

# Homework #1

①

① a) What criteria are used to distinguish between hard and soft magnetic materials?

- Hard magnet :  $H_c > 10 \text{ kA/m}$  ( $\approx 100 \text{ Oe}$ )

Soft magnet :  $H_c < 1 \text{ kA/m}$  ( $\sim 10 \text{ Oe}$ )

b) In deciding on a material for use in (i) an electromagnet (ii) a transformer what magnetic properties would you take into consideration?

i) electromagnet

- low  $H$   $\Rightarrow$  high  $B$   $\Rightarrow$  generate 한 수를 높다.

① high  $M$  ② low  $H_c$  ③ high  $M_s$  (or  $B_s$ ) 가 요구된다.

ii) transformer.

- high field를 generate 하되, loss ( $W_H$ ) 가 작아야 한다.

① low  $W_H$  ② high  $M$  and high  $M_s$  (or  $B_s$ )

③ low conductivity (to reduce eddy current loss).  
(low  $W_{ec}$ )

② 다음에 속하는 주요 변압기 재료 (soft magnetic materials)의 종류 (즉 합금식)와 재질 특성 및 응용 분야를 간략히 설명하라.

a) Magnetic Steels

$\rightarrow$  low-carbon steel : Fe + 0.05% 이하 C

$M_r = 10,000$ ,  $H_c \approx 10 \text{ Oe}$ ,  $M_s = 1.7 \times 10^6 \text{ A/m}$

$M_r$ ,  $M_s$  값이 크고 low  $H_c$  이므로 electromagnet, Relays 등으로 사용.

b) Silicon steel : Si-Fe

$\rightarrow$  Grain-oriented Si-Fe reduced  $\sigma(\downarrow)$ , low  $W_H$ , high  $M$  and  $M_s$ , low  $W_{ec}$  이므로 transformer에 사용.

Grain-non-oriented Si-Fe는 electrical steel이며 motor and generator에 사용.

Homework #7.

c) Permalloy : Fe - Ni alloy.

(78% Ni) magnetostriction, magnetocrystalline anisotropy = 0.  
 $\mu_i$ 가 매우 높게 유지되는 재료이다.

(65% Ni-Fe)  
 $K_1 = 0$  oer, field annealing 이 가장 response.

(50% Ni-Fe) ex)  $FeNi_3$   
 High flux density ( $B_s = 1.6T$ ) as well as responsiveness  
 to field annealing  $\rightarrow$  very square loop.  
 $\mu_r = 10,000$ .

d) Permendur. Fe - Co alloy (50% Co)

- Very high saturation induction.
  - Relatively low magnetic anisotropy.
- $\frac{P}{W} : transformer$  and generator on air craft.  
 power system.

e) amorphous alloys

- $Fe_{80}B_{20}$ ,  $Fe_{80}P_{16}C_4B$ ,  $Fe_{40}Ni_{40}P_{14}B_6$  등.
  - $Co_xFe_{1-x}$ , Fe-Co-Ni alloy 등.
- $\rightarrow$  transformer 이 사용.

[3] 다음 ac energy loss의 원인 loss의 영향을 미치는 주요 인자 때문 설명.

a) hysteresis loop.

$W_H : B-H$  loop을 그리면서 소비되는 energy  
 loop의 면적이 해당하는 energy (1 cycle).

b) classical eddy current loss

$W_{ec} : the$  power loss due to a current induced by ac  
 field ( $\frac{dB}{dt}$ ).

$\rightarrow$  classical  $W_{ec} : the$  power loss per unit volume.  
 at low frequency for a uniform magnetization.

# Homework #7

(c), (d). eddy current loss about a single domain and multi domain.

- eddy current loss due to wall motion  $\frac{1}{2} \omega$ .  
 $W_{ec} \propto W_{AB}/d$  ( $W_{AB}$ : wall traveling distance during a half cycle).

i) single domain 경우

$$\frac{P}{vol} = \frac{P_{class}}{vol} \cdot \frac{W_{AB}}{2\pi^2 d}$$

ii) multi domain 경우

$$\frac{P}{P_{class}} = 1.628 \times \frac{2\omega}{d}$$

4 다음에 속하는 주요 영자성 재료 (hard magnetic materials) 의 종류 (즉 하한자) 과 영자력 (coercivity) 은 항상 시퀀스 있는 공칭에 대해 설명하시오.

a) AlNiCo

-  $FeCo_{24}Ni_{14}Al_8Cu_3$   
 quenching 하듯 magnetic field 하기에 annealing 함으로써 Hc 향상가능.  
 Co 첨가로 Hc 향상.

b) Hexagonal Ferrites.

- MO.  $6Fe_2O_3$  (M: Ba, Sr ... )  
 Hc 큰, low cost. 제로 갭만. 하지만 low Ms, Mr, Tc 는  
 높은 Ms가 용인이 따라 영자력에서 굉장히 감소하는 단점.

c) Rare Earth-Transition Metal Intermetallics.

-  $SmCo_5$  등 ( $RCo_5, R_2Co_{10}, R_2Fe_{14}B, R_2Fe_{10}$ )  
 transition metal 비를 줄여 Hc 증가.

d) Cobalt/Rare-Earth Magnets.

-  $RCo_5, R_2Co_{10}$ .

$SmCo_5$  - hexagonal 구조, Cu 를 Co 대신 첨가.  $\rightarrow$  precipitation 되어  
 domain wall motion 방해 Hc  $\uparrow$ ,  $SmCo_{10}$  - Zr, Hf 첨가 Sm 대신 Pt 치환  
 하여 개선

# Homework #7

④

e) Rare-Earth Intermetallics based on Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B<sub>1</sub>

- powder 제조 방법, rapid quenching으로 제조

5

a) What is the superparamagnetism? Explain the origin and the condition for its occurrence.

- 20nm 정도 scale 이하 size로 작아질수록 H<sub>c</sub>, M<sub>r</sub> = 0으로 되는 현상  
 자화 방향이 crystalline anisotropy or shape anisotropy로 결정되어  
 않는다. 이러한 작은 size에서는 thermal energy에 의한 randomizing  
 효과가 magnetic moment를 바꿀 수 있는 힘보다 크기 때문이다.

b) What is the random anisotropy in nanostructured materials?  
 Explain two important effects on magnetization.

- nanostructured material 경우 long range crystal field가 아닌  
 local field로 변화한다. 위치의 따라 local anisotropy  
 방향과 크기도 모두 다르기 때문에 totally random anisotropy가  
 된다.

L: correlation length

K<sub>local</sub>: local anisotropy

L >> l 이면 macroscopic 현상

나타낸다.

L ≈ l 이면 magnetic moment는 local anisotropy의 direction에  
 의해 결정, H<sub>c</sub>는 커진다.

$$L = \frac{16A^2}{9K_{local}^2 l^3} \approx \frac{10^4}{K_{local}^2}$$

anisotropy는 작은 soft magnetism

6

Explain the followings.

Ferromagnetic - antiferromagnetic exchange coupling.

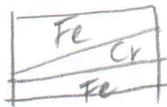
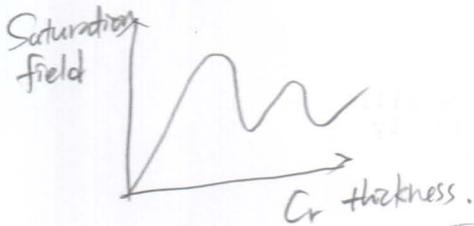
- The coupling between spins on different sides of a physical interface, leading to preferential relative orientation of two different magnetic materials  
 ⇒ Exchange coupling.

# Homework #1

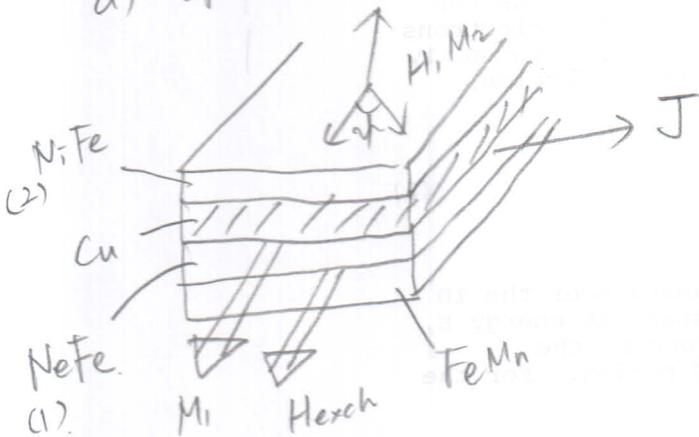
(5)

- 6
- a) Co nano particle structure  $\rightarrow$  CoO가 생기면  $\rightarrow$  AF, Co는 Ferromagnetism 이므로 이 둘 사이에 exchange coupling이 있으면 MH loop의 shift to left 현상 등 비정상 거동이 나타남.
- b) ferro-ferro exchange coupling.  
origins: direct Heisenberg-like exchange interaction or an indirect RKKY-like exchange interaction.
- c) Oscillatory Exchange Coupling.  
- Long-range oscillation in exchange coupling in 2D magnetic nanostructure.

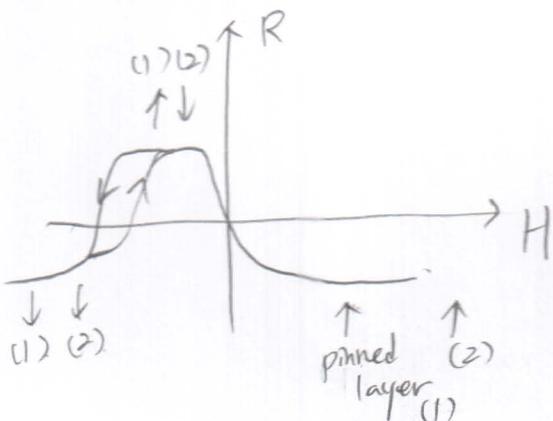
이 경우, Cr 두께에 따라 두 ferromagnetic 층간의 domain의 자화 방향이 parallel, anti-parallel 이 반복적으로 변해 간다.



7 a) spin valves

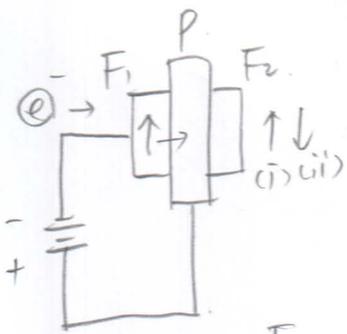


아래 NiFe는 pinned layer.  
(strong exchange coupling to FeMn layer)  
weaker exchange coupling between two ferromagnetic layer  
응용: Field sensor, Transistor 등.  
원리나 같은 저항변화가 생김.

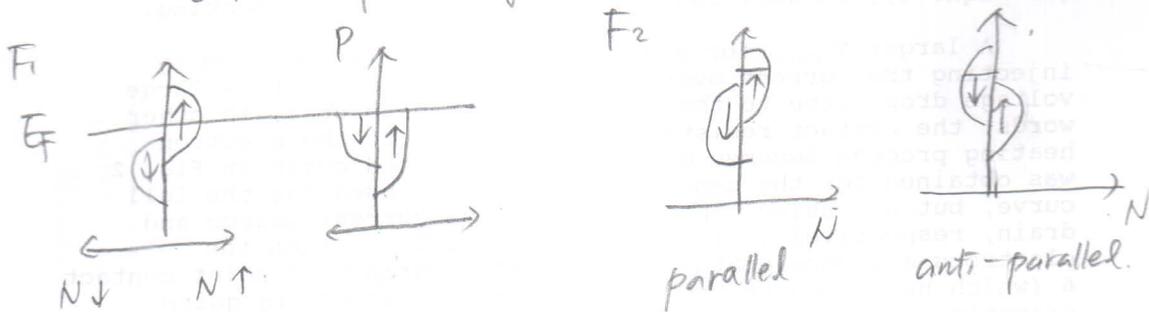


# Homework #1

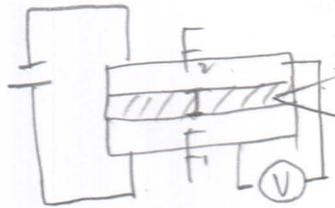
## 7) b) spin switches.



두개의 Ferro layer non-magnetic para layer 가  
 두께와 같은 두께로 되어 있을때  $F_1, F_2$  layer 의  
 자화 방향이 (i) parallel 한가 (ii) anti parallel  
 한가에 따라 layer 를 통과하는데 저항이 달라진다.



## c) Spin tunneling junction.



nonmagnetic spacer (insulator: oxide)

이 layer 가 충분히 얇을때 tunneling 이 의한  
 전류의 흐름이 발생한다. 이때, 두 ferro layer  
 $F_1, F_2$  의 spin 자화 방향이 parallel 한가  
 anti parallel 한가에 따라 저항비율이 생긴다.  
 parallel 한때 저항이 더 낮다.

