

Известия АН СССР
Серия физическая Т. 26, № 2, 1962

Л. В. КИРЕНСКИЙ, С. В. КАН и М. К. САВЧЕНКО

ПОВЕДЕНИЕ ДОМЕННОЙ СТРУКТУРЫ ТОНКИХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЕНОК ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Введение

В связи с быстрым развитием автоматики и техники счетно-решающих устройств важное значение приобретает всестороннее изучение магнитных свойств тонких ферромагнитных пленок. Значительный интерес представляет также исследование этих свойств при различных температурах, поскольку рабочая температура в некоторых запоминающих устройствах, использующих тонкие ферромагнитные пленки, охватывает интервал от -100 до 300°C [1—3].

Магнитные свойства ферромагнитных материалов существенно зависят от их доменной структуры. Поэтому исследование поведения доменной структуры при различных температурах представляет как научный, так и практический интерес. Насколько нам известно, специальных исследований такого рода не проводилось.

Некоторые данные приведены в работе Олмена и Митчела [4], исследовавших зависимость скорости медленного движения границ в фиксированном магнитном поле от его напряженности и температуры в интервале от комнатной температуры до 52° .

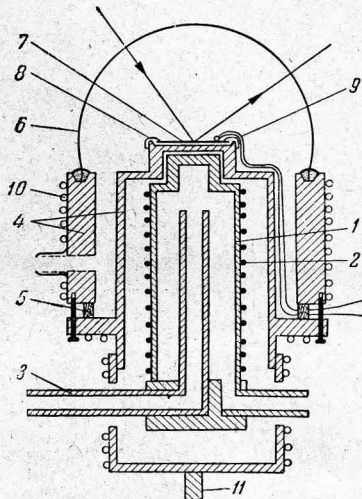
Авторами [4] было установлено, что скорость движения границ пропорциональна T^{α} , где T — абсолютная температура, а $1 < \alpha < 2$.

Имеется ряд работ, посвященных исследованию температурной зависимости доменной структуры массивных ферромагнитных кристаллитов [5—10]. В частности, в работе [10] для изучения поведения доменной структуры на кристаллах кремнистого железа (как и в настоящей работе) использовался меридиональный магнитооптический эффект Керра. В [10] было показано, что в интервале температур от 20 до 700° доменная структура не претерпевает практически никаких изменений.

Эксперимент

Исследуемые ферромагнитные пленки были получены термическим распылением в вакууме (10^{-5} мм рт. ст.) на полированные стекла диаметром 18 мм. Таким путем были получены пленки Fe, Ni, сплавов 50% Fe и 50% Ni и 17% Fe, 80% Ni, 3% Mo. Испарение производилось в магнитном поле 120 Ое. Температура подложки 350°. Железные пленки осаждались непосредственно с железных проволок, накаливаемых электрическим током. При получении остальных видов пленок испарение производилось из вольфрамовых тиглей.

Рис. 1. Установка для исследования температурной зависимости доменной структуры: 1 — нагреватель (холодильник); 2 — бифилярная обмотка; 3 — трубка для жидкого азота или его паров; 4 — вакуумная камера; 5 — резиновая прокладка; 6 — стеклянный колпачок; 7 — образец; 8 — зажим образца; 9 — термопара; 10 — змеевик; 11 — закрепляющий винт



Оптическая часть установки для наблюдения доменной структуры была описана ранее [11]. Тщательная настройка и регулировка установки давала возможность достаточно четко наблюдать доменную структуру всех пленок визуально без покрытия поверхности пленок слоем диэлектрика или полупроводника. На железных пленках, у которых величина спонтанной намагниченности особенно велика, доменная структура выявляется особенно контрастно. В отдельных случаях для фотографирования доменной структуры на исследуемую пленку наносился тонкий слой сернистого цинка. Для исследования доменной структуры при различных температурах было сконструировано специальное устройство (рис. 1), позволяющее изменять температуру исследуемых образцов от -150 до 650° .

Температура образца 7 (закрепленного зажимами 8), контролируемая нихром-константановой термопарой 9, поддерживалась на желаемом значении посредством контактной теплопередачи от массивного полого медного цилиндра 1, который ввинчивался в вакуумную камеру 4. Для предохранения резиновой прокладки 5 и скрепляющего стекло с металлом пшеница от чрезмерно высоких или низких температур через змеевик 10 пропускалась вода с температурой 50° при низкотемпературных исследованиях и 10° при высокотемпературных. Стабильность температуры воды, пропускаемой через змеевик, осуществлялась с помощью термостата.

Во время работы в камере поддерживался вакуум 10^{-3} мм рт. ст., что предохраняло образец от отпотевания и окисления. При исследовании в области высоких температур нагревание полого цилиндра производи-

лось электропечью с бифилярной обмоткой 2, а для получения низких температур через трубку пропускался жидкий азот или его пары.

Прибор укреплялся на предметный столик установки по изучению доменной структуры магнитооптическим эффектом Керра. Поскольку образец устанавливался в центре стеклянного сферического колпачка 6 при помощи поворота около оси закрепляющего винта 11, исследование можно было проводить в любом направлении.

Результаты исследований

На всех исследованных в данной работе ферромагнитных пленках независимо от их толщины и состава в отсутствие магнитного поля установлена высокая стабильность доменной структуры.

В качестве примера на рис. 2 приведены фотографии доменной структуры железной пленки толщиной 1600 Å, полученные в отсутствие поля

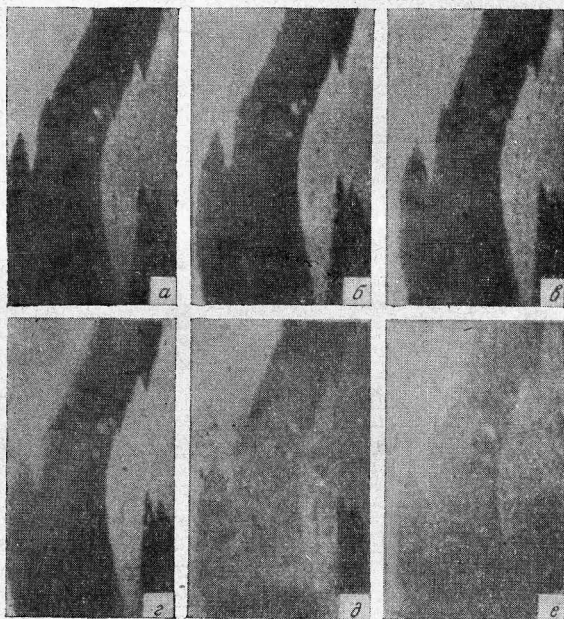


Рис. 2. Доменная структура железной пленки толщиной 1600 Å при различных температурах:
а) — 100°, б) 20°, в) 200°, г) 350°, д) 500°, е) 650°

при различных температурах в интервале от -100 до 650° . Как видно из рисунка, форма и размеры доменов не изменяются вплоть до мельчайших деталей. Что же касается контрастности, то она убывает с повышением температуры вначале медленно, а затем быстро, что объясняется уменьшением спонтанной намагниченности ферромагнетика с температурой. Температура, при которой уже не удастся наблюдать доменную структуру визуально, зависит от состава и толщины пленки.

Поведение доменной структуры тонких ферромагнитных пленок при различных температурах сильно зависит от напряженности магнитного поля. При относительно низкой фиксированной температуре зародыши перемагничивания обычно возникают на определенных участках пленки и удовлетворительно воспроизводятся при повторном перемагничивании. С изменением температуры эти участки и число зародышей могут изменяться.

При более высоких температурах возникает большее число зародышей перемagnetивания, увеличиваются их размеры, а движение границ доменов становится более плавным, быстрым. При возникновении зародыша полностью перемagnetить пленку можно только путем повышения ее

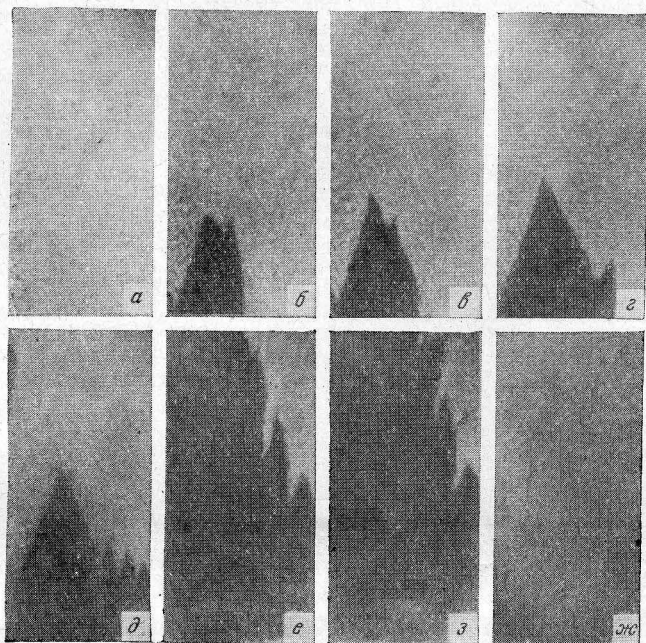
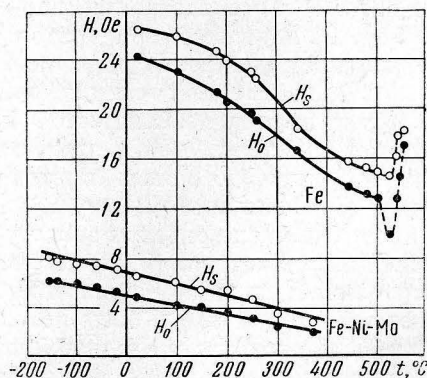


Рис. 3. Процесс полного перемagnetивания железной пленки толщиной 900 Å в постоянном поле 15 Ое за счет увеличения температуры: а) — 90°, б) 90°, в) 200°, г) 280°, д) 340°, е) 380°, ж) 410°, з) 415°

температуры. Этот процесс хорошо виден на рис. 3. На пленке, предварительно намагнетиченной до насыщения (рис. 3, а), зародыши обратной намагнетиченности при температуре —90° возникали в поле 24 Ое, насыщение же наступало при 28 Ое. Наложением поля, равного 15 Ое, оказалось возможным полностью перемagnetить пленку только при повышении температуры.

Как видно из рисунка, зародыши обратной намагнетиченности возникает при относительно высокой температуре 90° (рис. 3, б), в дальнейшем за-

Рис. 4. Зависимость полей зародышеобразования H_0 и насыщения H_s железной пленки толщиной 1600 Å и сплава Fe—Ni—Mo толщиной 1800 Å



родыш постепенно увеличивается, возникают новые клинья. Переход из состояния д в состояние е происходил скачкообразным движением границ. При температуре 41° пленка перемagnetилась полностью.

С изменением температуры изменяется величина полей насыщения H_s зарождения H_0 доменов обратной намагнетиченности. На рис. 4 приведены

кривые, выражающие зависимость H_s и H_0 от температуры. Из рассмотрения этих кривых видно, что для различных материалов величины H_s и H_0 с повышением температуры уменьшаются. Для железных пленок при температурах, превышающих 500° , наблюдается аномальный ход кривой, по-видимому, связанный со значительной разницей в тепловом расширении подложки и осаждаемой на нее пленки.

Институт физики Сибирского отделения
Академии наук СССР

Литература

1. Smith D. O., Electronics, **32**, 44 (1959).
2. Nolan R. M., Missiles a. Rockets, **4**, 39 (1958).
3. Murphy M., Control Engng., № 10, 38 (1959).
4. Olmen R. W., Mitchell E. N., J. Appl. phys., **30**, 258 (1959).
5. Elschner B., Ann. phys., **13**, 290 (1953).
6. Roberts B. W., Bean C. P., Phys. Rev., **96**, 1494 (1954).
7. Andrä W., Ann. phys., **17**, 78, 233 (1956).
8. Wilkruson M., Schull C., Phys. Rev., **103**, 516 (1956).
9. Кацзер Я., Изв. АН СССР. Сер. физ., **21**, 1170 (1957).
10. Киренский Л. В., Дегтярев И. Ф., Ж. эксперим. и теор. физ., **35**, 585 (1958).
11. Киренский Л. В., Кан С. В., Дегтярев И. Ф., Изв. АН СССР. Сер. физ., **25**, № 5 (1961).