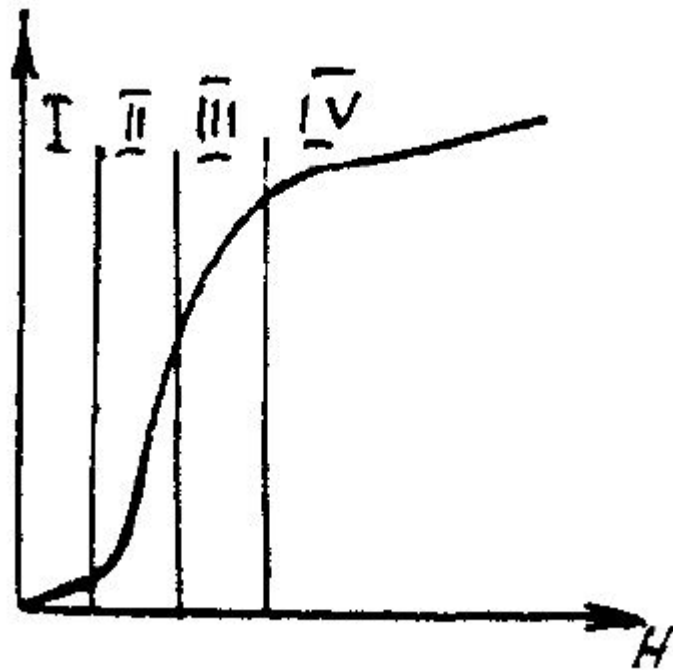


МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И КОМПОНЕНТЫ

Кривая намагничивания ферромагнетиков



I участке связано с упругим смещением границ

II участке - с неупругим (необратимым) смещением границ;

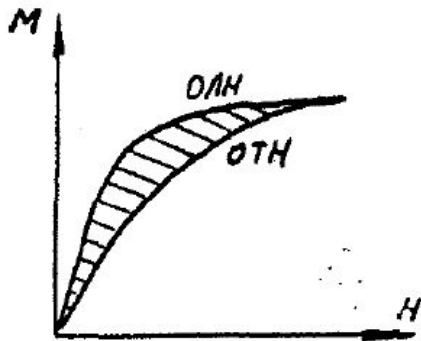
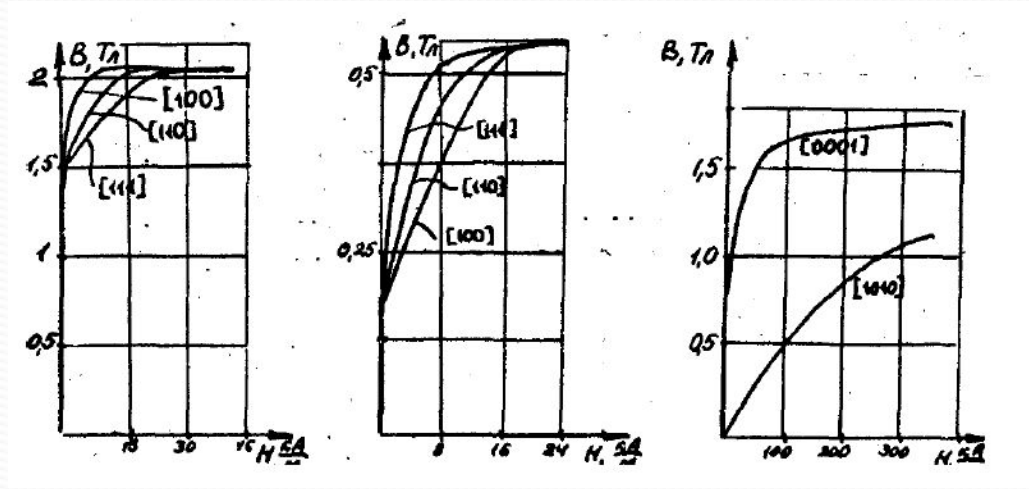
III процессами вращения вектора намагниченности

IV - ориентацией спиновых моментов отдельных электронов

$$E_n = E_{\text{обм}} + E_{\text{ма}} + E_{\text{мст}} + E_{\text{м}} + E_{\text{мс}}$$

Обменная энергия

Энергия естественной магнитной анизотропии



$$E_{MA} = K_1(\alpha_1^2\alpha_2^2 + \alpha_2^2\alpha_3^2 + \alpha_1^2\alpha_3^2) + K_2\alpha_1^2\alpha_2^2\alpha_3^2$$

$$E_{MA} = K_1\sin^2\theta + K_2\sin^4\theta$$

Вещество	$K_1, \text{Дж/м}^3$	Вещество	$K_1, \text{Дж/м}^3$
Fe	$4.6 \cdot 10^4$	$\text{Co}_{0.8}\text{Fe}_{2.2}\text{O}_4$	$1.9 \cdot 10^5$
Ni	$-5 \cdot 10^3$	MnFe_2O_4	$2.8 \cdot 10^3$
Co	$4.1 \cdot 10^5$	$\text{Mg Fe}_2\text{O}_4$	$-2.5 \cdot 10^3$
Fe_3O_4	$-1.1 \cdot 10^4$	$\text{Y}_3 \text{Fe}_5\text{O}_{12}$	$6.5 \cdot 10^2$
CoFe_2O_4	$3.82 \cdot 10^5$	$\text{Sm}_3 \text{Fe}_5\text{O}_{12}$	$-2.5 \cdot 10^2$
EuO	$4.4 \cdot 10^4$	$\text{Ho}_3 \text{Fe}_5\text{O}_{12}$	$-5 \cdot 10^2$

Природа магнитной анизотропии

$$E_{\text{дд}} = \frac{\mu^2}{r_{ij}^3} (1 - 3\cos^2 \alpha)$$

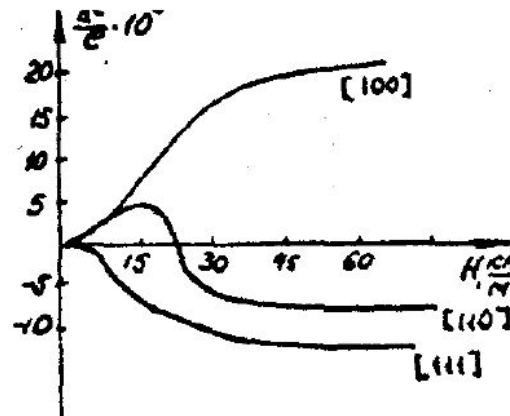
Магнитострикционная энергия

$$\lambda = \frac{3}{2} \lambda_{100} (\alpha_1^2 \beta_1^2 + \alpha_2^2 \beta_2^2 + \alpha_3^2 \beta_3^2 - \frac{1}{3}) + 3 \lambda_{111} (\alpha_1 \alpha_2 \beta_1 \beta_2 + \alpha_2 \alpha_3 \beta_2 \beta_3 + \alpha_3 \alpha_1 \beta_3 \beta_1)$$

$$\lambda = \lambda_{100} + 3(\lambda_{111} - \lambda_{100})(\alpha_1^2 \alpha_2^2 + \alpha_2^2 \alpha_3^2 + \alpha_3^2 \alpha_1^2)$$

$$E_{MV} = \frac{E_{Ю} \lambda_S^2}{2};$$

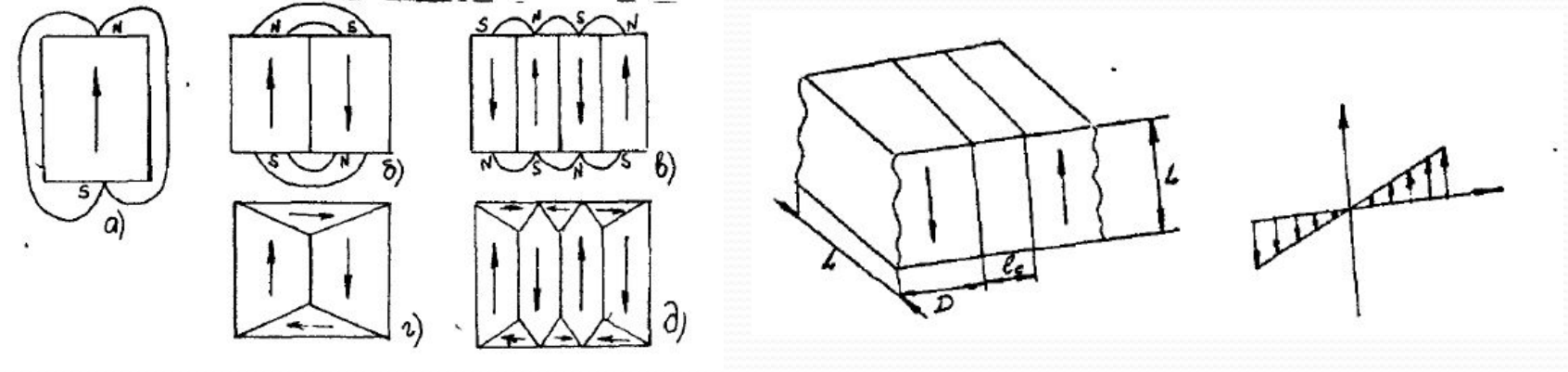
$$E_{MV} = \frac{E_{Ю}}{2} [\lambda_{100} + 3(\lambda_{111} - \lambda_{100})(\alpha_1^2 \alpha_2^2 + \alpha_2^2 \alpha_3^2 + \alpha_3^2 \alpha_1^2)]^2$$



Магнитная энергия

$$E_M = -\mu_0 M H$$

Расчет доменной структуры



$$E_{\text{обМ}} = -2JS^2 \cos \varphi = -2JS^2 \left(1 - \frac{1}{2} \varphi^2\right)$$

Расчет доменной структуры

$$\sigma_{\text{обм}} = \frac{\pi^2}{l_c a} JS^2$$

$$\sigma_a = K_1 l_c$$

$$\sigma = \sigma_{\text{обм}} + \sigma_a = \frac{\pi^2}{l_c a} JS^2 + K_1 l_c.$$

Найдем минимум этого выражения по

$$l_c = \left(\frac{\pi^2 JS^2}{K_1 a} \right)^{1/2} \approx \left(\frac{K T_C}{K_1 a} \right)^{1/2},$$

$$\sigma = 2\pi \left(\frac{JS^2 K_1}{a} \right)^{1/2} \approx 2 \left(\frac{K T_C K_1}{a} \right)^{1/2}.$$

Пример: $T_C=500$ К, $K_1=10^5$ эрг/см³, $a=5 \cdot 10^{-8}$ см

$\sigma=?$, $l_C=?$

$l_C=3 \cdot 10^5$ см, $\sigma=1$ эрг/см²

При определении размера доменов рассмотрим полосовую доменную структуру в кубическом образце (рис. 4.11) с ребром L . Магнитостатическая энергия куба, состоящая из n полосовых доменов может быть выражена в виде

$$E_{\text{мс.}} = \frac{1}{n} \frac{2}{3} \pi M_0^2 L^3 = 2M_0^2 L^2 D.$$

где D - ширина полосового домена.

Энергия доменной стенки в этом кубе выражается формулой

$$E_{\text{ст}} = \sigma L^2 n.$$

При решении этих уравнений получаем выражение для полной энергии куба на единицу объема

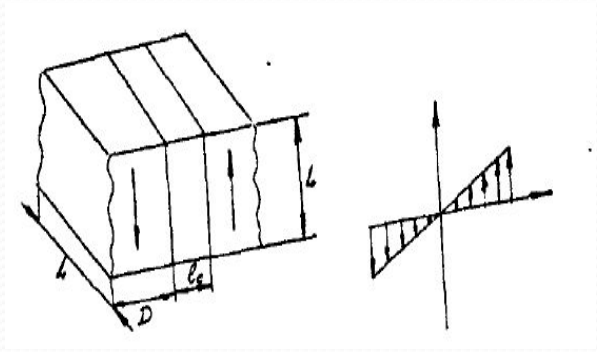
$$U = \frac{1}{L^3} (E_{\text{мс.}} + E_{\text{ст}}) = \frac{2M_0 D}{L} + \frac{\sigma}{D}.$$

из минимума этой энергии найдем ширину домена

$$D = \left(\frac{\sigma L}{2M_0} \right)^{1/2},$$

$$U = \frac{2\sigma}{D} = 2M_0 \left(\frac{2\sigma}{L} \right)^{1/2},$$

при $\sigma=1$ эрг/см², $L=1$ см, $M_0=2 \cdot 10^2$ Гс получаем $D=3 \cdot 10^{-3}$ см, $U=5 \cdot 10^2$ эрг/см³.



Структура Ландау-Лифшица

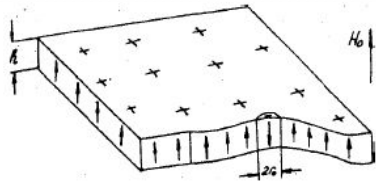
$$E_{\text{СТ}} = \frac{\sigma L^3}{D}$$

$$E_a = K_1 \frac{D^2}{4} L(2n) = K_1 \frac{DL^2}{2}.$$

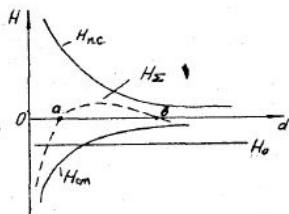
Отсюда удельная энергия образца

$$U = \frac{1}{L^3} (E_a + E_{\text{СТ}}) = \frac{K_1 D}{2L} + \frac{\sigma}{D}.$$

$$D = \left(\frac{2\sigma L}{K_1} \right)^{1/2}, \quad U = \frac{2\sigma}{D} = \left(\frac{2\sigma K_1}{L} \right)^{1/2}.$$



Цилиндрический магнитный домен с радиусом r_0
в пластине толщиной h



a - стабильный
 b - нестабильный

Поле, действующее на ЦМД в зависимости от его радиуса

$$F = \frac{dE}{dr} = 2\pi h\sigma + 4M_0 H_0 \pi r h = \frac{dE_{\text{МС.}}}{dr}.$$

$$H_{\text{эфф}} = \frac{\sigma}{2M_0 r} + H_0 - \frac{dE_{\text{МС.}}}{dr} \frac{1}{4M_0 \pi r h} = H_{\text{СТ}} + H_0 - H_{\text{МС}}$$

Структура Ландау-Лифшица

$$l = \frac{\sigma}{4\pi M_s^2}$$

$$\mu = 4\gamma^2 \frac{A}{\lambda} \frac{M_0}{\sigma} = \frac{\gamma}{\alpha} \left(\frac{A}{K_1}\right)^{1/2},$$

где

$$H_A = \frac{2K_1}{M_s}$$

γ - гиромагнитное отношение;

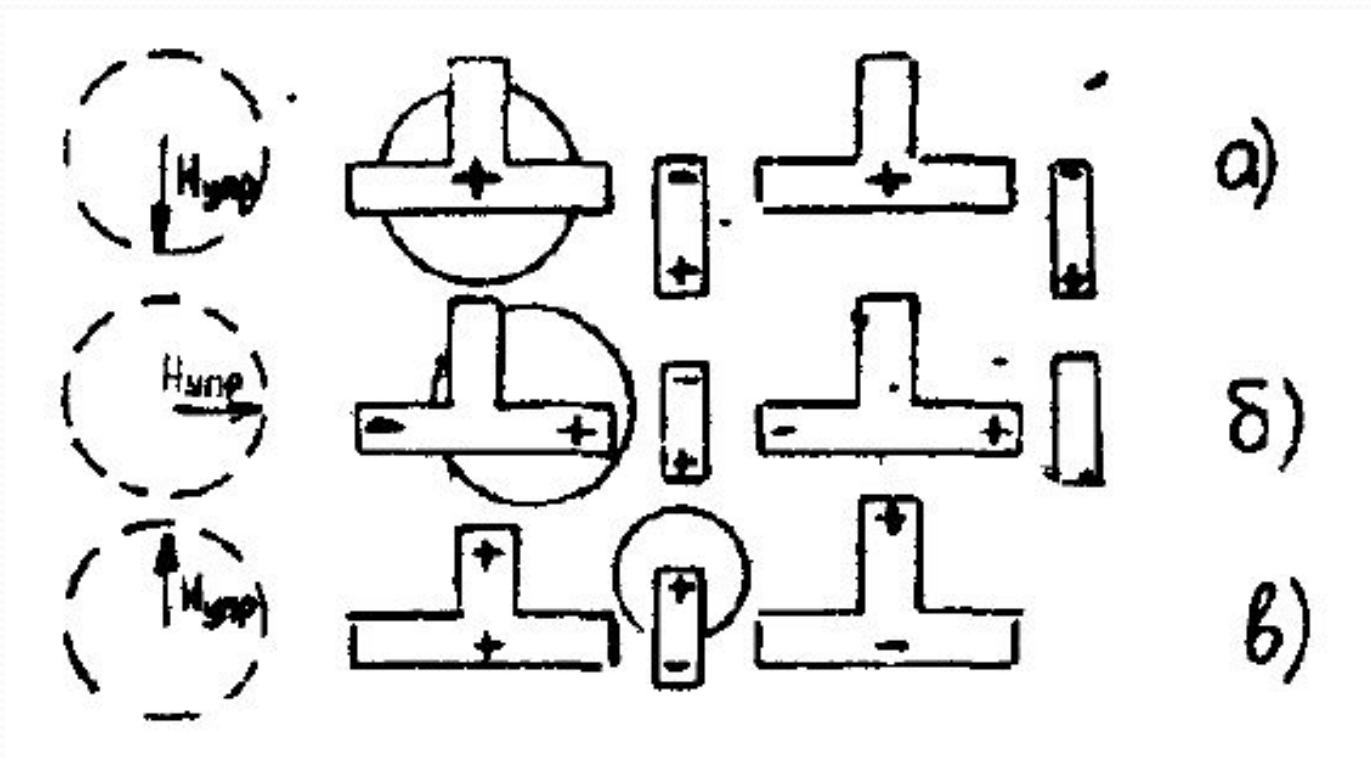
λ - параметр затухания Ландау-Лифшица;

$\alpha = M_s \lambda / \gamma$ - параметр затухания Гильберта.

$$q = \frac{H_A}{4\pi M_s}$$

$$\mu = \frac{\gamma^2}{\lambda} \left(\frac{A}{2\pi q}\right)^{1/2}$$

Запоминающие устройства



СПИНТРОНИКА

Область науки и техники, изучающая магнитные явления в твердых телах, обусловленные наличием собственного и орбитального магнитных моментов электронов, и создание устройств обработки информации на их основе. Доменные структуры, спиновые волны, спин-поляризованный ток и т.д.

В узком смысле: Область науки и техники, изучающая эффекты взаимодействия собственных магнитных моментов электронов в твердом теле с электрическими и магнитными полями и создание устройств обработки информации на их основе. Спин-поляризованный ток, ГМС, ТМС, MRAM и т.д.

