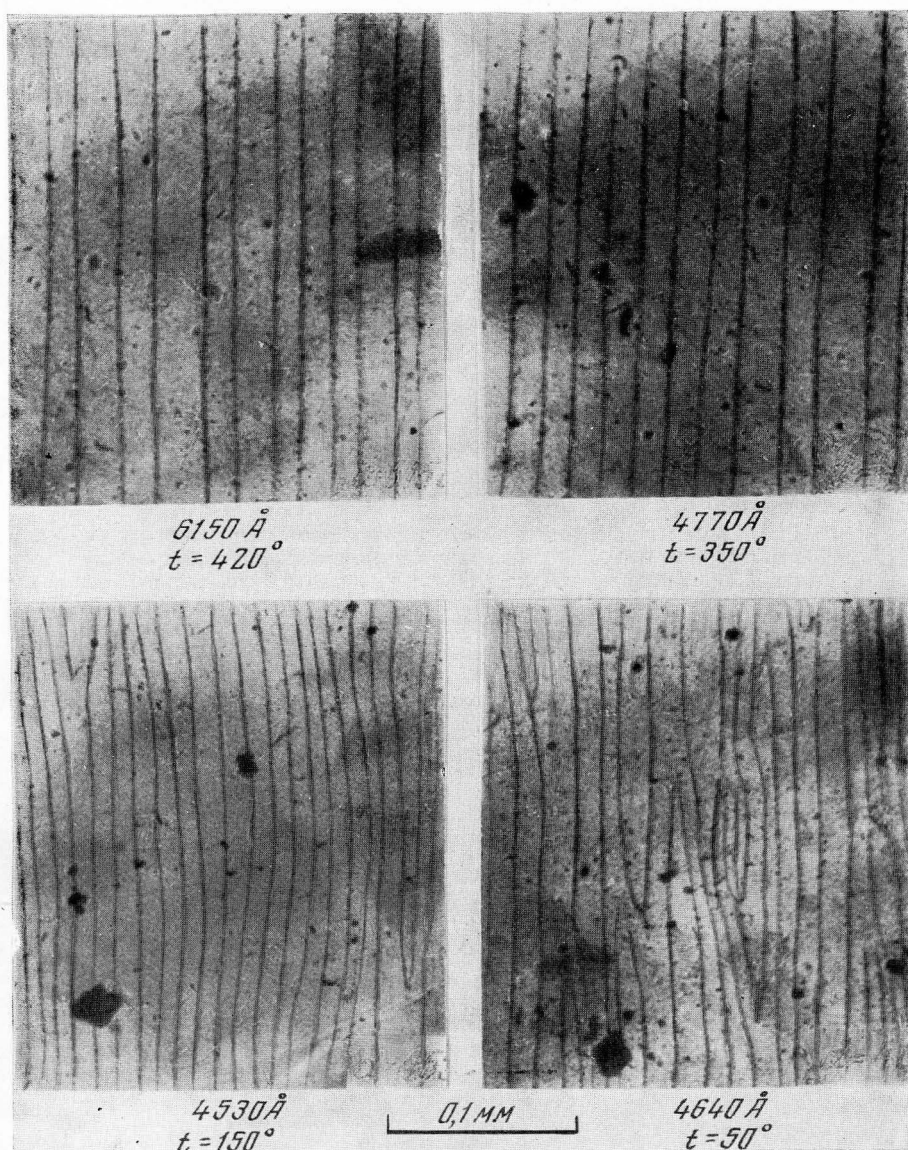


Рис. 3. Влияние температуры подложек на доменную структуру тонких пленок. Поле при получении пленок 100 Ое. Ось легкого намагничивания вертикальна

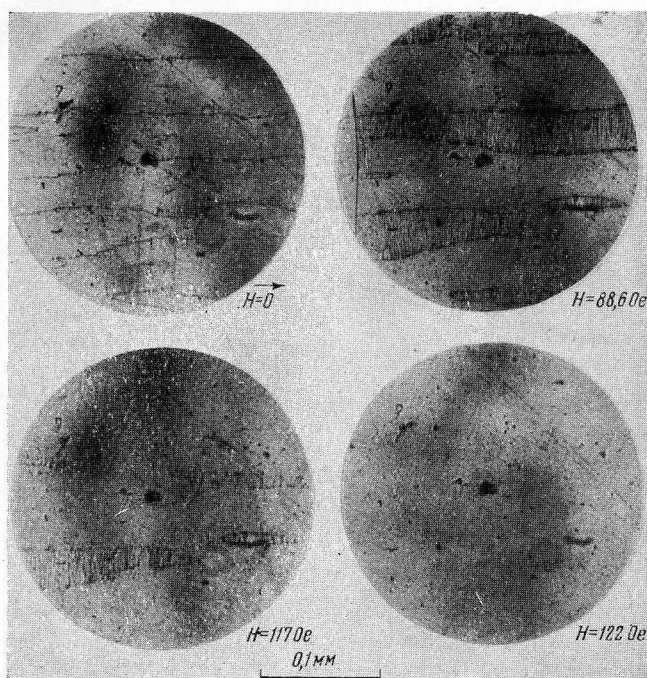


Рис. 2. Изменение доменной структуры некоторым смещением границ и процессами вращения на пленке Co толщиной 720 Å, полученной на подложку, нагретую до 300° в присутствии поля 100 Ое. Приложенное поле и ось легкого намагничивания показаны стрелкой под первой фотографией

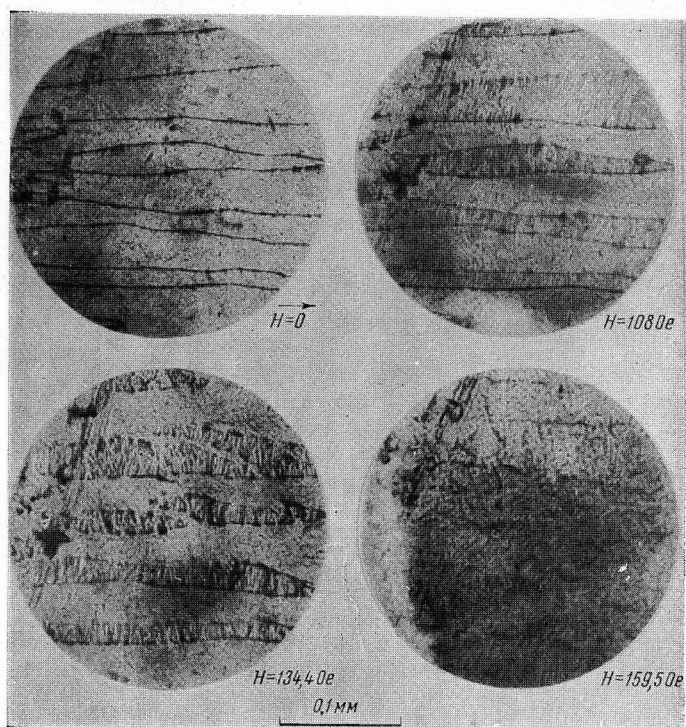


Рис. 3. Изменение доменной структуры процессами вращения на пленке Co толщиной 480 Å. Поле при получении пленки 100 Ое, температура подложки 300°. Приложенное поле и ось легкого намагничивания горизонтальны

часто наблюдаются зигзагообразные границы. Кроме того, при толщине примерно от 800 до 200 Å на пленках данного сплава наблюдаются 180-градусные границы, разделенные через определенные интервалы «короткими поперечными штрихами» со свободными концами. Период штрихов и их длина зависят от толщины пленки. Они повторяются чаще и становятся короче с уменьшением толщины пленок. В пленках 200—140 Å границы сильно искривлены. В области этих толщин на пленках наблюдаются домены разных размеров и форм.

Искривление границ, появление границ в направлении трудного намагничивания при уменьшении толщины пленок можно объяснить слабо выраженной одноосной анизотропией, низкой намагнитченностью насыщения, более значительной неоднородностью пленок на краях по сравнению со всей остальной поверхностью, а также местными напряжениями пленок, которые, очевидно, больше всего сказываются на их краях.

Влияние термомагнитного отжига на ориентацию оси легкого намагничивания

Пленки толщиной 530, 880 и 1200 Å, полученные на неподогретые подложки в присутствии поля 100 Ое, имели направление оси легкого намагничивания, совпадающее с направлением этого поля. Затем они отжигались в вакууме $2 \cdot 10^{-5}$ мм ст. рт. при температуре 450° в течение часа в магнитном поле напряженностью 500 Ое. Направление поля при отжиге совпадало с плоскостью пленок и было направлено под разными углами к оси легкого намагничивания. Во всех случаях по наблюдению порошковых фигур было установлено, что термообработка в магнитном поле изменяла направление оси легкого намагничивания в пленках по направлению поля, наложенного во время отжига.

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

Литература

1. Kittel C., Phys. Rev., **70**, 965 (1946) (пер. в сб. Физика ферромагнитных областей, ИЛ, 1951).
2. Kaszner J., Českosl. časop. fys., **7**, 516 (1957).
3. Fowler C. A., Jr., Freyer E. M., Phys. Rev., **104**, 552 (1956) (пер. в сб. Магнитная структура ферромагнетиков, ИЛ, 1951).
4. Prutton M., Philos. Mag., **4**, 1063 (1959).
5. Fowler C. A., Jr., Fryer E. M., Stevens Z., Phys. Rev., **104**, 645 (1956) (пер. в сб. Магнитная структура ферромагнетиков, ИЛ, 1959).
6. Olmen R. W., Mitchell E. N., J. Appl. Phys., **30**, 258 (1959).
7. Fuller C. E., J. Phys. et radium, **20**, № 2—3, 310 (1959).
8. Williams H., Sherwood R., J. Appl. Phys., **28**, 548 (1957). (Пер. в сб. Магнитная структура ферромагнетиков, ИЛ, 1959).
9. Шкляревский И. Н., Оптика и спектроскопия, **5**, 617 (1958).