

Л. В. КИРЕНСКИЙ и В. Г. ПЫНЬКО

О КОЭРЦИТИВНОЙ СИЛЕ ПЛЕНОК  
С ДВУХОСНОЙ МАГНИТНОЙ АНИЗОТРОПИЕЙ

Известно, что в монокристаллических пленках железа, полученных эпитаксиально на кристаллах NaCl, (001) [100]<sub>Fe</sub> || (001) (110)<sub>NaCl</sub>, вид и ширина гистерезисных петель существенно зависят от угла  $\alpha$  между перемагничивающим полем и осью легкого намагничивания, совпадающей с кристаллографическим направлением [100] [1]. На рис. 1 представлены такие петли в направлении оси легкого намагничивания под различными углами  $\alpha$  к нему. Коэрцитивная сила при  $\alpha = 0^\circ$  максимальна и при  $\alpha = 45^\circ$  (т. е. в направлении трудного намагничивания) минимальна. При  $\alpha = 15$  и  $25^\circ$

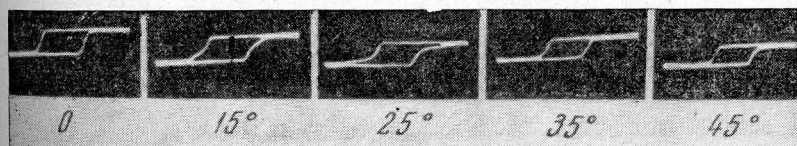


Рис. 1. Петли гистерезиса монокристаллической пленки железа, снятые под различными углами  $\alpha$  (указаны на рисунке) к легкой оси

коэрцитивная сила имеет по два значения, что отражено на рис. 1 в виде ступенек на гистерезисных петлях.

Как показывают исследования доменной структуры (например, в [2]), перемагничивание таких пленок в зависимости от направления перемагничивающего поля происходит полностью или частично путем смещения границ. Естественно ожидать, что и величина коэрцитивной силы будет определяться соотношениями, описывающими этот процесс.

Известно, что величина давления поля на границу определяется формулой [3]:

$$P = I_s H (\cos \theta_1 - \cos \theta_2), \tag{1}$$

где  $H$  — напряженность внешнего поля;  $I_s$  — намагниченность насыщения;  $\theta_1$  и  $\theta_2$  — углы между полем и векторами намагниченности по обе стороны границы. Рассмотрим три характерных случая — перемагничивание при  $\alpha = 0, 25$  и  $45^\circ$ .

1.  $\alpha = 0^\circ$ . Перемагничивание вдоль легкой оси пленок с сильной двухосной анизотропией происходит, как правило, смещением 90-градусных границ, которые ориентируются относительно поля приблизительно под углом  $45^\circ$  (180-градусные границы, если и возникают, то не в начале перемагничивания). На рис. 2, а изображена характерная последовательность изменений доменной структуры при увеличении противополя. Из рисунка видно, что для любой границы  $\theta_1 = 0^\circ$  или  $180^\circ$ , а  $\theta_2 = \pm 90^\circ$  и

$$H_c^0 = P / I_s. \tag{2}$$

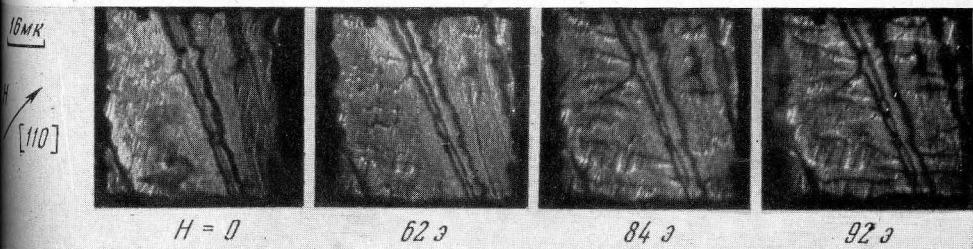


рис. 2. Процесс перемагничивания пленки толщиной 800 Å вдоль направления [110]

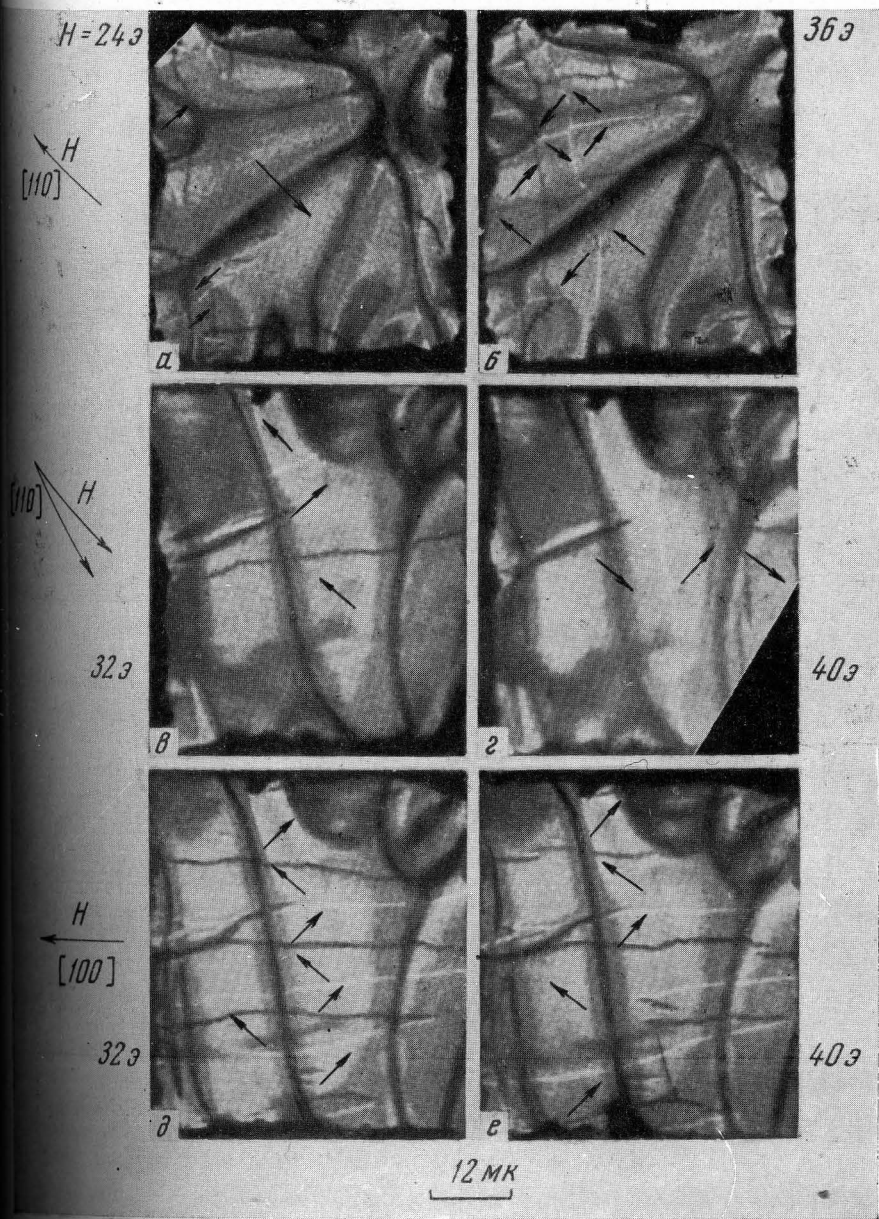


рис. 3. Отдельные этапы перемагничивания пленки толщиной 450 Å: а и б — в легком направлении; в и г — под углом 20° к легкому направлению; д и е — в трудном направлении. Стрелками показаны направления намагниченности в доменах

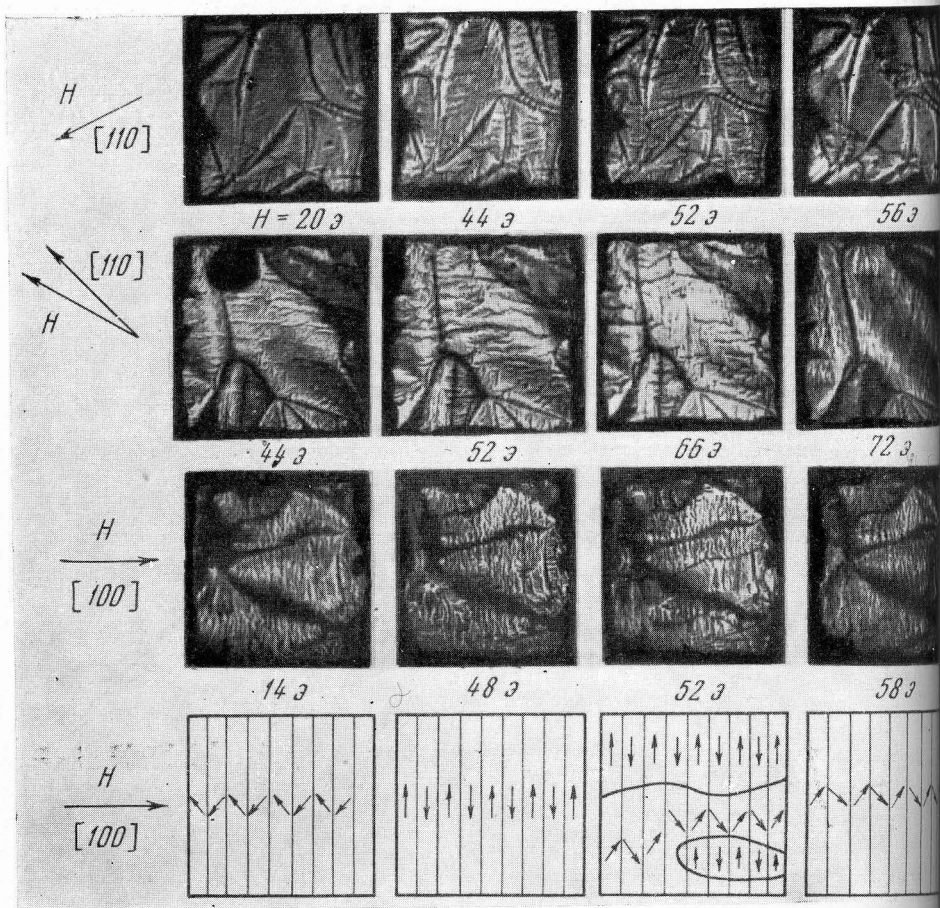


Рис. 4. Перемагничивание пленки толщиной 250 Å: а — в легком направлении; б — под углом 15° к легкому направлению; в — в трудном направлении; г — схема, поясняющая в



2.  $\alpha = 25^\circ$ . Перемагничивание двухосных пленок в довольно широком интервале значений  $\alpha$  происходит в результате двухкратного образования 90-градусных границ и их смещения. На рис. 2, б схематично изображен этот процесс. Он характеризуется двумя значениями коэрцитивной

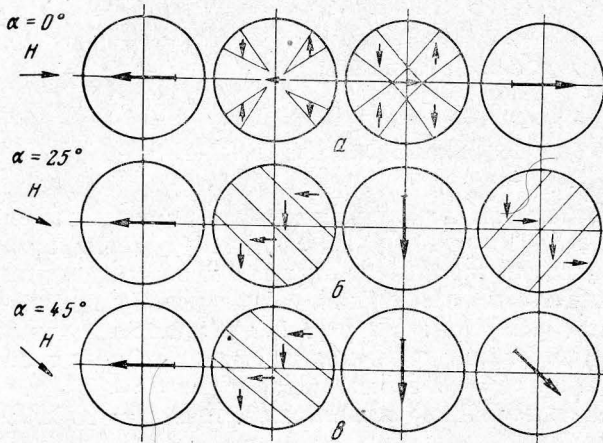


Рис. 2. Схемы изменения доменной структуры двухосных пленок при перемагничивании их под различными углами  $\alpha$  к оси легкого намагничивания

2, в);  $\theta_1$  при этом равняется  $135^\circ$ , а  $\theta_2 = 45^\circ$ :

$$H_c^{45} = P / 1,41I_s.$$

В расчетах не учитывалось изменение углов  $\theta_1$  и  $\theta_2$ , вызываемое вращением векторов намагниченности. При больших полях анизотропии (Fe — 500 э,  $\beta$ -Co — 600 э) и сравнительно малых значениях коэрцитивной силы (10—30 э) это не должно вызывать значительных расхождений между расчетом и экспериментом.

В таблице делается сравнение значений коэрцитивных сил, измеренных на основании петель гистерезиса и определенных по формуле (1). Отношение  $P / I_s$  для  $\alpha = 0^\circ$  равно 16 э, что было положено в основу расчетов коэрцитивных сил. Как видно из приведенной таблицы, совпадение расчетных значений коэрцитивных сил с экспериментальными получается удовлетворительным; следовательно, в монокристаллических пленках с сильной двухосной анизотропией коэрцитивная сила определяется в основном не зародышеобразованием, а смещением междоменных границ

Институт физики Сибирского отделения  
Академии наук СССР

#### Литература

1. Киренский Л. В., Пынько В. Г., Эдельман И. С., Кристаллография, вып. 5, 681 (1964).
2. Киренский Л. В., Пынько В. Г., Сивков Н. И., см. настоящий номер журнала, стр. 91.
3. Бозорт Р., Ферромагнетизм. Изд. иностр. лит., М., 1956.

силы: первое значение получается подстановкой в формулу  $\theta_1 = 155^\circ$  и  $\theta_2 = 65^\circ$

$$H_c^{25} = P / 1,31I_s;$$

Для второго значения  $\theta_1 = 65^\circ$ , а  $\theta_2 = 25^\circ$

$$H_c^{25} = P / 0,5I_s.$$

3.  $\alpha = 45^\circ$ . Перемагничивание пленки вдоль трудной оси в полях, меньших поля анизотропии, является не полным. Частично оно осуществляется смещением 90-градусных границ, ориентированных вдоль поля (рис.