

М. А. БОЯРЧЕНКОВ, В. К. РАЕВ

УПРАВЛЕНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ МАГНИТНЫМИ ДОМЕНАМИ В МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛАСТИНАХ МАГНИТООДНООСНЫХ ФЕРРИТОВ

(Представлено академиком Б. Н. Петровым 29 III 1971)

Возникновение упорядоченных доменных структур в монокристаллах некоторых типов магнитоодноосных ферритов создает благоприятные предпосылки для их технического использования. Совокупность условий устойчивого существования таких структур рассматривалась Куи, Тилем, Кандауровой и рядом других авторов.

В монокристаллических пластинах ферромагнетиков с гексагональной, кубической или орторомбической структурой, ориентированных нормально оси c , существуют наилучшие условия для возникновения изолированных доменов цилиндрической формы. Последние могут быть устойчивы к воздействию однородных магнитных полей и обладают хорошей подвижностью (более 1000 см/(сек·э)) в слабых полях с неравным нулю градиентом. Размер домена в зависимости от типа используемого материала колеблется в пределах от 1 до 100 μ . Первые результаты по практическому использованию цилиндрических магнитных доменов (ц.м.д.) в устройствах логики и памяти цифровых вычислительных машин были получены Бобеком ⁽¹⁾ на пластинах редкоземельных ортоферритов.

Существующие способы контролируемого перемещения ц.м.д. в монокристаллических пластинах магнитоодноосных кристаллов сводятся к созданию локальных градиентных полей ΔH_z , параллельных оси c кристалла, на участках пластины, сравнимых с размерами домена. Условие движения записывается в этом случае неравенством $\Delta H_z > kH_w$, где H_w — коэрцитивность доменной стенки, а k — постоянный коэффициент. При сохранении доменом круговой или эллиптической устойчивости ⁽¹⁾ полагают $k \approx 3$.

Возникновение движения ц.м.д. обусловлено магнитостатическим взаимодействием его намагниченности с магнитными полями, генерируемыми активными элементами реальных продвигающих схем. С учетом различного физического содержания величин индукции и напряженности магнитного поля для магнитных зарядов и макротокков в этих схемах целесообразно выделить три типа магнитостатических взаимодействий.

1. Взаимодействие поверхностных магнитных зарядов ц.м.д. с внешними вихревыми полями (магнитостатическое взаимодействие первого типа).

Вихревые градиентные поля обычно создаются системой макротокков, протекающих в проводящих контурах, размещенных на поверхности монокристаллической пластины. Следует отметить, что напряженность поля макротокков не зависит от проницаемостей разнородных магнитных сред, в общем случае входящих в состав продвигающих схем. Если магнитное поле проводящего контура создает на длине, равной двум радиусам ц.м.д. $2r_g$, градиент нормальной составляющей, равный ΔH_z , то среднее время перемещения ц.м.д. $\tau = 4r_g / \mu \Delta H_z$. Для ортоферрита YFeO_3 , $\mu = 3000$ см/(сек·э), $2r_g = 80$ μ и $\Delta H_z = 50$ э (в практически используемых схемах). Тогда $\tau = 10^{-7}$ сек., что с учетом дипольного взаимодей-

ствия доменов соответствует скорости воспроизведения информации приблизительно равной $3 \cdot 10^6$ бит/сек.

2. Взаимодействие поверхностных магнитных зарядов ц.м.д. с квазипотенциальными полями магнитных зарядов, наводимых внешними по отношению к ц.м.д. полями на границах раздела магнитных сред, входящих в состав продвигающих схем (магнитостатическое взаимодействие второго типа).

Магнитный заряд, наводимый внешним полем, обычно оказывается сосредоточенным на концах ферромагнитных аппликаций, размещенных на поверхности монокристаллической пластины. Напряженность квазипотенциального поля H , создаваемого магнитным зарядом m на расстоянии ρ от магнитного полюса составляет величину $H = m / \mu \rho^2$ и существенно зависит от проницаемости магнитной среды μ . Внешние поля выбирают достаточными для насыщения ферромагнитного материала аппликаций. Характеристики существующих ферромагнетиков таковы, что динамические характеристики продвигающих схем, использующих магнитостатические взаимодействия второго типа, оказываются несколько ниже схем, основанных на взаимодействиях первого типа. На практике для ортоферритов скорость выборки информации в таких схемах не превышает 10^6 бит/сек (2).

3. Взаимодействие поверхностных магнитных зарядов ц.м.д. с распределенными магнитными зарядами, наведенными полями рассеяния ц.м.д. на границах раздела магнитных сред, входящих в состав продвигающих схем (магнитостатическое взаимодействие третьего типа).

Магнитный заряд, обусловленный намагниченностью ц.м.д., распределяется по внутренней поверхности ферромагнитной аппликации, под которой располагается данный ц.м.д. Закон распределения магнитного заряда и величина его эффективного поля, действующего на стенку ц.м.д., определены Самариным (3). По существу ненасыщенная ферромагнитная аппликация по отношению к ц.м.д. представляет собой магнитостатическую ловушку, т. е. локализованную низкоэнергетическую зону, обусловленную уменьшением магнитостатических (размагничивающих) полей в месте наложения аппликаций. Максимальное эффективное поле H_D^* распределенного заряда для случая ферромагнитного покрытия бесконечных размеров составляет 10 э. Тогда для выбранного ранее монокристалла иттриевого ортоферрита $\tau \geq 4r_g / \mu H_D^* = 5 \cdot 10^{-7}$ сек., откуда следует, что с учетом дипольного отталкивания доменов (линейный размер бита не может быть выбран менее трех диаметров ц.м.д.) предельная скорость выборки информации в схемах с преобладанием взаимодействий третьего типа составляет для ортоферритов около 10^6 бит/сек.

Способы продвижения ц.м.д., предполагающие использование любого из трех перечисленных выше типов магнитостатических взаимодействий или различных их комбинаций, технологически реализуются посредством нанесения на поверхность кристалла проводящих и (или) ферромагнитных аппликаций. Целесообразно, в связи с этим, дать этой группе способов управления ц.м.д. общее техническое наименование — методы аппликаций. Можно предположить, однако, существование способов управления ц.м.д. иной природы, например посредством взаимодействия ц.м.д. с асимметричными энергетическими ловушками, образованными локальными изменениями геометрии или физических свойств кристалла в процессе его синтеза и последующей обработки. Такую группу способов управления ц.м.д. целесообразно отнести к структурным методам.

На рис. 1 изображена монокристаллическая пластина 1, выполненная из магнитоодносного феррита, ось c которого направлена перпендикулярно плоскости рисунка. В пластине существуют цилиндрические магнитные домены 2. На поверхности пластины размещены ферромагнитная тонкопленочная аппликация 3 зигзагообразной формы, образующая информационный канал, вдоль которого перемещаются ц.м.д. Перемещение

ц.м.д. по каналу происходит следующим образом. В исходной позиции A домены обозначены сплошным кружком. Внешнее продвигающее поле H_n , направление которого показано стрелкой, наводит на вершинах зигзагов магнитные заряды. Последние являются источниками магнитных полей, взаимодействующих с полями рассеяния ц.м.д. (взаимодействие второго типа). В результате, за время действия поля H_n ц.м.д. из позиции A переместится последовательно в позиции B и B . После прекращения действия поля домен, взаимодействуя с зарядом, наведенным им в ферромагнитной аппликации 3 (взаимодействие третьего типа), окажется в магнитостатической ловушке 4 в позиции Γ , т. е. сместится относительно

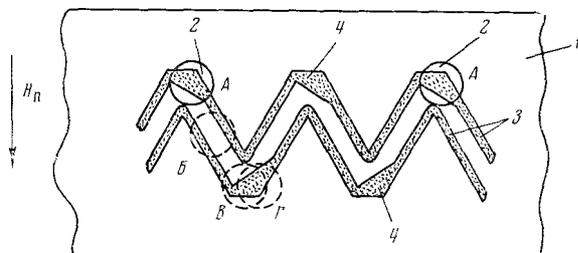


Рис. 1

биссектрисы угла в сторону движения информации (в данном конкретном случае слева направо). При изменении направления H_n на противоположное ц.м.д. переместится вверх в соседнюю с предыдущей позицию. Подобным образом, приложением внешнего знакопеременного поля, удастся перемещать информацию в заданном направлении и в необходимый

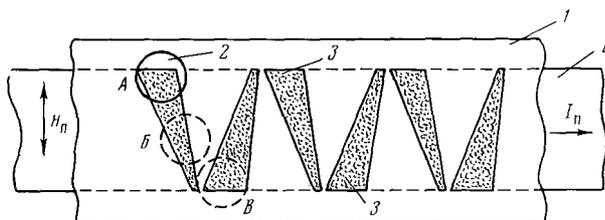


Рис. 2

момент фиксировать ее в соответствующих разрядных ячейках, образованных магнитостатическими ловушками.

На рис. 2 изображена продвигающая схема, предусматривающая все три вышеперечисленных типа магнитостатических взаимодействий. На пластину монокристаллического ферромагнетика 1 , содержащую цилиндрические домены 2 , нанесены ферромагнитные тонкопленочные аппликации 3 в виде асимметричных клиньев. С противоположной стороны пластины, непосредственно под аппликациями, располагается проводник 4 . При подаче в проводник импульса тока I_n продвижение ц.м.д. вдоль клина происходит под влиянием градиентов вихревого поля тока (взаимодействие первого типа) и квазипотенциального поля магнитных зарядов на концах клиньев 3 (взаимодействие второго типа). Продвигающие компоненты этих полей суммируются с одинаковым знаком благодаря размещению проводника с током с противоположной относительно аппликаций стороны монокристаллической пластины. Последовательные позиции B и B , занимаемые доменом в процессе движения по клину, на рис. 2 показаны пунктиром.

Продольное перемещение ц.м.д. по информационному каналу осуществляется в основном за счет магнитостатического взаимодействия

третьего типа. Это взаимодействие, как и в предыдущем примере, обуславливает боковую устойчивость в процессе движения ц.м.д. под аппликацией. Глубина магнитостатических ловушек линейной и клинообразной формы составляет величину около 6 э.

Индикацию присутствия ц.м.д. в той или иной позиции схемы, а в общем случае — считывание информации с магнитного кристалла производят с использованием магнитооптических или гальваномагнитных эффектов.

Институт электронных управляющих машин
Москва

Поступило
29 III 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ A. H. Vobeck, Bell Syst. Techn. J., 46, № 8, 1901 (1967). ² A. H. Vobeck, R. F. Fisher et al., IEEE Trans. on Magnetics, 5, № 3 (1969). ³ М. А. Боярченков, В. К. Раев, М. И. Самарин, Приборы и системы управления, № 8, 8 (1971).