

ЦМД могут образовываться при намагничивании плёнки во внеш. магн. поле (поле смещения, или поле подмагничивания) $H_{см}$, направленном вдоль ОЛН (рис. 1). Для того чтобы намагничённость в объёме плёнки была направлена вдоль ОЛН, энергия магн. анизотропии должна

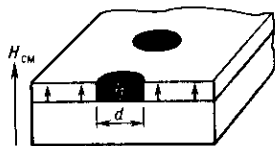


Рис. 1. Цилиндрические магнитные домены (ЦМД) в тонкой магнитной плёнке с одноосной анизотропией ($H_{см}$ — магнитное поле смещения, d — диаметр ЦМД).

превышать магнитостатич. энергию (энергию магнитных полосов, образующихся на поверхности плёнки, когда намагничённость направлена перпендикулярно к этой поверхности).

Первые фотографии изолированных ЦМД были получены в США (1959), решётки ЦМД — в Чехословакии (1960). Для наблюдения ЦМД используют магнитоопт. эффекты (Фарадея эффект, Керра эффект и др.); существуют также электронные методы регистрации ЦМД.

Основные свойства ЦМД. В исходном размагниченном состоянии (при $H=0$) плёнка из ЦМД-материала обладает, как правило, неупорядоченной лабиринтной доменной структурой (рис. 2, а) с двумя типами доменов, намагничённость к-рых направлена вдоль либо против нормали к поверхности плёнки. Характерное значение ширины домена в лабиринтной структуре зависит от намагничённости насыщения и составляет 0,5—5 мкм в ферритах-гранатах, 0,1—0,5 мкм в гексаферритах, 30—100 мкм в ортоферритах.

При увеличении напряжённости поля смещения (напр., направленного вверх, как показано на рис. 1) лабиринтная доменная структура превращается в структуру ЦМД; домены с намагничённостью, ориентированной по полю, стремясь уменьшить энергию образца, увеличиваются в объёме, а домены с противоположным направлением намагничённости сжимаются по ширине и уменьшаются по длине до тех пор, пока не превратятся в изолированные ЦМД (рис. 2, б).

ЦМД поддерживается в устойчивом равновесии под действием трёх сил: сжимающей со стороны поля смещения;

растягивающей силы магнитостатич. происхождения; сжимающей силы поверхностного натяжения доменной стенки. Именно благодаря последней поддерживается круглая форма ЦМД.

Изолированные ЦМД существуют в определ. интервале значений напряжённости поля смещения $H_1 < H_{см} < H_2$ (рис. 3, слева). При $H=H_2$ происходит коллапс (схлопывание) ЦМД, при $H=H_1$ он растягивается в полосу. Критич. поле H_1 наз. полем неустойчивости, H_2 — полем коллапса. Значения этих полей зависят от соотношения между толщиной плёнки h и её характеристич. длиной l (рис. 3, справа). При изменении величины $H_{см}$ в интервале от H_1 до H_2 диаметр ЦМД изменяется примерно на $\pm 50\%$ относительно ср. значения, равного $8l$. Зависимость диаметра ЦМД от поля смещения практически линейная.

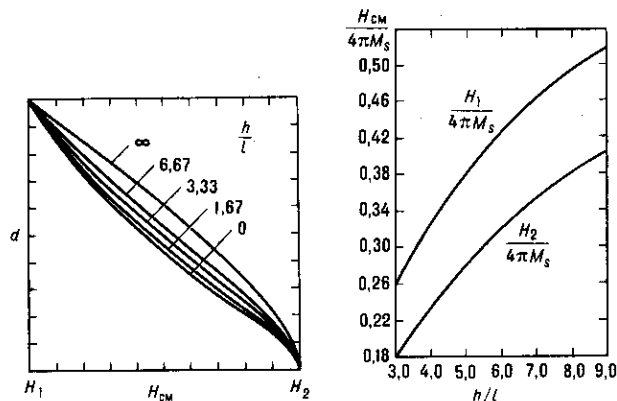


Рис. 3. Слева — зависимость диаметра ЦМД d от поля смещения $H_{см}$ в плёнках различной толщины; справа — зависимость критических полей H_1 и H_2 от h/l .

В ряде экспериментов, однако, наблюдаются т. н. жёсткие ЦМД, для исчезновения к-рых необходимо приложить поле смещения, почти вдвое превышающее поле коллапса нормального ЦМД, причём конечный диаметр жёсткого ЦМД непосредственно перед коллапсом значительно меньше размера нормального ЦМД в том же материале. Исследования таких различий в поведении при коллапсе, а также в экспериментах по трансляции ЦМД в градиентном поле смещения привели к обнаружению внутр. структуры доменных стенок ЦМД, т. н. состояний ЦМД.

Состояния ЦМД. В плёнках ЦМД-материалов, в отличие от случая неограниченной среды, доменные стенки являются скрученными, сильное размагничивающее поле ориентирует намагничённость вблизи поверхностей плёнки вдоль нормали к плоскости доменной стенки. Тогда в верх. и ниж. частях плёнки стенка имеет структуру Нееля (см. Нееля стенка), и лишь в середине плёнки доменная стенка имеет структуру Блоха (см. Блоха стенка). Толщина доменной границы в типичных ЦМД-материалах изменяется в пределах 10—100 нм.

Состояние ЦМД определяется пространственной конфигурацией намагничённости в центре его доменной стенки в сечении ЦМД плоскостью, проходящей через середину плёнки, где доменная стенка является блоховской и намагничённость лежит в плоскости плёнки. На рис. 4 представлено несколько возможных простых структур стенок ЦМД.

Состояние ЦМД характеризуется т. н. индексом состояния

$$S = \oint \frac{d\phi}{2\pi}$$

где ϕ — угол между намагничённостью и произвольным направлением в плоскости плёнки. Т. о., S представляет

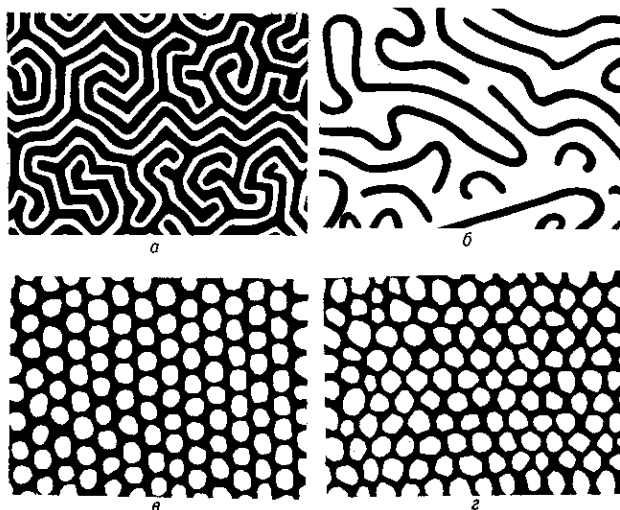


Рис. 2. Трансформация лабиринтной доменной структуры под действием внешнего поля: а — лабиринтная доменная структура; б — уединённые ЦМД; в — решётка ЦМД; г — сотовая доменная структура.