



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZCJA W KRAKOWIE

NAUKA O MATERIAŁACH

**Wykład XIII:
Właściwości magnetyczne**

JERZY LIS
Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki



Treść wykładu:

Treść wykładu:

1. Wprowadzenie
2. Rodzaje magnetyzmu
3. Przyczyny powstawania momentu magnetycznego
4. Ferromagnetyki
5. Ferryty
 - a) Struktura
 - b) Mikrostruktura a właściwości





Wprowadzenie

Oddziaływanie pola magnetycznego na materiał



Zachowanie materiału w polu magnetycznym znajduje zastosowanie w wielu materiałach funkcjonalnych

AGH WŁAŚCIWOŚCI MAGNETYCZNE

Indukcja magnetyczna

Wiadomości wstępne



Prąd przepływający w obwodzie zamkniętym lub trwały magnes wytwarza pole magnetyczne
 W materiale znajdującym się w polu magnetycznym indukowane jest wewnętrzne pole magnetyczne mierzone wielkością indukcji magnetycznej **B**

AGH WŁAŚCIWOŚCI MAGNETYCZNE

Indukcja magnetyczna

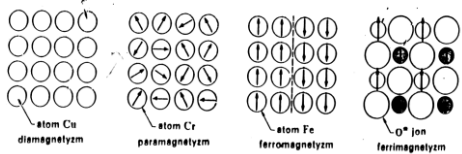
Wiadomości wstępne

$B = \mu \cdot \mu_0 \cdot H$
 $B = \mu_0 H + M = \mu_0 H + \chi_m \mu_0 H = \mu_0 H (1 + \chi_m)$

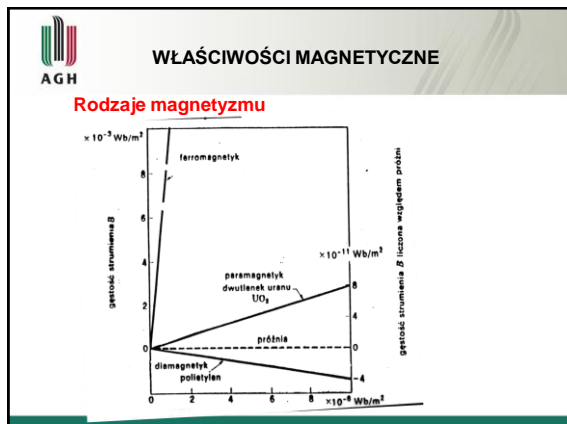
Gdzie:
 μ – przenikalność magnetyczna materiału
 μ_0 – przenikalność magnetyczna próżni
 H – natężenie pola magnetycznego
 B – indukcja magnetyczna
 M – namagnesowanie
 χ_m – podatność magnetyczna materiału

AGH WŁAŚCIWOŚCI MAGNETYCZNE

Rodzaje magnetyzmu



Diamagnetyki – każdy atom ma zerowy moment magnetyczny (np. Cu)
Paramagnetyki – momenty magnetyczne są zorientowane przypadkowo i się znoszą (np. Cr)
Ferromagnetyki – momenty magnetyczne są uporządkowane wewnątrz każdej domeny (np. Fe)
Ferrimagnetyki – istnieją podstruktury posiadające zorientowane jednakowo i różnicowane momenty magnetyczne (np. spinele)



WŁAŚCIWOŚCI MAGNETYCZNE

AGH

Przyczyny powstawania momentu magnetycznego

- Momenty magnetyczne orbitalne**
Krażące po orbitach (model) elektrony wywołują momenty magnetyczne
 $m_{\text{orb}} = (-e/2m_e)I$ I – moment pędu elektronu
Moment magnetyczny orbitalny jest skwantowany
 $M_{\text{orb}} = -m_B L$ $m_B = (h/2\pi)(e/2m_e)$ – magneton Bohra $= 9,27 \times 10^{-24} \text{ J/T}$
- Momenty magnetyczne spinowe**
Spin elektronu (modelowo obrót wokół osi) wynosi:
 $m_{\text{sp}} = -2m_B S$ S – wypadkowy moment spinowy pędu elektronu
Efektywny (nieskompensowany) spinowy moment magnetyczny
 $m_{\text{e, sp}} = -2 m_B (S(S+1))^{1/2}$

WŁAŚCIWOŚCI MAGNETYCZNE

AGH

Przyczyny powstawania momentu

Jon	Moment w m_B	Konfiguracja	Niesparowane e	Moment
Gd^{3+}	0	$(\text{He})2s^2p^6$	0	0
Mg^{2+}	0	$(\text{He})2s^2p^6$	0	0
Mn^{2+}	5,9	$(\text{Ar})3d^5$	5	5,92
Fe^{2+}	5,4	$(\text{Ar})3d^6$	4	4,9
Fe^{3+}	5,9	$(\text{Ar})3d^5$	5	5,92
Ni^{2+}	3,2	$(\text{Ar})3d^8$	2	2,83
Zn^{2+}	0	$(\text{Ar})3d^{10}$	0	0
Ce^{3+}	2,4	$(\text{Xe})4f^7 5s^2 p^6$	1	2,54
Nd^{3+}	3,5	$(\text{Xe})4f^7 5s^2 p^6$	3	3,5

Nieskompensowane wypadkowe momenty magnetyczne występują w materiałach w których orbitale uczestniczące w wiązaniach nie są w pełni obsadzone czyli dla pierwiastków i kationów metali grup przejściowych i ziem rzadkich.
Nieskompensowane momenty magnetyczne zależą od momentów spinowych.

WŁAŚCIWOŚCI MAGNETYCZNE

Ferro i ferrimagnetyki

- Przykładem ferromagnetyków są żelazo, kobalt, nikiel, pierwiastki ziem rzadkich
- Ferromagnetyki posiadają wysokie wartości nieskompensowanych momentów magnetycznych a w ich kryształach w niskich temperaturach, poniżej tzw. temperatury Curie powstają obszary posiadające wypadkowy silny moment magnetyczny – domeny
- pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego następuje porządkowanie domen wskutek ich obrotu i rozrostu
- w temperaturach powyżej temperatury Curie efekt ten zanika
- charakterystyczne stałe materiałowe ferromagnetyków: przenikalność magnetyczna początkowa, indukcja nasycenia, pole koercji (energia rozmagnesowania)

WŁAŚCIWOŚCI MAGNETYCZNE

Ferromagnetyki

Krzywe histerezy ferromagnetyków „miękkich” i „twardych”

WŁAŚCIWOŚCI MAGNETYCZNE

Ferryty

Materiały tlenkowe zawierające jony Fe^{+3} posiadające właściwości ferrimagnetyków

Typy struktur:
 - Spinelu – MFe_2O_4
 - Granatu – $Y_3Fe_5O_{12}$
 - Magnetoplumbitu – $MeFe_{12}O_{13}$

Przykład – spinel manganowo żelazowy

AGH WŁAŚCIWOŚCI MAGNETYCZNE

Ferryty

- > Struktura spinelu zbudowana jest z gęsto upakowanych anionów tlenu
- > Kationy znajdują się w lukach tetraedrycznych (A) lub oktaedrycznych (B)
- > Zapis $A[B]_2O_4$ np.. $Fe^{3+}[Mn^{2+}Fe^{3+}]O_4$
- > Kationy znajdujące się w różnych lukach oddziałują ze sobą poprzez jony tlenu tzw. A-O-B wymiana kwantowo-mechaniczna
- > Spiny tych samych kationów (Fe^{3+}) się znoszą natomiast Mn^{2+} pozostają niesparowane

AGH WŁAŚCIWOŚCI MAGNETYCZNE

Ferryty

**Spinele – ferryty miękkie
Granaty i magnetoplumbity – ferryty twarde**

Fig. 6.4. Struktura magnetoplumbitu. Długość osi c-ki – osiowy drzewiec; duże kółka – jony Mg^{2+} ; małe kółka – jony Fe^{3+} ; jony Fe^{2+} ; strzałki pokazują orientację momentu magnetycznego.

AGH WŁAŚCIWOŚCI MAGNETYCZNE

Ferryty

Wzór ferrytu	$T_C, ^\circ C$
Ferryty o strukturze spinelu:	
$Fe^{3+}[Fe^{3+}Fe^{3+}]O_4$	574-587
$Fe^{3+}[Ni^{2+}Fe^{3+}]O_4$	583
$Fe^{3+}_{0.7}Zn^{2+}_{0.3}[Ni^{2+}_{0.7}Fe^{3+}_{1.3}]O_4$	435
$Fe^{3+}_{0.5}Zn^{2+}_{0.5}[Ni^{2+}_{0.5}Fe^{3+}_{1.5}]O_4$	295
Ferryty o strukturze granatu:	
$Y^{3+}_3Fe^{3+}_5O_{12}$	550-575
$Y^{3+}_3Al^{3+}_2Fe^{3+}_4O_{12}$	370-550
Ferryty o strukturze magnetoplumbitu:	
$BaFe_{12}O_{19}$ (izotropowy)	450
$BaFe_{12}O_{19}$ (anizotropowy)	340

AGH

WŁAŚCIWOŚCI MAGNETYCZNE

Ferryty

Ferryty są polikryształami ceramicznymi otrzymywanymi drogą spiekania z proszków

Ich właściwości zależą zarówno od struktury: budowa krystaliczna i skład pierwiastkowy; jak i mikrostruktury: gęstość, porowatość, wielkość i kształt ziaren i porów



AGH

WŁAŚCIWOŚCI MAGNETYCZNE

Ferryty

Właściwości wybranych ferrytów

Ferryty magnetyczne:	miękkie		twarde	
	MnZn ₂ Fe ₂ O ₄	Ni ₂ Zn ₂ Fe ₂ O ₄	Y ₃ Fe ₂ O ₁₂	BaFe ₁₂ O ₁₉
Przenikalność początkowa μ_{s0}	przy 1 kHz 6000-20000	500-1800		
	przy 5 MHz 500	400-450		0,21±0,41
Pole koercji H_c	[A/m] 1,6-3,2	15-60	120	200000
Temperatura Curie T_c	[°C] 105	80-250	200	340
Rezystywność ρ w 20°C	[Ω m] 0,003-0,005	$1 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^6 - 1 \cdot 10^8$	
Indukcja nasycenia B_s	[T] 0,4-0,5	0,3-0,4	0,18	0,35-0,48

AGH

WŁAŚCIWOŚCI MAGNETYCZNE

Niektóre zastosowania i wymagane właściwości ferrytów

Zastosowania	Wartości podstawowych parametrów		Przykładowe ferryty
	miękkie	wysokie	
Magnesy trwałe	H_c, B_r, B_s		SrFe ₁₂ O ₁₉ , BaFe ₁₂ O ₁₉
Główce do zapisu magnetycznego	μ_s, B_r, ρ		Ni ₂ Zn ₂ Fe ₂ O ₄
Różnice anten ferrytowych	μ_s		Mn ₂ Zn ₂ Fe ₂ O ₄
Przewodniki na tony magnetyczne do zapisu czynniki audio, wideo i cyfrowych	B_s		γ -Fe ₂ O ₃ , CeO ₂
Fazy i pęcherzyki	B_s, T_c		Y ₃ Gd ₆ O ₁₉ Fe ₃ Fe ₁₂ O ₁₂
Różnice cewek indukcyjnych dla średnich częstotliwości	μ_s		Mn ₂ Zn ₂ Fe ₂ O ₄
Różnice cewek indukcyjnych dla wysokich częstotliwości	μ_s, ρ		Ni ₂ Zn ₂ Fe ₂ O ₄ , BaFe ₁₂ O ₁₉
Elementy urządzeń mikrofalowych (<10 ³ MHz)	B_s, ρ		ferryty o strukturze magnetycznej
Elementy urządzeń mikrofalowych (10 ³ MHz)	B_s, ρ		ferryty o strukturze splotu i granatu



AGH

NAUKA O MATERIAŁACH

**Dziękuję.
Do zobaczenia
za tydzień.**

JERZY LIS
Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki
