

anyagismeret

# Mágneses tulajdonságok

## Lágy- és keménymágneses anyagok

Dr. Mészáros István Attila

1

### Mágneses tér $\Leftrightarrow$ anyag kölsönhatás

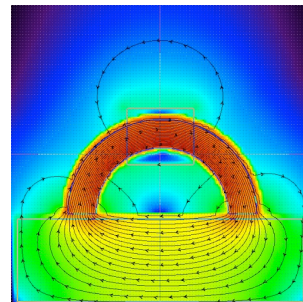
$$\bar{B} = \mu \bar{H}$$

$$\bar{B} = \mu_0 \mu_r \bar{H} = \mu_0 (\bar{H} + \bar{M})$$

$$\bar{M} = \kappa \bar{H} = \frac{1}{V} \sum \bar{P}_i$$

$$\mu_r = 1 + \kappa$$

Mágneses permeabilitás

 Mágneses szuszceptibilitás  
(érzékenység)


$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$$

$$B \left[ \frac{Vs}{m^2} = T \right]$$

$$H \left[ \frac{A}{m} \right]$$

2

2

# Mágneses anyagok csoportosítása

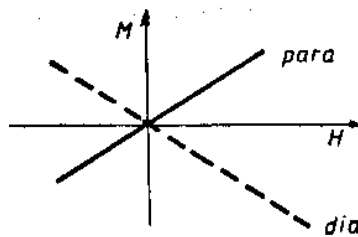
## Gyengén mágneses anyagok

**Dia** (lezárt elektronhéj)  $\kappa < 0$  ( $\approx 10^{-5}$ ) Univerzális tulajd.  
(Au, Pt, Ag, Si, Cu, Zn, Cd ...)

**Para** (legalább egy páratlan elektron)  $\kappa > 0$  ( $10^{-3} - 10^{-5}$ )  
(Mg, Al, Ti, W...)

**Antimágnes**

**Mágnesezési görbék**

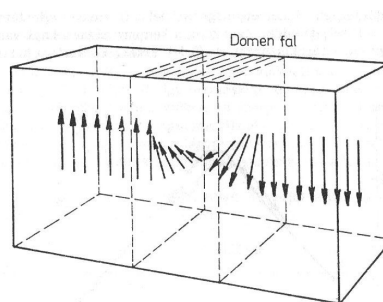


3

3

## Rendezett mágneses szerkezetű anyagok

**Domén szerkezet**



Egyensúlyi állapotban, a domének mágnesezettsége  
valamelyik könnyű mágnesezési irányba mutat.  $\Rightarrow$   
doménfalak típusai

Fe [100]  $\Rightarrow$   $90^\circ$  és  $180^\circ$  doménfalak

4

4

## Rendezett mágneses szerkezetű anyagok típusai

**Ferro** ↑↑↑↑ (Fe, Co, Ni, Gd), ötvözetek, Heussler (Mn, Cr)

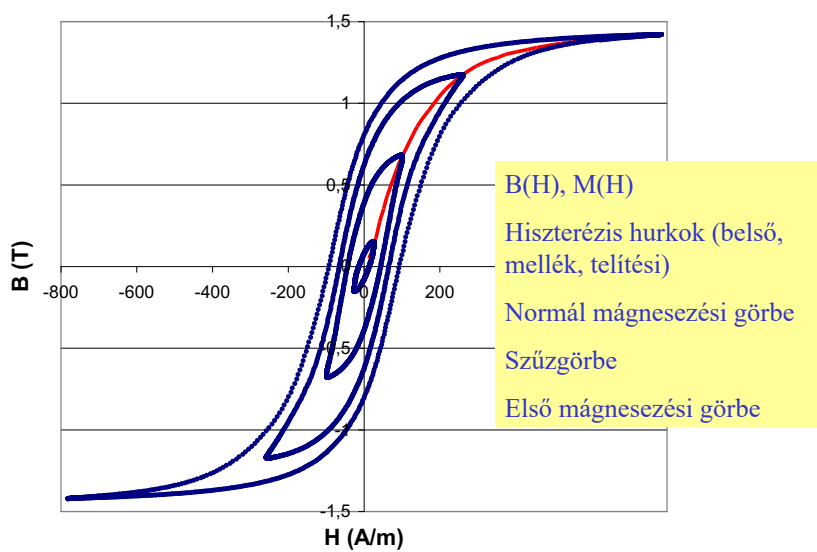
**Antiferro** ↑↓↑↓ (Cr, Mn)

**Ferri** ↑↓↑↓ (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, CrO<sub>2</sub>, ErO,  
NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, BaOFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Y<sub>3</sub>FeO<sub>12</sub>, MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ...)

5

5

## Alapvető mágnesezési görbék



6

6

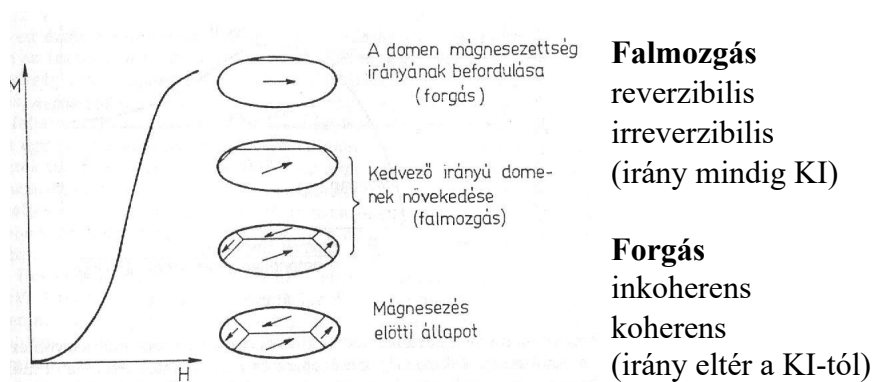
## Hiszterézis görbéből származtatott fontosabb jellemzők

Telítési indukció ( $B_M$ )		Fe	2,15 T
Telítési polarizáció ( $\mu_0 M_s$ )		Ni	0,62 T
Remanens indukció ( $B_R$ )		Co	1,8 T
Koercitív tér ( $H_c$ )			
Permeabilitások ( $\mu_r$ ): kezdő, maximális, differenciális			
Jósági szám ( $BH$ ) <sub>max</sub>			
Szögletességi tényező $B_R/B_M$			
Veszteségi tényező			

7

7

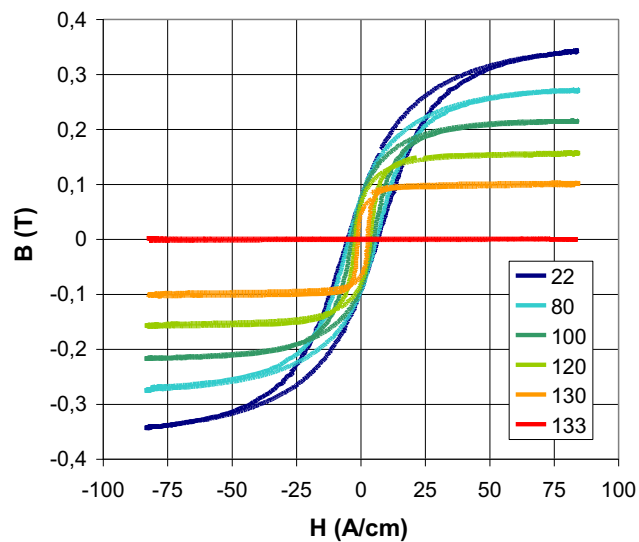
## Az átmágnesezési folyamat kinetikája



8

8

**MnZn ferrit hiszterézis görbéjének hőmérsékletfüggése**  
**Curie hőmérséklet: 133 °C**



9

9

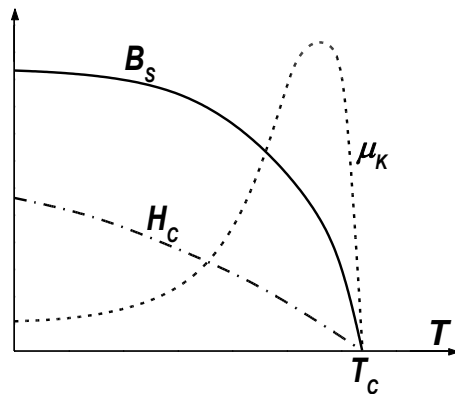
**Néhány ferromágneses anyag Curie-hőmérséklete**

Fe	770	°C
Co	1121	°C
Ni	368	°C
Gd	20	°C

10

10

## Mágneses tulajdonságok hőmérsékletfüggése (ferromágnes)



Ferro  $\Leftrightarrow$  Para

Curie-hőmérséklet

Reverzibilis, végtelenszer  
ismételhető

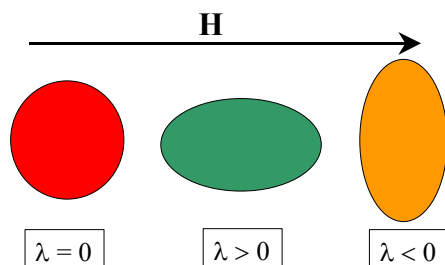
11

11

## Magnetostrikció, magnetoelaszticitás

Mágneses tér hatására történő méretváltozás.

$\lambda$  a telítéshez tartozó érték ( $50-100 \cdot 10^{-6}$ )



Fe  $\lambda > 0$ , Ni  $\lambda < 0$

ultrahang generátor  
transzformátor zúgása

$$\lambda_{\text{térfogati}} = \frac{\Delta V}{V}$$

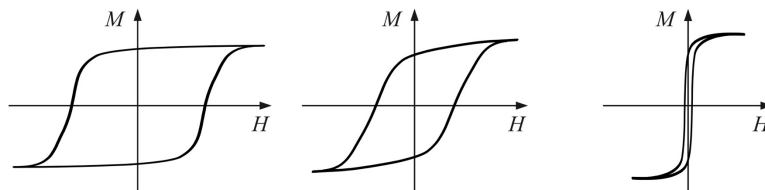
$$\lambda_{\text{lineáris}} = \frac{\Delta l}{l}$$

Pl: 1 m hosszú  
 $\lambda = 100 \cdot 10^{-6}$   
Méretváltozás:  $\approx 0,1 \text{ mm}$

12

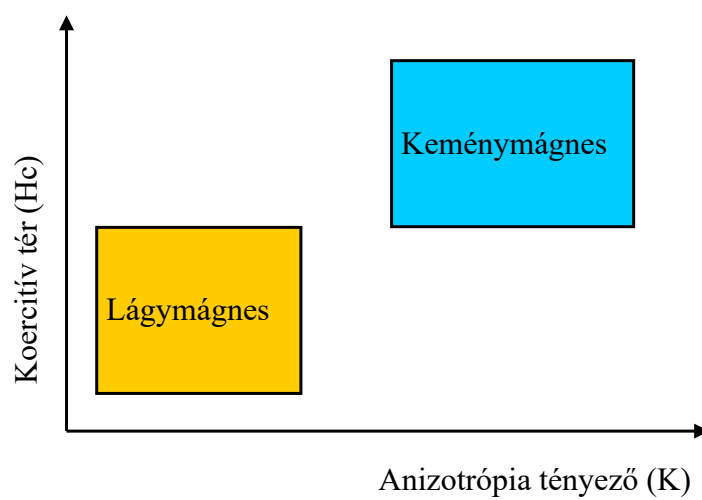
12

## A műszaki alkalmazások lágymágneses és keménymágneses anyagai



13

13

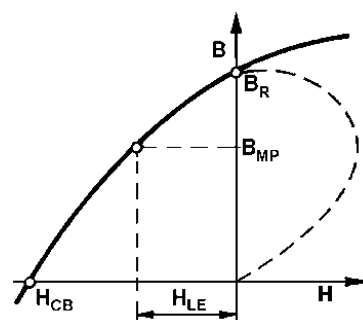


14

14

## Felhasználói igények a keménymágneses anyagoknál

$B_M$	Nagy
$B_R$	Nagy
$(BH)_{max}$	Nagy
Hiszterézis terület	Nagy
$400 \text{ A/cm} < H_C < 9000 \text{ A/cm}$	



Keménymágnes jelleggörbe

15

15

## Keménymágnesek jellegzetes felhasználási területei

Légzésben előírt indukció keltése / fenntartása.

Drága, sokszor alakíthatatlan.

### Híradástechnika:

hangszórók, mikrofonok, mikrohullámú eszközök

### Méréstechnika:

galvanométerek

### Mechanikai mozgatás, rögzítés:

DC motorok, emelő mágnesek

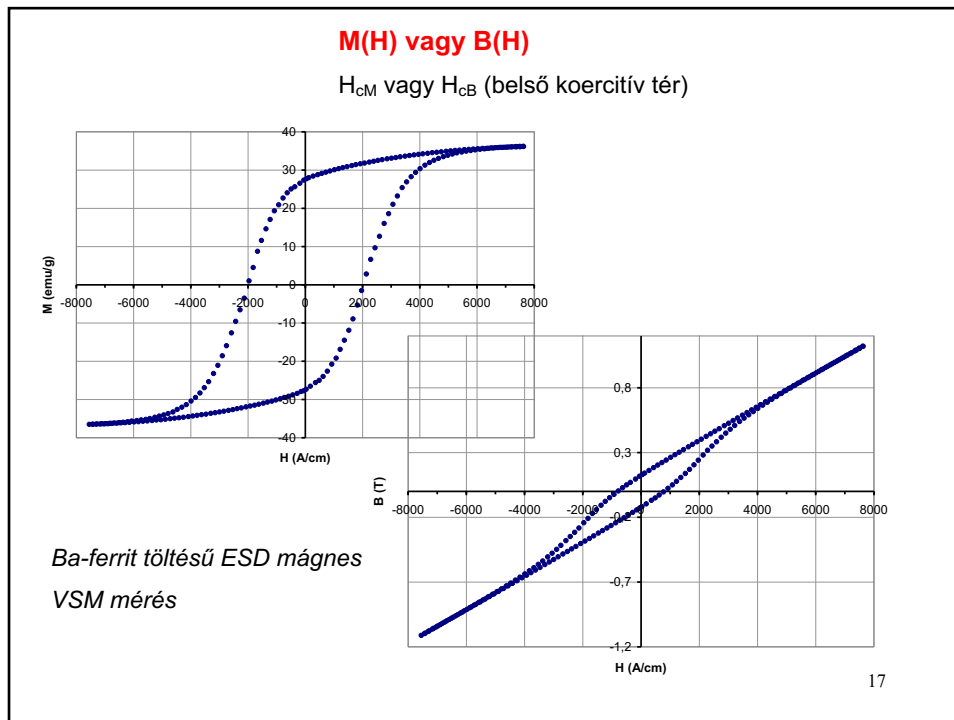
### Mágneses információ tárolás:

magnó, videó, floppy, merevlemez

16

16





17

## Fe - Al - Ni – Co ötvözetek Alnico

Domen méretű ferromágneses fázis nem mágneses „kvázi-domenfallal elválasztva. + alakizotrópia

$H_c \approx 300-500 \text{ A/cm}$

550 °C hőmérsékletig alkalmazható

Kitűnő termikus stabilitás

Rideg  $\Rightarrow$  öntés, porkohászat

Izotróp, anizotróp



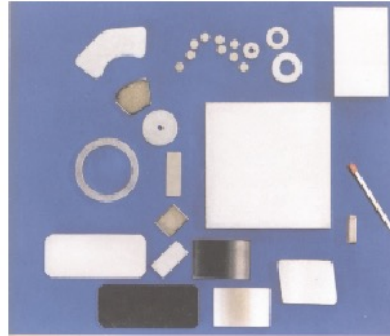
18

18

## Ritkaföldfém mágnesek

- Ritkaföldfém (Sm, Nd)
- Előtvözet, őrlés, sajtolás (izosztatikus, mágnesteres), hőkezelés
- Gyémánttárcsás vágás

$H_C = 4000 - 9000 \text{ A/cm}$



Shapes of permanent magnets made of VACODYM and VACOMAX

19

19

## SmCo Samárium-Kobalt

$\text{SmCo}_5$  ill.  $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$  összetételű intermetallikus vegyületek

Porkohászat

Hexagonális szerkezet  $\Rightarrow$  nagy kritályanizotrópia

$H_C = 4000 - 7000 \text{ A/cm}$

Rideg, törékeny

Drága

20

20

## Vas-Bór-Neodímium Fe-B-Nd mágnesek

Olcsóbb mint a SmCo  
Kevésbé törékeny  
 $H_C = 4000 - 9000 \text{ A/cm}$

$\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  ferromágneses fázis  
(tetragonális rács)  
Korrodál (galvanikus Ni, Zn, polimer  
bevonat)  
Max. üzemi hőmérséklet:  $80-180 \text{ }^\circ\text{C}$



21

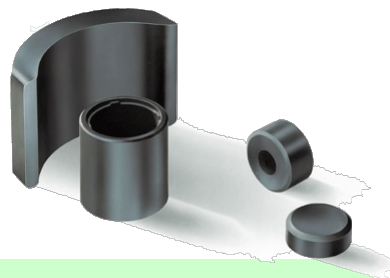
21

## Kemény ferritek (Hexagonális ferritek)

**Nemfémes mágnesek, kerámiák**

Báriumferrit  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$

Stronciumferrit  $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$



$B_S$  kicsi (max.  $0,46-0,47 \text{ T}$ )

$H_C$  nagy ( $1300-2500 \text{ A/cm}$ )  $\leftarrow$  Nagy egytengelyű anizotrópia

Rideg, törékeny, alakíthatatlan (köszörülés)

Curie hőmérséklet alacsony  $\Rightarrow$  prec. felhasználás nincs

Olcsó

22

22

## **ESD mágnesek**

### Elongated Single Domain

Hosszú, egydomén méretű szemcsék  
(CuNiFe, MnBi, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Báriumferrit, Stronciumferrit...)

Kötőanyag (műanyag, gumi, alacsony op. fém)



23

## Lágymágnesek jellegzetes felhasználási területei

- Fluxusvezető elemek
- Mágnesárnyékolások

### **Elektromechanikus eszközök:**

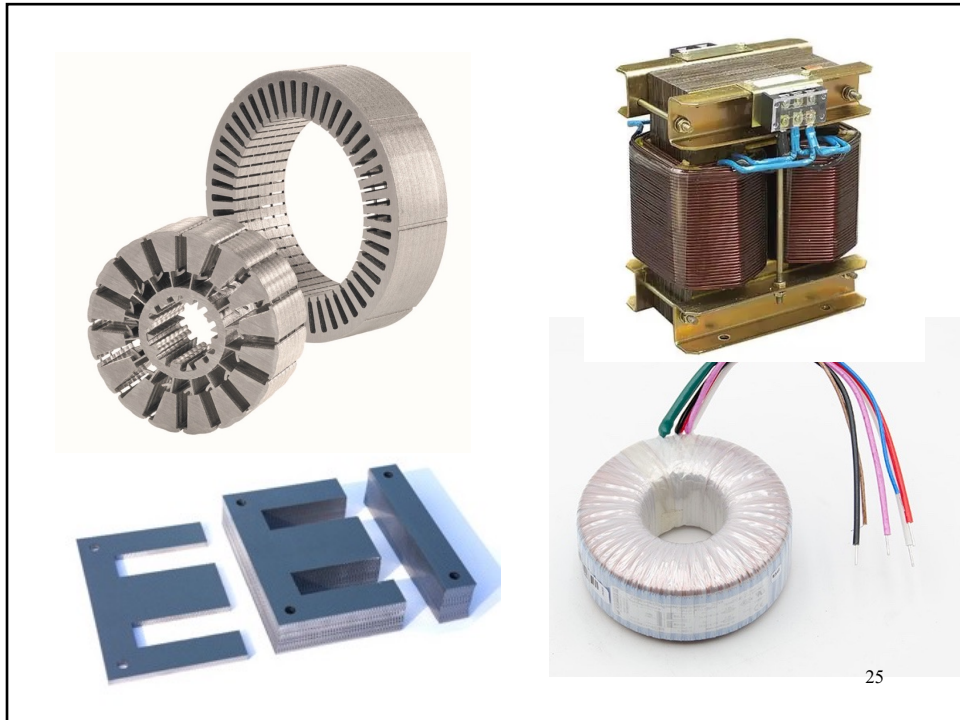
Emelő, mozgató mágnesek, relék, mágneskapcsolók

### **Elektromágneses indukció alapján működő eszközök:**

Transzformátorok, fojtók, generátorok, motorok, leválasztó elemek

24

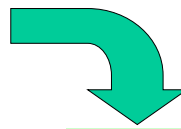
24



25

## Felhasználói igények a lágymágneses anyagoknál

$B_M$	Nagy
$\mu$	Nagy
$0,01 \text{ A/cm} < H_C < 1 \text{ A/cm}$	
Fajlagos ellenállás	Nagy
Curie-hőmérséklet	Nagy
Alakíthatóság	Nagy
Veszteség	Kicsi
Hiszterézis terület	Kicsi



Tiszta fémek és  
homogén szilárd  
oldatok.  
Ötvözetek jobbak.

Mechanikai keménység  $\leftrightarrow$  Mágneses keménység

26

26

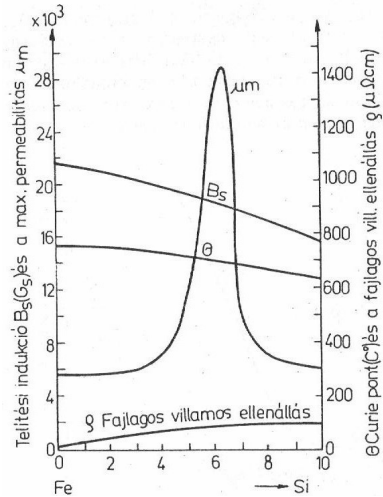
## Fe - Si ötvözetek (lemez)

Erősáramú alkalmazás (nagy H, kis f)  
 Tranzformátor, dinamó-lemez  
 (0,2 - 1 mm)  
 Si hatása: csökkenti az anizotrópiát

Optimum: 6,8 % Si **rideg, kemény**  
 Tranzformátor: 4-4,5 % Si  
 Dinamó: 3,2-3,6 % Si

Interstíciós ötvözők: C, N, O, P, Mn, S  
 Maradó feszültség

Goss, kocka textúra

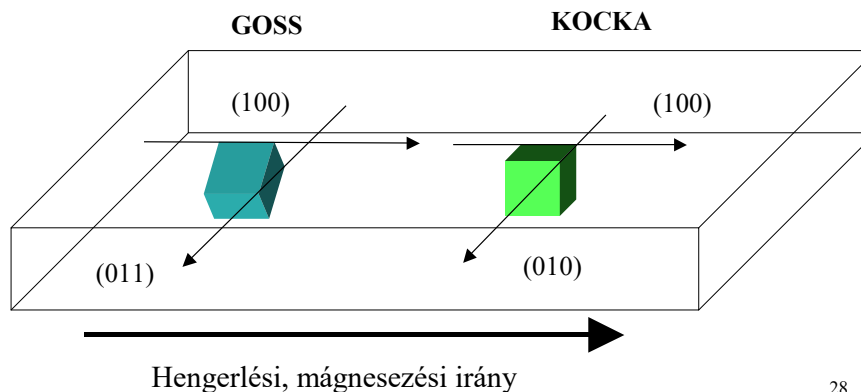


27

27

## Textúrált Fe - Si lemezek

Külső H párhuzamos valamelyik könnyű mágnesezési iránnyal  
 Hengerlés  $\Rightarrow$  szemcse orientáció  $\Rightarrow$  anizotróp, textúrás szerkezet  
**Mágnesezési irány meghatározott !**



28

28

## Fe - Ni ötvözetek (Permalloy)

80% Ni - 20% Fe

Kis telítési indukció (1,2 T)

Nagy permeabilitás (20.000 - 70.000)

Kis veszteség

**Ni<sub>3</sub>Fe rendezett rács** (75% Ni, 500 °C) megakadályozandó !  
**Alakítás** rendkívül sokat ront a tulajdonságokon.

Lágyítás (900-1000 °C, 1h), gyors hűtés,  
feszültségmentesítés (600 °C), gyors hűtés

mágnes téres hőkezelés

29

29

## Amorf – nanokristályos ötvözetek

Vékony szalagok (0,02-0,05 mm)

Eutektikus összetétel

Átmeneti fém (Fe, Ni, Co)

Nem fémes ötv.: (Si, P, N, C, B)

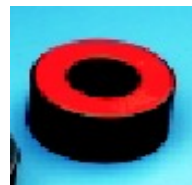
Gyorchűtés ( $10^5$  °C/sec)

Harold Liebermann (1976)

Finemet: Fe<sub>74</sub>Cu<sub>1</sub>Nb<sub>3</sub>Si<sub>15</sub>B<sub>7</sub>

40-50 Vol% nanokristályos fázis

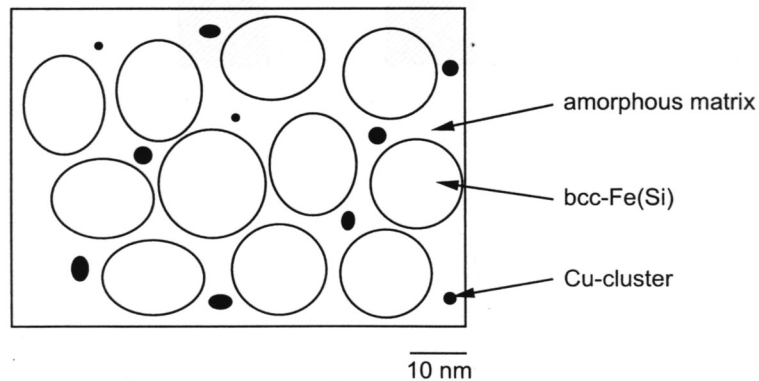
Fe, Ni, Co alapú  
amorf ötvözetek



30

30

## Nanokristályos állapot „szövetszerkezete”



31

31

## Lágy ferritek, gránátok

**Kerámia mágnes (Köbös spinel, Ferrimágneses rend)**

⇒ Porkohászati technológia

⇒ Rideg, törékeny, nem alakítható (kösörülés)

⇒ Szigetelő (rossz félvezető) ⇒ nagy frekvenciás alkalmazások

**$\text{MOFe}_2\text{O}_3$  FERRIT**

(M kétvegyértékű fém: Mn, Zn, Ni)

Fe momentumok kompenzálják egymást ⇒  $B_s$  kicsi

**$3\text{M}_2\text{O}_35\text{Fe}_2\text{O}_3$  GRÁNÁT**

(M kétvegyértékű ritkaföldfém: Sm, Eu, Gd)

Ittrium ötvözes → YIG

32

32