

Anyagismeret

Mágneses tulajdonságok

Lágy- és keménymágneses anyagok

Dr. Mészáros István Attila

1

Mágneses tér $\Leftrightarrow$ anyag kölsönhatás

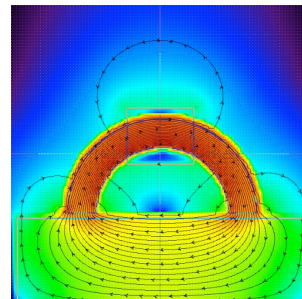
$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

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

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

$$\mu_r = 1 + \kappa$$

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

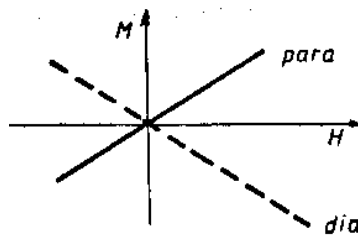
Gyengén mágneses anyagok

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

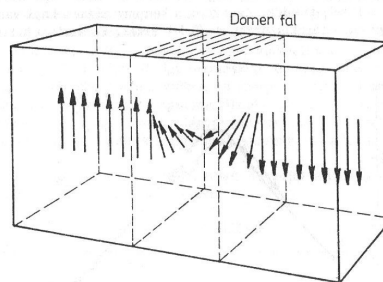


3

3

Rendezett mágneses szerkezetű anyagok

Domén szerkezet



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

Fe [100] $\Rightarrow$ 90° és 180° doménfalak

4

4

Rendezett mágneses szerkezetű anyagok típusai

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

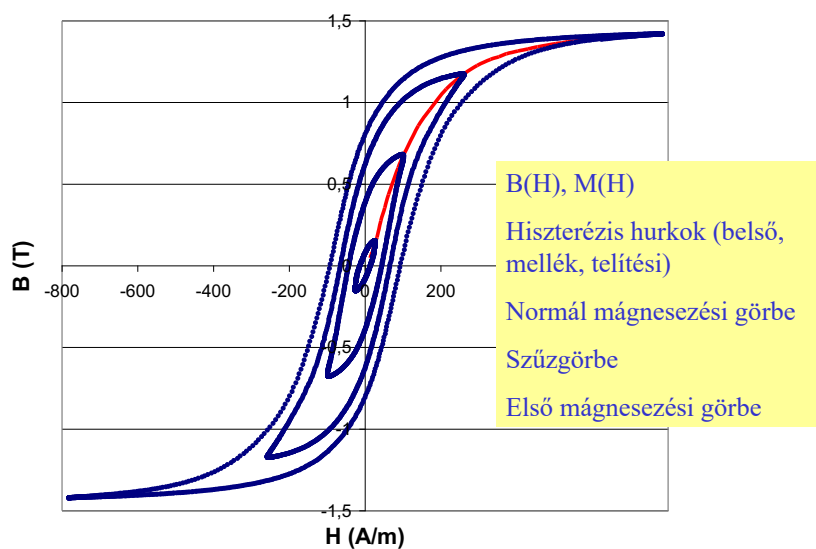
Antiferro ↑↓↑↓ (Cr, Mn)

Ferri ↑↓↑↓ (Fe₃O₄, CrO₂, ErO,
NiFe₂O₄, BaOFe₂O₃, Y₃FeO₁₂, MnFe₂O₄ ...)

5

5

Alapvető mágnesezési görbék



6

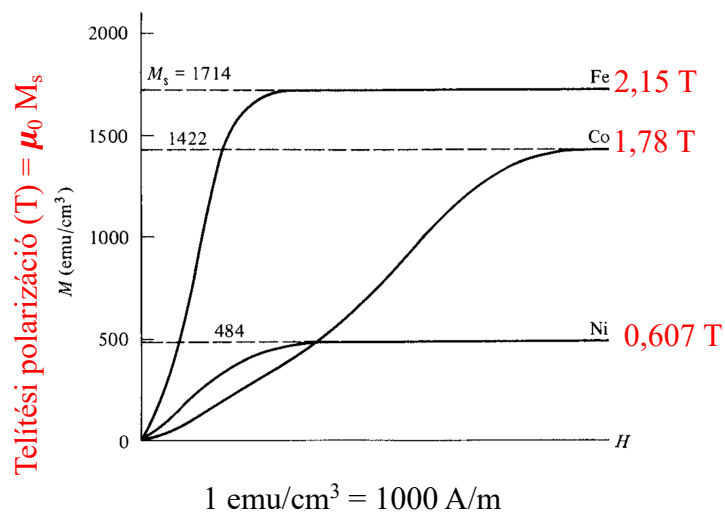
6

Hiszterézis görbéből származtatott fontosabb jellemzők

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

7

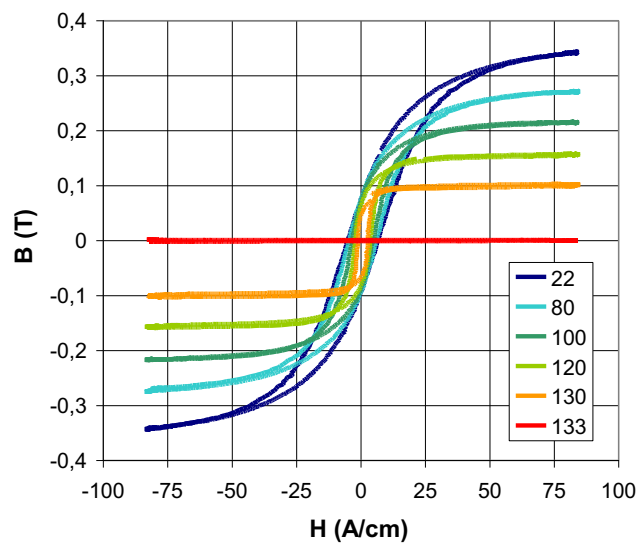
7



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

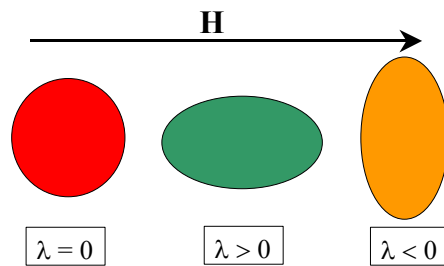
10

10

Magnetostríkción, magnetoelaszticitás

Mágneses tér hatására történő méretváltozás.

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



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

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

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

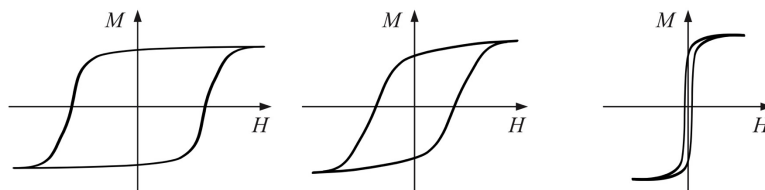
ultrahang generátor
transzformátor zúgása

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

11

11

A műszaki alkalmazások lágy- és keménymágneses anyagai

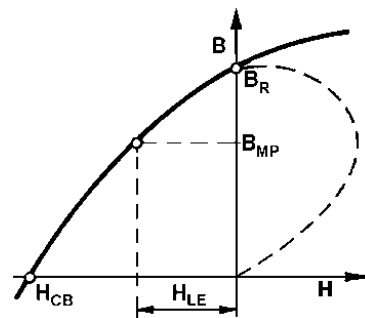


12

12

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

13

13

Keménymágnesek jellegzetes felhasználási területei

Légrésben előírt indukció keltése / fenntartása.

Drága, sokszor alakíthatatlan.

Híradástechnika:

hangszórók, mikrofonok, mikrohullámú eszközök

Méréstechnika:

galvanométerek

Mechanikai mozgítás, rögzítés:

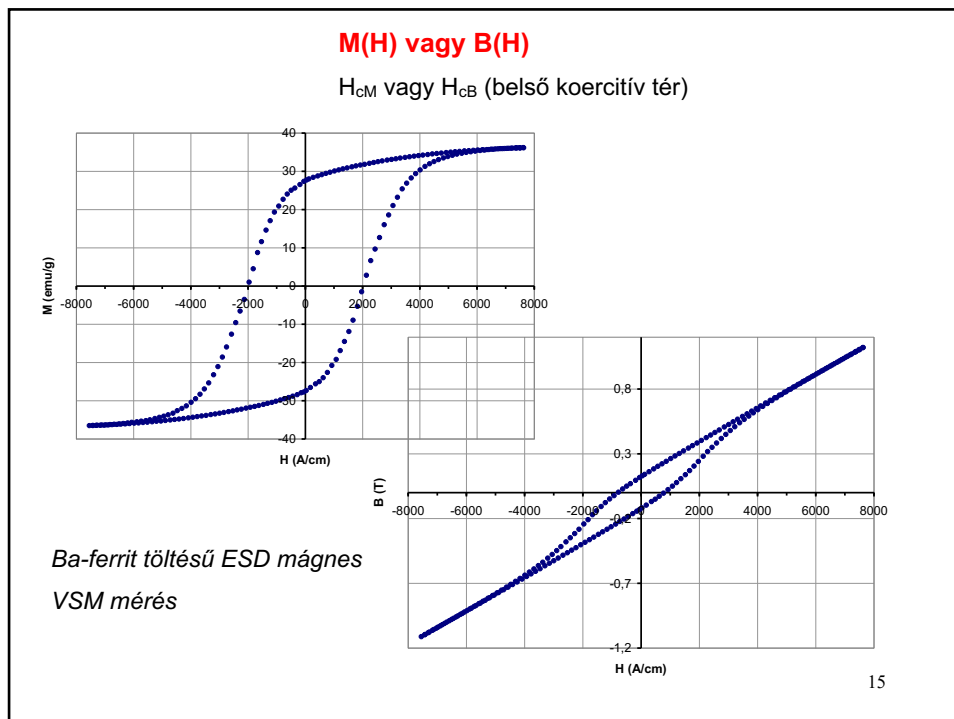
DC motorok, emelő mágnesek

Mágneses információ tárolás:

magnó, videó, floppy, merevlemez

14

14



15

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



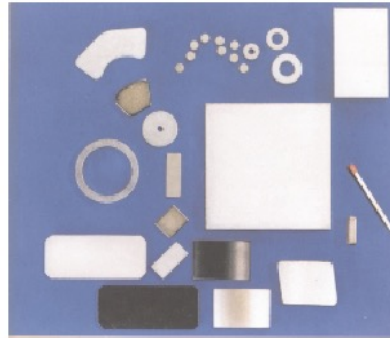
16

16

Ritkaföldfém mágnesek

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

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



Shapes of permanent magnets made of VACODYM and VACOMAX

17

17

SmCo Samárium-Kobalt

SmCo_5 ill. $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ összetételű intermetallikus vegyületek

Porkohászat

Hexagonális szerkezet $\Rightarrow$ nagy kritáyanizotrópia

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

Rideg, törékeny

Drága

18

18

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: $80-180^\circ\text{C}$



19

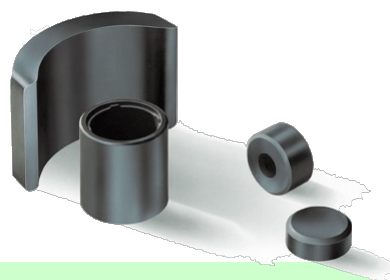
19

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

20

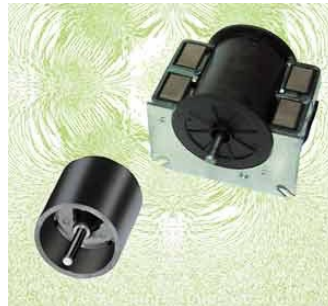
20

ESD mágnesek

Elongated Single Domain

Hosszúkas, egydomén méretű szemcsék
(CuNiFe, MnBi, Fe_3O_4 , Báriumferrit, Stronciumferrit...)

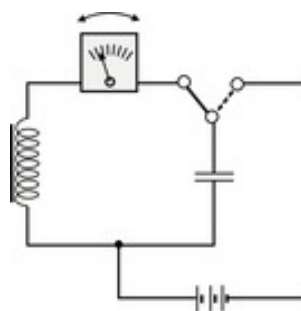
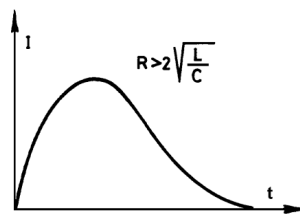
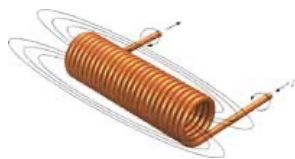
Kötőanyag (műanyag, gumi, alacsony op. fém)



21

21

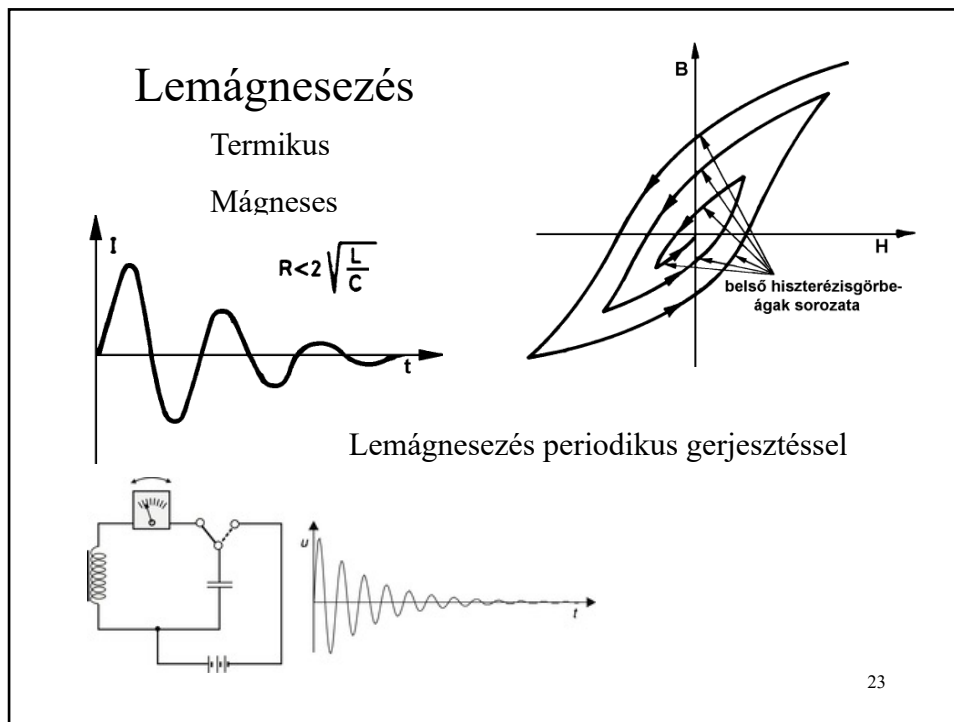
Fel- és lemágnesezés



Felmágnesezés aperiodikus gerjesztéssel

22

22



23

Lágymágnesek jellegzetes felhasználási területei

- **Fluxusvezető elemek**
- **Mágnes tér árnyékolások**

Elektromechanikus eszközök:
Emelő, mozgató mágnesek, relék, mágneskapcsolók

Elektromágneses indukció alapján működő eszközök:
Transzformátorok, fojtók, generátorok, motorok, leválasztó elemek

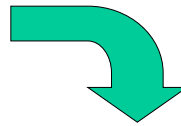
24

24

Felhasználói igények a lágymágneses anyagoknál

B_M Nagy
 μ Nagy
 $0,01 \text{ A/cm} < H_C < 1 \text{ A/cm}$

Fajlagos ellenállás Nagy
 Curie-hőmérséklet Nagy
 Alakíthatóság Nagy
 Veszteség Kicsi
 Histerézis terület Kicsi



Tiszta fémek és
homogén szilárd
oldatok.
 Ötvözetek jobbak.

Mechanikai keménység $\Leftrightarrow$ Mágneses keménység

25

25

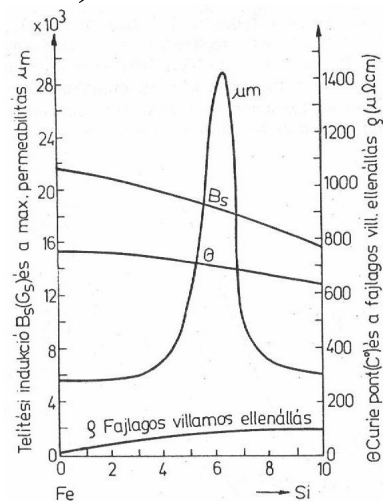
Fe - Si ötvözetek (lemez)

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

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

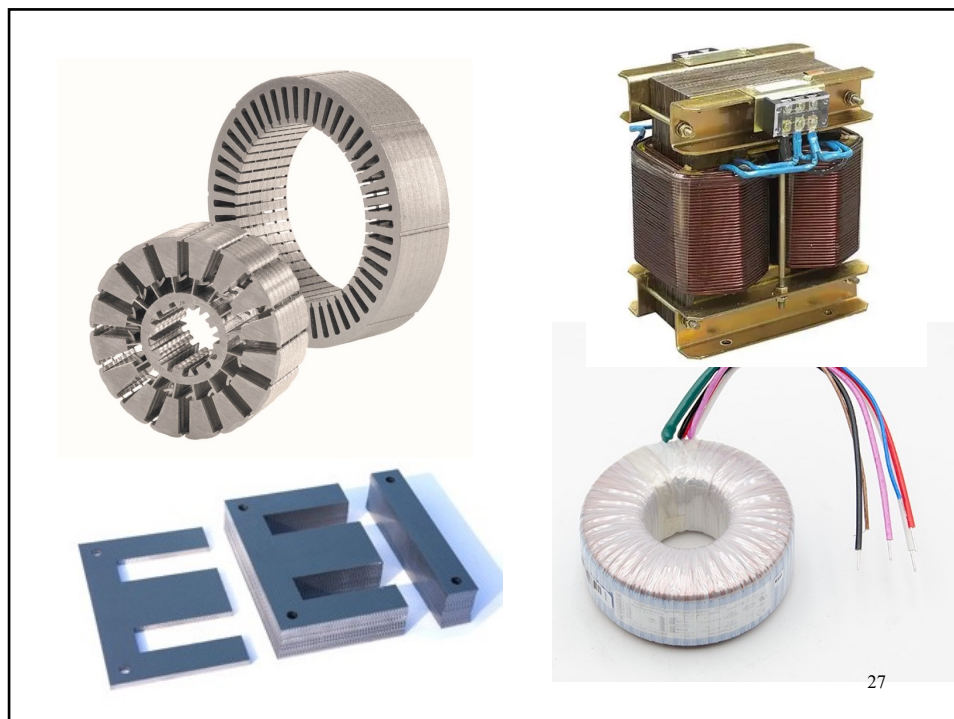
Interstíciós ötvözők: C, N, O, P, Mn, S
 Maradó feszültség

Goss, kocka textúra



26

26



27

Fe - Ni ötvözetek (Permalloy)

80% Ni - 20% Fe

Kis telítési indukció (1,2 T)

Nagy permeabilitás (20.000 - 70.000)

Kis veszteség

Ni₃Fe 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

mágnestéres hőkezelés

28

28

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: $\text{Fe}_{74}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{15}\text{B}_7$

40-50 Vol% nanokristályos fázis

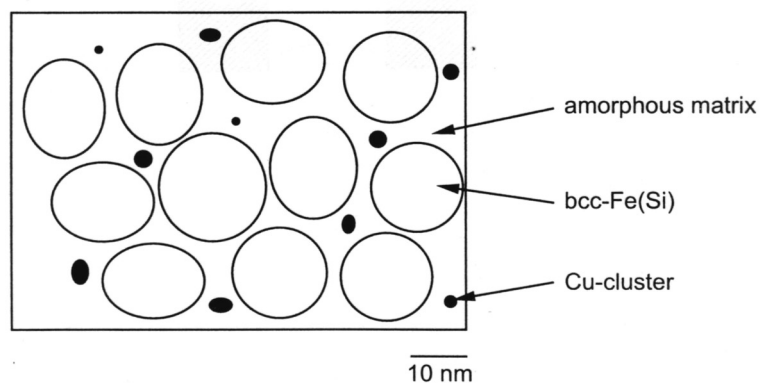
Fe, Ni, Co alapú
amorf ötvözetek



29

29

Nanokristályos állapot „szövetszerkezete”



30

30

Lágy ferritek, gránátok

Kerámia mágnes (Köbös spinel, Ferrimágneses rend)

⇒ Porkohászati technológia

⇒ Rideg, törékeny, nem alakítható (kőszörülés)

⇒ Szigetelő (rossz félvezető) ⇒ nagy frekvenciás alkalmazások

MOFe_2O_3

FERRIT

(M kétvegyértékű fém: Mn, Zn, Ni)

Fe momentumok kompenzálják egymást ⇒ B_s kicsi

$3\text{M}_2\text{O}_3\cdot 5\text{Fe}_2\text{O}_3$

GRÁNÁT

(M kétvegyértékű ritkaföldfém: Sm, Eu, Gd)

Ittrium ötvözés → YIG

31

31



32