

А. К. БАРАНОВ

ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЕ ОДИНОЧНЫХ И СВЯЗАННЫХ МАГНИТНЫХ ПЛЕНОК СПОЛЗАНИЕМ

Приводятся результаты наблюдений доменной структуры тонких магнитных пленок при их перемагничивании сползанием под действием непрерывной серии коротких импульсов по оси трудного намагничивания и постоянных полей по оси легкого намагничивания. Определенное экспериментально и теоретически ожидаемое распределение магнитного поля от плоской полосковой линии значительно отличаются между собой. В магнитостатически связанных пленках наблюдается снижение порога по легкой оси без разрушения однодоменности при возбуждении соседней ячейки.

Для достижения большой плотности в матрице запоминающего устройства недостаточно использовать элементы малых размеров, необходимо также их тесное расположение. Поэтому источниками полей, вызывающих разрушение намагниченного состояния пленок в матрице, могут быть не только собственные импульсы опроса, но и импульсы опроса, поступающие в соседние намагничивающие линии, и магнитостатические поля рассеяния соседних элементов. Изучение перемагничивания пленок сползанием доменных границ и определение условий, при которых взаимное влияние смежных элементов ослабляется до необходимого уровня, представляют не только научный, но и большой практический интерес. Эти эффекты изучались с помощью наблюдения доменной структуры одиночных и связанных магнитных пленок различных конфигураций.

Наиболее простой формой магнитной пленки, позволившей наблюдать эффект сползания и получить некоторые количественные характеристики, явилась узкая полоска с поперечной легкой осью. В наших экспериментах полоска имела ширину 1 мм, толщина пленки 600 Å, насыщенное состояние ее в нулевом поле было устойчивым, а сквозные домены прорастали в обратном по легкой оси поле, равном 1 эрст. Локальные участки полоски возбуждались в направлении трудной оси импульсами тока с частотой повторения 10 кГц, которые поступали в плоскую напыленную петлю с шириной проводников 0,3 мм и зазором между ними 0,2 мм (рис. 1). При этом плоскость расположения проводников отстояла от плоскости расположения магнитной пленки не более чем на 10 мкм.

Наблюдение доменной структуры показало, что независимо от направления исходной однородной намагниченности полоски, при подаче

в проводники импульсов поля возбуждения и достижении ими определенного уровня в магнитной полоске появлялись два прямоугольных сквозных домена, размеры и положение которых совпадали с проекцией проводников на полоску. По мере роста амплитуды поля возбуждения границы перемагниченных областей продвигались все дальше от проводников, а затем вблизи расположения проводников появлялись участки первоначальной фазы намагниченности (рис. 2).

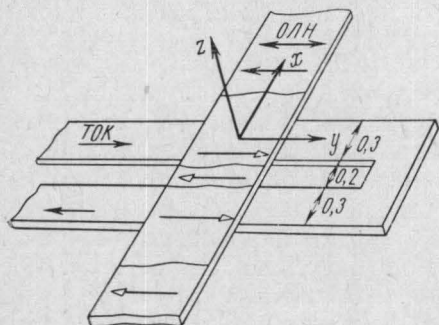


Рис. 1. Взаимное расположение полоски магнитной пленки и плоской петли проводника возбуждения

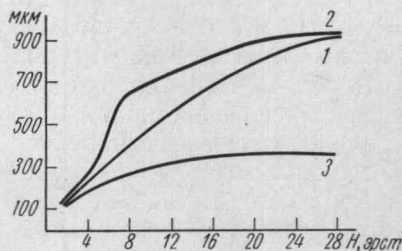


Рис. 2. Положение границы перемагниченного участка полоски в зависимости от амплитуды возбуждающего поля для одиночной (1) и связанной полоски из параллельного (2) и антипараллельного (3) состояний (ось x совмещена с осью проводника возбуждения)

В подобное перемагничивание пленок сползанием стенок могут вносить вклад несколько источников.

1. Размагничивающее поле способствует перемагничиванию пленки в состояние, противоположное исходному, до тех пор, пока величина этого поля не достигнет минимума.

2. Неконтролируемое внешнее поле рассеяния увеличивает перемагниченную область для одной исходной полярности намагниченности и уменьшает ее для другой. Положение границ переключенных областей должно быть симметричным относительно обоих проводников петли.

3. Скос легкой оси в полоске относительно проводников приводит к возбуждению смежных участков пленки под проводниками под углами $\frac{\pi}{2} + \beta$ и $\frac{\pi}{2} - \beta$, где β — угол скоса. В этом случае область, возбуждаемая под углом $\frac{\pi}{2} + \beta$, должна расти быстрее, чем область с углом $\frac{\pi}{2} - \beta$. Положение границ должно быть несимметричным.

В пользу механизма сползания описанного здесь перемагничивания свидетельствовала зависимость размеров переключенной области от частоты следования импульсов, и для достижения границей равновесного положения на частотах в несколько десятков герц требовалось несколько секунд [1—3]. Существенным моментом данных экспериментов являлась локальность возбуждающего поля и, как следствие этого — ограниченность размеров перемагниченного участка. Однако значительные размеры перемагниченной области, по сравнению с размерами проводников, поставили вопрос об источнике и величине полей,

действовавших на границу и вызывавших ее смещение. Естественно было предположить, что основным источником импульсного поля по трудной оси в области нахождения границы являлось возбуждающее поле проводника. Кроме того, граница подвергалась действию поля рассеяния от участка пленки под проводником, ориентированного в направлении трудной оси. Так как проводник был расположен близко к пленке, то поле его резко локализовано и намагниченность пленки должна вращаться на $\frac{\pi}{2}$ только непосредственно под самим проводником.

Локализация поля должна иметь своим следствием ограниченность возбуждаемой области, постоянство ее размеров и постоянство поля рассеяния при превышении полем возбуждения уровня, близкого к H_k .

Проверка локализации поля от проводника была проведена с помощью статических полей по трудной оси. Включение и выключение постоянного тока вызывало перемагничивание участка полоски, причем при поле на поверхности проводника 20 эрст граница перемагниченной области выходила из-под его проекции не более чем на 50 мкм. При повторном приложении поля к полученной магнитной структуре образовавшаяся ранее 180° граница оставалась видимой, а постоянное поле по легкой оси, необходимое для ее смещения при одновременном действии поля по трудной оси, было весьма близко к коэрцитивной силе. Поле проводника было достаточно хорошо локализовано, а возбуждаемый непосредственно под ним участок магнитной полоски не оказывал заметного влияния на перемагничивание соседних областей.

Симметричность картины перемагничивания для обеих исходных полярностей свидетельствовала об отсутствии нескомпенсированных внешних полей. Это позволило предположить, что сползание границы происходило под действием собственного размагничивающего поля по легкой оси. Однако необходимо учесть два момента. Во-первых, существенную роль в процессе сползания играет поле, действующее в месте нахождения границы, а в этой области само размагничивающее поле изменяет знак, и величина его должна быть близкой к нулю. Во-вторых, по мере увеличения перемагниченной области эффективное размагничивающее поле по легкой оси снижается, и для смещения границы необходимо большее поле по трудной оси. Не ясно, однако, как учесть эти изменения, поэтому в первом приближении можно принять, что поле по легкой оси, действующее на смещающуюся границу, сохраняется постоянным. Тогда естественно предположить, что при ступенчатом увеличении амплитуды возбуждающего поля граница достигает своего следующего положения, при котором сохраняется прежний уровень воздействия поля по трудной оси, т. е. координата границы фиксирует определенный уровень поля по трудной оси. Для распределения магнитного поля под проводником справедливо линейное соотношение между амплитудой тока и полем:

$$H(I, x) = I \cdot f(x), \quad (1)$$

где I — ток в проводнике, $f(x)$ — функция, зависящая только от координаты x .

Пусть положению границы в точке a соответствует уровень поля в этой точке H_0 , т. е. для нее верно:

$$H(I_a, a) = I_a \cdot f(a) = H_0. \quad (2)$$

Тогда из экспериментально известной зависимости положения

границы в функции от амплитуды тока a (I_a) можно найти функцию распределения $f(a)$:

$$f(a) = \frac{H_0}{I_a}. \quad (3)$$

В качестве постоянной H_0 была принята величина поля на краю проводника перед началом движения границы во внешнюю область, которая равнялась 1 эрст. Полученное этим методом распределение показано кривой 1 на рис. 3.

Имеется также теоретический расчет распределения поля под плосковой линией [4]. Теоретическая кривая, построенная для заведомо большего зазора между проводником и магнитной пленкой (кривая 2 на рис. 3), спадает гораздо резче экспериментальной и на расстоянии свыше 0,2 мм от края проводника составляет совершенно ничтожную величину. Можно было предположить, что при образовании перемагниченного участка (поле на поверхности проводника — 2 эрст) граница его уже выходит из-под проекции проводника и равновесное положение ее отвечает меньшему уровню, допустим $H_1 = \frac{H_0}{3} = 0,33$ эрст. Однако

и в этом случае противоречие между теоретическим и экспериментально наблюдаемым распределениями поля для удаленных от проводника областей не устраняется (рис. 3, кривая 3). Таким образом, большие размеры перемагниченной области при учете действия только возбуждающего поля по трудной оси не находят удовлетворительного объяснения [5]. Наблюдаемый «низкий порог сползания» позволяет предположить, что ответственными за смещение границ являются не только магнитные поля проводников, но действует какой-то дополнительный механизм ударных волн, близкий к тому, который вызывает «флаттер» в пленках с блоховскими границами [6]. Возможно также, что определенную роль играет неоднородность поля возбуждения в области нахождения границы.

Одиночная магнитная пленка в форме полоски с поперечной легкой осью представляет как бы крайний случай, наиболее благоприятный для протекания процессов сползания. Можно было ожидать, что разрыв полоски или замена одиночной пленки на пару связанных приведут к ограничению сползания. С этой целью полоска, использованная в описанных выше экспериментах, связывалась с прямоугольными элементами $0,3 \times 1$ мм² толщиной 1000 Å с легкой осью вдоль длинной стороны и напыленными на одной подложке с проводниками возбуждения. В этом случае взаимная ориентация направлений намагниченности в полоске и в элементах оказывала решающее влияние на сползание доменных границ. Если они были намагничены параллельно, то конечное положение границы перемагниченного участка было то же самое, что и для одиночной полоски, но плавный ход кривой изменялся на ступенчатый (кривая 2 на рис. 2). Наблюдалось ускорение продвижения при вползании границы на связанный с полоской элемент и задержка ее при выходе за край элемента. Если же исходное состояние было антипараллельным, то перемагничивалась гораздо меньшая область, и при максимальном прилагавшемся поле амплитудой 22 эрст граница продвигалась лишь до края соседнего элемента (кривая 3 на рис. 2). Причиной, сдерживавшей движение границы в полоске, было поле рассеяния прямоугольного элемента, которое не только компенсировало размагничивающее поле полоски, но и несколько превышало его (за счет большей толщины пленки).

В случае связанных магнитных пленок в форме прямоугольников дискретная структура их не позволяла проводить наблюдение непрерывного смещения границы. Поэтому эффект воздействия оценивался по изменению порога статического перемагничивания по легкой оси при подаче импульсов возбуждения в соседнюю ячейку. При размере элементов $0,3 \times 0,6 \text{ мм}^2$ и зазоре между ними по трудной оси $0,2 \text{ мм}$ у пленок толщиной 1200 \AA действие только возбуждающих импульсов не вызывало разрушения намагниченного состояния в соседних ячейках, но порог по легкой оси снижался (рис. 4).

Спад этот носил плавный характер, и для поля под проводником 10 эрст порог снижался на $0,4 \text{ эрст}$. Снижение порога до одинакового

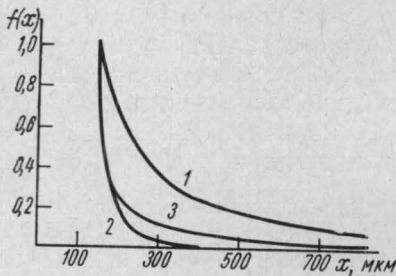


Рис. 3. Теоретическое распределение поля под полосковой линией (2) и экспериментально определенное для $H_0=1 \text{ эрст}$ (1) и для $H_1=0,3 \text{ эрст}$ (3)

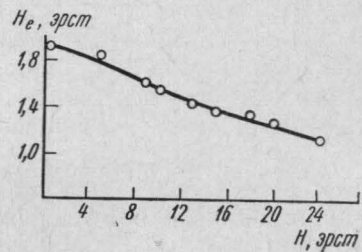


Рис. 4. Снижение порога перемагничивания по ОЛН пары связанных пленок в зависимости от поля возбуждения в соседней ячейке

уровня при подаче импульсов возбуждения в саму ячейку и в смежную с ней по трудной оси показало, что поле уменьшалось при этом в 30 раз.

По измерениям с точностью до $0,2 \text{ эрст}$ магнитостатические поля рассеяния соседних элементов не изменяли порога перемагничивания по легкой оси.

Таким образом, эксперименты по сползанию доменных границ в магнитной полоске показывают, что либо распределение магнитного поля от плоского проводника значительно отличается от теоретически ожидаемого, либо специфичность формы полоски предопределяет возможность действия механизма сползания доменных границ на основе ударных волн [7]. В дискретных и связанных пленках сползание ограничено. В заключение автор выражает благодарность Р. В. Телеснину за интерес к работе и обсуждение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Anderson A. H., Crwother T. S., Kaffel J. I. J. Appl. Phys., **34**, 1165, 1963.
2. Middelhoek S. IBM J. Res. Deb., **6**, 140, 1962.
3. Телеснин Р. В., Ильичева Е. Н. и др. «Изв. АН СССР», сер. физич., **24**, № 4, 571, 1965.
4. Теоретические основы электротехники, ч. I. Харьков, 1959.
5. Vonyhard P. I. J. Appl. Phys., **36**, No. 3, 2, 764, 1964.
6. Stein K. V., Feldtkeller E. J. Appl. Phys., **38**, No. 11, 1967.
7. Телеснин Р. В., Виноградов О. А. и др. «Изв. АН СССР», сер. физич., **31**, № 5, 702, 1967.