

Л. В. КИРЕНСКИЙ и В. А. БУРАВИХИН

О ГРАНИЦАХ ДОМЕНОВ В ТОНКИХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЕНКАХ

За последние годы появился ряд работ, посвященных структуре и энергии границ, разделяющих домены в тонких ферромагнитных пленках [1—10].

Теоретически установлено, что в относительно толстых ферромагнитных пленках изменение вектора намагниченности в граничном слое такое же, как и в массивных ферромагнитных кристаллитах. В случае 180-градусных соседств вектор намагниченности постепенно меняет свое направление от 0 до 180°, оставаясь все время в плоскости граничного слоя. Такого типа границы, следуя установившейся терминологии, мы будем называть границами Блоха.

В более тонких ферромагнитных пленках вектор намагниченности в 180-градусном граничном слое может не лежать в плоскости этого слоя. Структура таких границ может быть самой разнообразной. Такой тип границ будем, для краткости, называть границами Нееля.

В некоторых случаях наблюдаются так называемые сдвоенные границы или двойные граничные слои. Они представляют собой систему из двух очень близко расположенных друг к другу границ. По обе стороны такой границы намагниченность направлена одинаково. При наложении поля против направленной таким образом намагниченности граница раздваивается и образуется домен обратной намагниченности.

В настоящей работе экспериментально изучалась полярность границ в тонких ферромагнитных пленках различного состава и различных толщин.

Изучение производилось на тонких ферромагнитных пленках железа, кобальта и сплава 80% Ni, 17% Fe, 3% Mo. Пленки были получены путем распыления в вакууме $2 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. Напыление производилось на стеклянные подложки, нагретые до 350°. Одноосная анизотропия создавалась наложением в момент напыления магнитного поля, напряженностью 100 Ое. Толщину пленок определяли на универсальном монохроматоре УМ-2 при помощи линий равного хроматического порядка [11]. Изучение границ проводилось методом магнитных суспензий на микроскопе МБИ-6. Перед проведением исследования пленки предварительно размагничивались.

На рис. 1 представлена доменная структура пленки Fe—Ni—Mo толщиной 1450 Å. В отсутствие поля доменная структура этой пленки состоит из почти плоско-параллельных доменов с хорошо выявленными тонкими границами. При наложении нормального к плоскости пленки магнитного поля напряженностью 220 Ое частицы магнитного порошка собираются обильно на границах через одну. При изменении знака поля резко выявленными границами оказываются те, которые были выявлены слабо, и, наоборот, ранее слабо выявленные границы выделяются резко. Эта закономерность подтверждается при изучении большого количества образцов и свидетельствует о чередующейся полярности границ Блоха в тонких ферромагнитных пленках, что в общем случае не наблюдается для массивных ферромагнитных кристаллитов.

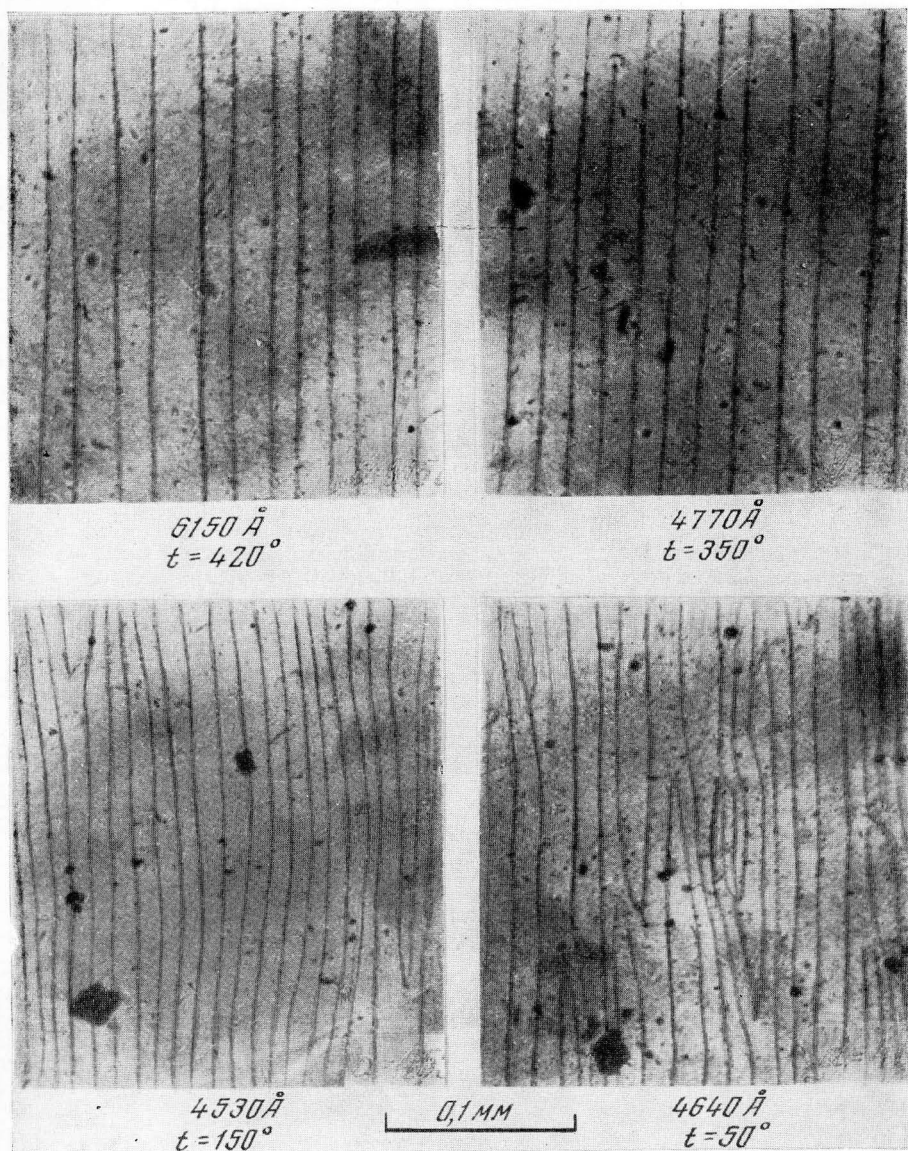


Рис. 3. Влияние температуры подложек на доменную структуру тонких пленок. Поле при получении пленок 100 Ое. Ось легкого намагничивания вертикальна

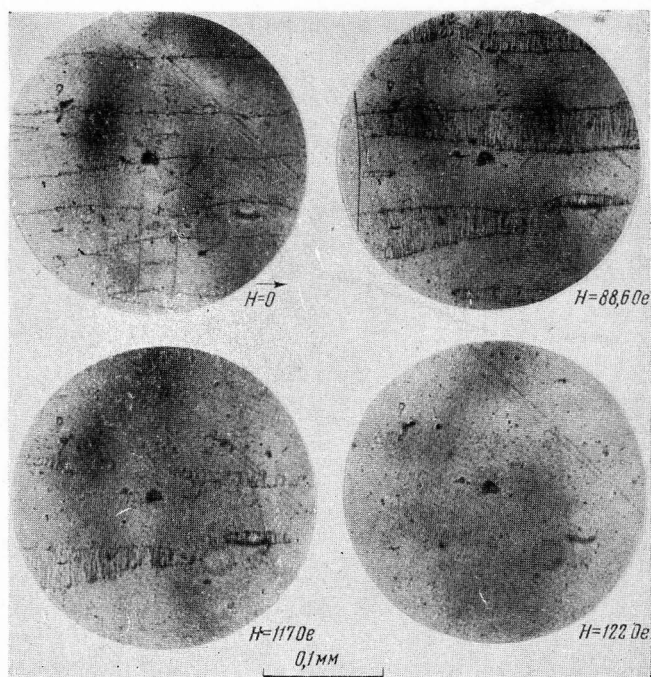


Рис. 2. Изменение доменной структуры некоторым смещением границ и процессами вращения на пленке Со толщиной 720 Å, полученной на подложку, нагретую до 300° в присутствии поля 100 Ое. Приложенное поле и ось легкого намагничивания показаны стрелкой под первой фотографией

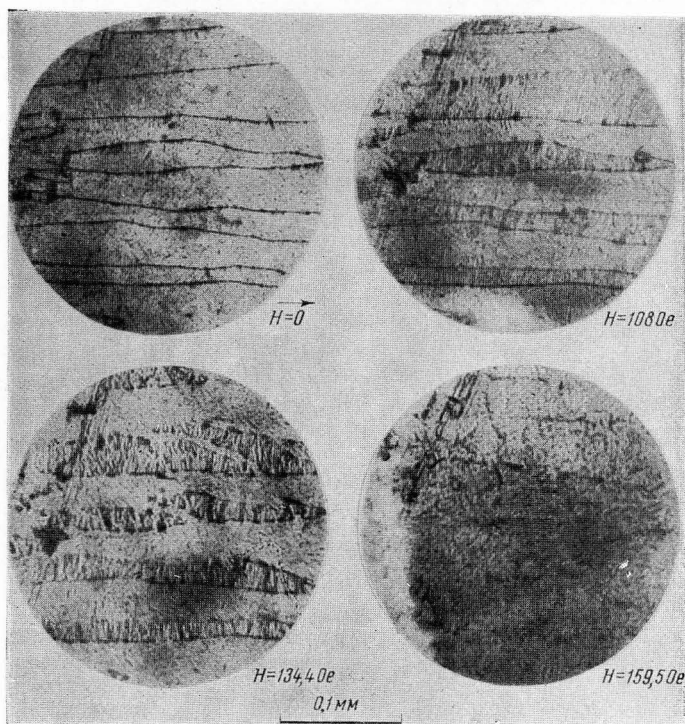


Рис. 3. Изменение доменной структуры процессами вращения на пленке Со толщиной 480 Å. Поле при получении пленки 100 Ое, температура подложки 300°. Приложенное поле и ось легкого намагничивания горизонтальны

Знакопеременная полярность соседних границ наблюдается не только на прямолинейных или почти прямолинейных границах, но и на искривленных зигзагообразных границах. На рис. 2 это показано для пленки железа толщиной 1230 Å.

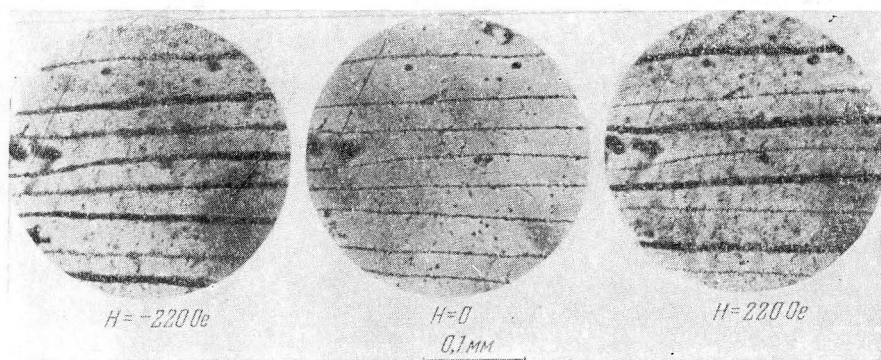


Рис. 1. Выявление полярности границ при наложении нормального к плоскости пленки поля. Пленка сплава Fe—Ni—Mo, толщиной 1450 Å

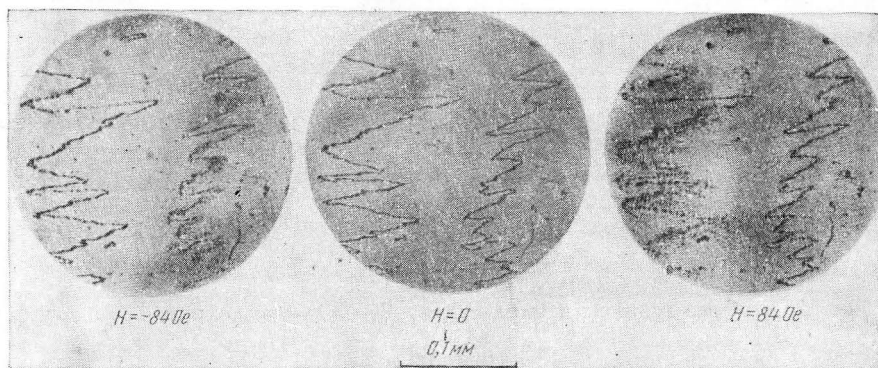


Рис. 2. Переменная полярность зигзагообразных границ на пленке железа толщиной 1230 Å

На рис. 3 представлен иной случай. Границы пленки кобальта толщиной 470 Å при наложении вертикального поля до 300 Ое и более не показывают отмеченной выше знакопеременной полярности. Это наблюдалось на пленках кобальта и сплава Fe—Ni—Mo толщиной менее 500 Å и на пленках железа толщиной менее 250 Å.

Очевидно, структура граничных слоев таких пленок иная: здесь мы имеем дело с границами типа Нееля. В таких границах иногда наблюдается увеличение резкости всех границ, иногда же резкость границ остается практически неизменной.

На рис. 4 показана доменная структура пленки сплава Fe—Ni—Mo толщиной 560 Å с характерными двойными границами. В отсутствие поля эти слои выглядят как почти прямые, очень толстые линии. При наложении нормального к плоскости пленки поля, обнаруживается, что двойной граничный слой действительно состоит из двух границ различной полярности. В поле -10 Ое все верхние границы выявляются резко, тогда как нижние едва различимы. В поле противоположной полярности $+10$ Ое резко выявленными оказываются, наоборот, нижние границы, верхние же становятся едва различимыми. Таким образом, в соответствии

с теорией Кацера [5], двойные граничные слои представляют собою систему из двух близко расположенных друг к другу Блоховских границ противоположной полярности.

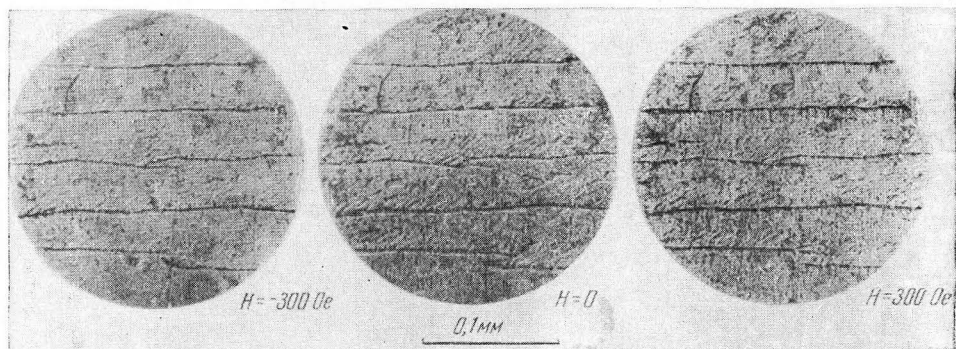


Рис. 3. Одинаковая полярность границ на пленке кобальта толщиной 470 Å

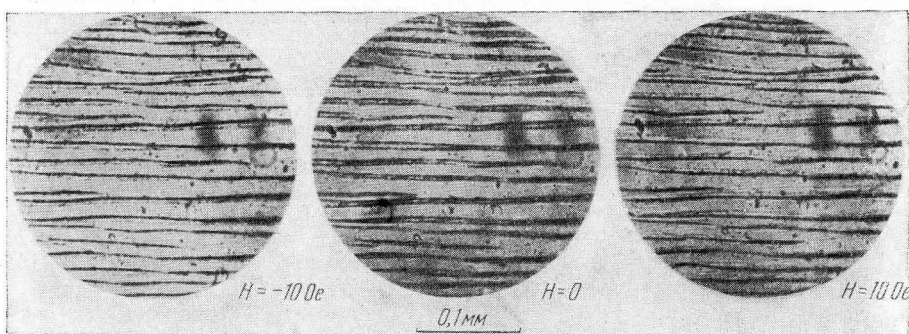


Рис. 4. Двойные границы пленки сплава Fe—Ni—Mo толщиной 560 Å

Выводы

1. Сдвоенные границы в тонких ферромагнитных пленках представляют собой границы Блоха противоположной полярности.

2. Границы Блоха в тонких ферромагнитных пленках имеют чередующуюся полярность. Это дает возможность определить наличие таких границ наложением нормального поля и изменением его знака.

3. С уменьшением толщины пленки, начиная с некоторого значения, зависящего от состава пленки, устанавливаются границы типа Нееля. Эти границы не показывают знакопеременной полярности и при наложении вертикального поля любой полярности могут выявляться более отчетливо.

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

Литература

1. Bloch F., Z. Phys., **74**, 295 (1932).
2. Neel L., Comp. Rend., **241**, 533 (1955).
3. Williams H., Sherwood R., J. Appl. Phys., **28**, 548 (1957).
4. Huber E., Smith D. O., Godenough J. B., J. Appl. Phys., **29**, 294 (1958).
5. Kaczer J., J. Appl. Phys., **29**, 569 (1958).
6. Stephani H., Wiss. Z. Friedrich-Schiller-Univ., Jena, **7**, H.4/5, 373 (1957/1958).
7. Fuller H. W., Rubinstein H., J. Appl. Phys., **30**, 84 (1959).
8. Moon R. M., J. Appl. Phys., **30**, 82 (1959).
9. Gomi B. I., Odani J., Phys. Soc. (Japan), **15**, 535 (1960).
10. Rubinstein H., Fuller H. W., Hale M. E., J. Appl. Phys., **31**, 437 (1960).
11. Шкляревский И. Н., Оптика и спектроскопия, **5**, 617 (1958).