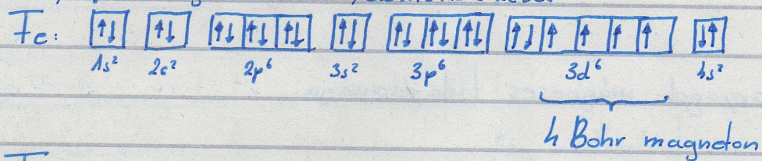


Rendezett mágneses szerkezetű anyagok

3d, 4f alhéj telítetlen, doménszerkezet



Ferro: egyirányban rendezett domén szerkezet $\uparrow\uparrow\uparrow$

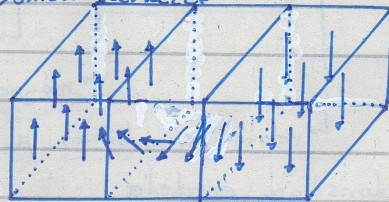
Fe, Co, Ni, Gd, ötvözetek: Heusler (Mn, Cr)

Antiferro: ellentétes rendezettség $\uparrow\downarrow\downarrow$, Cr, Mn

Ferri: $\uparrow\uparrow\downarrow$ egyirányban erősebb mágneses tér

Fe_3O_4, CrO_2, ErO

Domén szerkezet



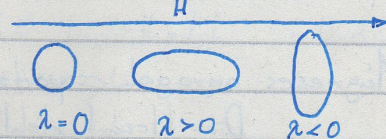
domain fal, Bloch fal, Barkhausen-zaj

Domén: telítésig mágnesezett tartomány

Magnetostríkción, magnetoelaszticitás

mágneses tér hatására történő méretváltozás

λ a telítéshez tartozó érték



ultrahang generátor, transzformátor zűgása

Doménfal vastagsága

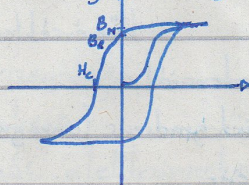
15-300 rácscellandó

Barkhausen-zaj

a domén falak mozgásából adódó hang

Histerézis:

Első mágnesezési görbe, szűz görbe, dinamikus hűzpgörbe



B_M , telítési indukció

B_R , remanens indukció

H_c , koercitív erő

$$W = \int B dH$$

$$W_{\text{histerézis}} = \oint B dH$$

$H_c < 1 \frac{A}{cm}$ Lágy mágnes (fluxus vezető, transzformátorban)

$400 \frac{A}{cm} < H_c < 10000 \frac{A}{cm}$ kemény mágnes

Mágnesek

Fe-Al-Ni-Co mágnesek

$$300 \frac{A}{cm} < H_c < 500 \frac{A}{cm}$$

550°C-os Currie-pont, termikus stabilitás

Ritka földfém mágnesek

Sm, Nd

$$4000 \frac{A}{cm} < H_c < 7000 \frac{A}{cm}$$

porkelettel készül, kemény

Sm-Co, a samárium nagyon ritka

$SmCo_5$, Sm_2Co_{17}

$$4000 \frac{A}{cm} - 7000 \frac{A}{cm}$$

250°C-os Currie-pont

ridge

Fe-B-Nd

porkelettel uton készül

80°C-180°C-os Currie-pont

$$7500 \frac{A}{cm} < H_c < 20000 \text{ Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$$

Kemény ferrit mágnesek (hexagonális szerkezet)

Ba, Sr

$BaFe_{12}O_{19}$, $SrFe_{12}O_{19}$

$$1300 \frac{A}{cm} < H_c < 2500 \frac{A}{cm}$$

Vezetési jelenségek:

Transzportfolyamatok fenomenológikus leírása

Termodinamikai hajtóerő: $F = U - T \cdot S$

Egyensúlyban levő rendszer esetén $\frac{\partial F_1}{\partial x} = \frac{\partial F_2}{\partial x}$

Töltéstranszport, külső E hatására $j = \sigma \text{ grad } U = \sigma E$

$$j = \sigma \cdot \text{grad } U - \frac{1}{q} \cdot \sigma \cdot \text{grad } W_F - \sigma \cdot S \cdot \text{grad } T$$

↳ Peltier-hatás, Seebeck-hatás
Hőmérséklet gradiens

↳ Kontakt potenciál

Fermi-szint gradiens (anyagminőség változás)

↳ Diffúziós Ohm törvény

Potenciál gradiens

Elektromos- és hővezetés kapcsolata

Franz-Wiedmann törvény

$$L = \frac{\kappa}{\sigma \cdot T} = 2,44 \cdot 10^{-8} \frac{\Omega W}{K^2} \quad \text{Lorentz-szám}$$

Elektromos vezetés: szabad elektronok a résztvevő részecskék

Hővezetés: szabadelektronok és fotonok a résztvevő részecskék

↳ rácsrezgés kvantum

Dr. Szabó Péter János
Szerkezet vizsgálat

Szerkezetvizsgálat szintjei

Atomi elrendezés vizsgálata
röntgendiffrakció
transzmissziós elektronmikroszkóp
átomerő-mikroszkóp

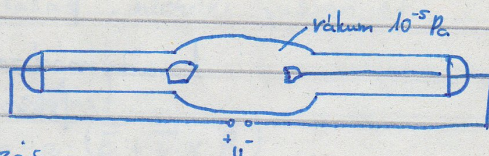
Mikroszerkezet vizsgálata
párhuzamos elektronmikroszkóp
röntgenspektroszkópia

Macroszerkezet vizsgálata
klasszikus metallográfia
materialográfia

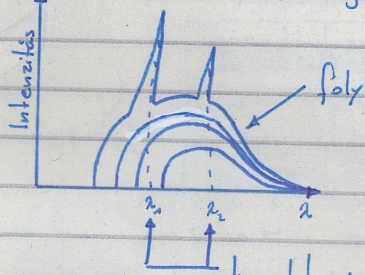
Röntgendiffrakció

Röntgensugárzás keltése

Izzókatódos röntgenforrás
20-40 kV gyorsítófeszültség

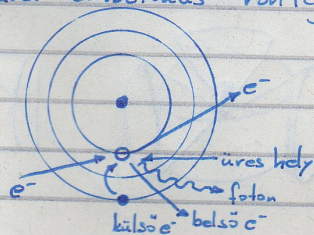


Fehér és karakterisztikus röntgensugárzás

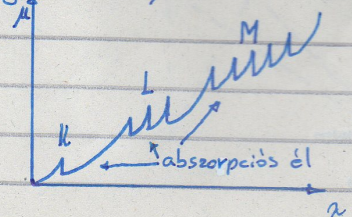


folytonos sugárzás, fehér röntgensugárzás, az e^- a szilárd anódban lelassulnak, ezt az energiát sugározzák ki, ezért is nevezik fékezési röntgensugárzásnak

karakterisztikus csúcsok, az adott anyagra jellemző
Karakterisztikus röntgensugárzás

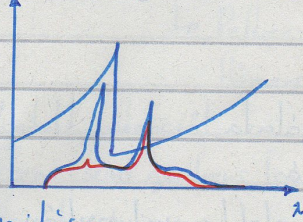


Röntgensugárak elnyelődése

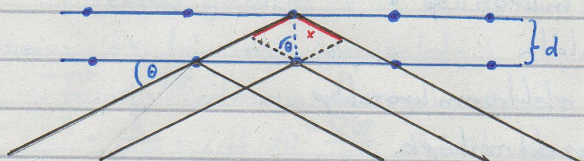


$I(x) = I_0 \cdot e^{-\mu x}$ → a behatolás mélysége
↳ abszorpciós tényező
maga az abszorpciós tényező a hullámhossz függvénye $\mu(\lambda)$

Szűrés, monokromatizálás



Röntgensugarak elhajlása



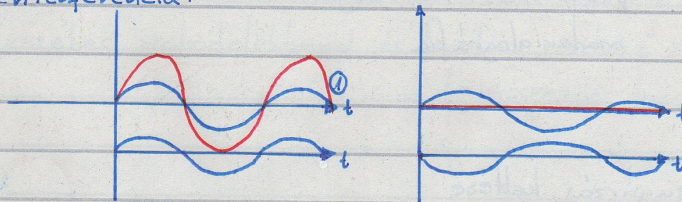
$$2x = 2 \cdot d \cdot \sin \theta$$

$$n \cdot \lambda = 2x = 2 \cdot d \cdot \sin \theta \quad \text{max. erősítés}$$

Bragg-egyenlet

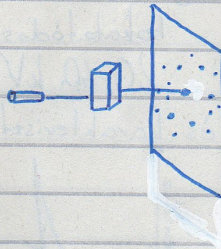
a kristály síkai mint síktükrök funkcionálnak

Interferencia:



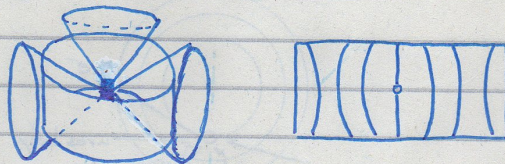
Laue-módszer

fehér röntgensugárzás
egy kristály minta
orientáció meghatározása



Debye - Scherrer módszer

monokromatikus röntgensugárzás, karakterisztikus sugárzás
porminta, üvegtégelyben
fázisanalízis \rightarrow az üveg amorf, nem változtat a röntgensugáron
rácsállandó meghatározása
diffrakciós körök kialakulása



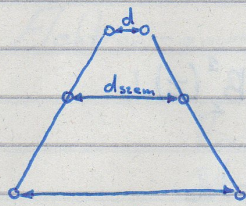
Diffraktométer

Transzmissziós elektronmikroszkóp

$d \approx 0,1 \mu\text{m}$ felbontás

$$d = \frac{\lambda}{2n \cdot \sin \alpha}$$

$\lambda_{\text{fény}} = 360 - 720 \text{ nm}$
 $\lambda_{\text{elektron}} = 1 - 3 \text{ pm}$
 α nyílásszög
 n törésmutató



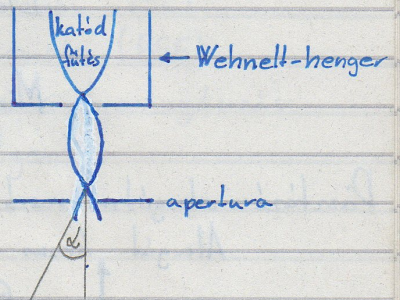
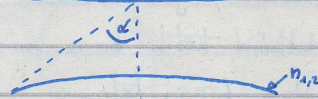
$$M = \frac{d/2}{d}, \text{ hasznos nagyítás}$$

↑ nem jelenik meg új pont, mivel a mikroszkóp se lát a két pont közé

$$d = \frac{\lambda}{2n \cdot \sin \alpha}$$

, azzal csökkenthetjük ha λ csökken, vagy n nő, de $n(\lambda) = 1$,
 ha λ kicsi, α növelése

tárgy



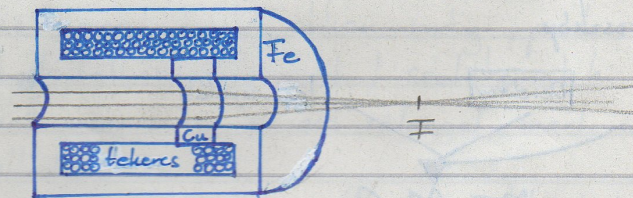
Termoemissziós elektronógyú

a fűtés hatására elektronok lépnek ki a katódból

az apertúra szabályozza az elektron sugar 'intenzitását', mennyi jusson át

Elektromágneses lencsék (fókuszálás)

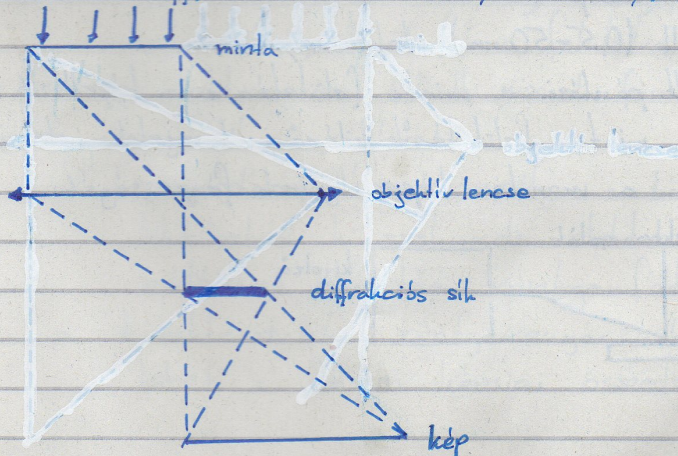
$$\vec{F} = -q \cdot (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$



Üzemmodok:

Képalkotás (szemcsék, szemcselátórok, kristályhibák, ...)

Elektrondiffrakciós ábra (kristály szerkezet, kristálytani orientáció)



Fókusz és elforgatás
 Fókusz távolság: $\frac{1}{f} = \frac{\eta}{8V} \int_{-\infty}^{\infty} B_z^2(z) dz$

Elforgatás: $\Phi = \sqrt{\frac{\eta}{8V}} \int_{-\infty}^{\infty} B_z(z) dz$

Minta előkészítése:

Vékony mintára van szükség, hogy az elektron nyaláb kelő intenzitással tudjon rajta áthaladni

$d_{\max} = 100 \text{ nm}$

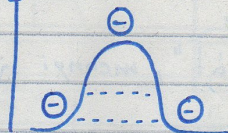
Elektrolitos maratás, jet-módszer

antóként kötik be a mintát, mely oldalba megy

Mintavétel helye bizonytalan

Pásztázó alagútmikroszkóp

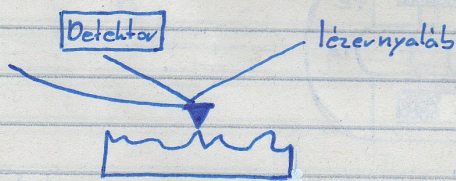
Alagút áram



kvantummechanikai alagút

A fej egy atomban rögződik, melyet piezoelektromos kristályokkal mozgathat

Atomerő-mikroszkóp

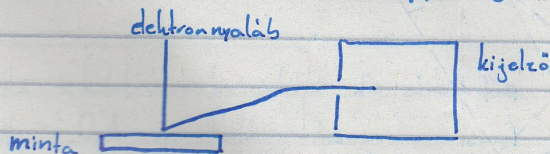


Pásztázó elektronmikroszkóp

Jól fókuszált (0,5-50 nm) elektronnyaláb

Szinkronizált pásztázása a minta felületén és a képpalkotó egységen (mint a TV)

a minta felületéről kilépő válaszjelek intenzitásával moduláljuk a monitor képpontjainak fényességét



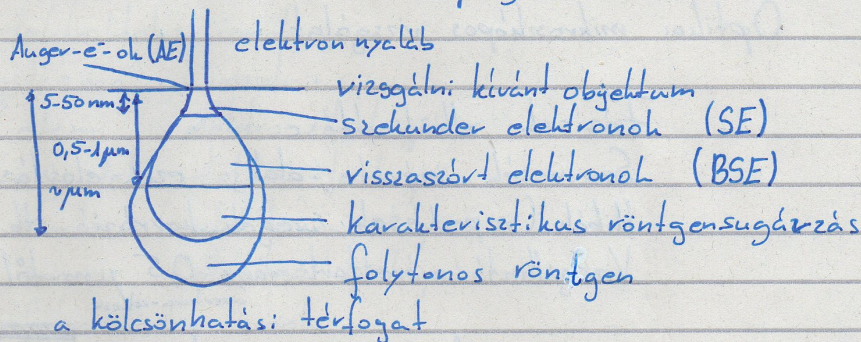
Elektron-anyag kölcsönhatás

Röntgensugárzás: kémiai összetételre utal

Visszaszórt elektronok: topográfiai és kémiai információ

Auger-elektronok: felületközei összetétel

Szekunder elektronok: topográfiai információ



Nagy mélységű képek

A működéshez nagyon fontos a vákuum

különben a szénhidrogének krakolódnának és lerakódnának

a gázatomok ionizációja által a felgyorsított atomok a katódra csapódva károsítják azt, ha elég nagy az energiájuk, akkor még „porlasztják” is a katódot, azaz atomokat szahitanak ki

A mintát be kell vonni egy vezető réteggel, mert a nem vezető minták feltöltődnek

vékonyréteg fémberonás (Au, Ag, Pd) (katódporlasztással)

szénberonás gőzöléssel (flash-gőzölés)

vékony szén szál hegyét nagyfeszültséggel lerobbantják így kerül fel a felületre

az elektromosan töltött részek fényesebbek

Elektron sugaras mikroanalízis

a becsapódó elektron ionizálja a belső héjat, ehhez lökődhetnek ki szekunder-elektronok, a rekombinálódást követően röntgenfoton lép ki

a karakterisztikus röntgen sugárzásból következtetni lehet a felső kémiai összetételére

Makroszerkezet vizsgálata

Mintavételezés

Minta előkészítés: csiszolás, polírozás, maratás

Optikai mikroszkópos vizsgálat

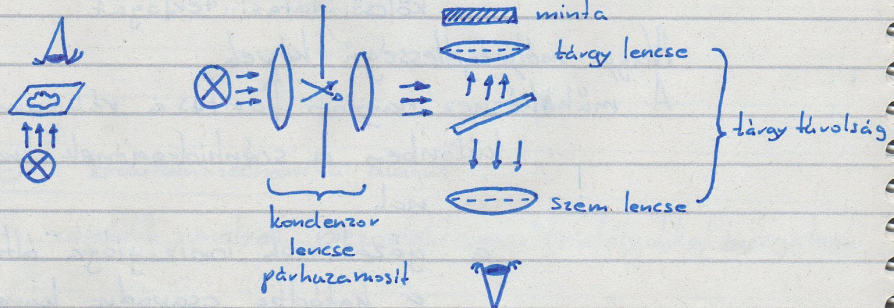
Fázisok elkülönítése

Szemcsék mérete, alakja, azok eloszlása

Hibák (repedések, üregek, korrózió, stb.)

Vizsgálható mérettartomány: 0,5 μm -tól felfelé

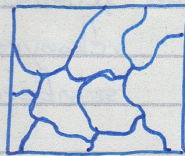
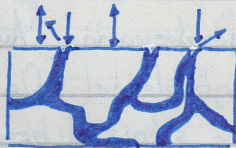
apertura-rekesz



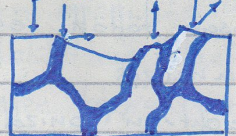
átlátszó minta esetén
biológiai mikroszkóp

tömör minta esetén
fém mikroszkóp

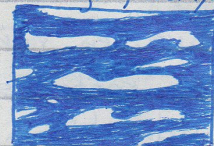
Maratás hatása



Homogén, irányfüggetlen marószert



Homogén, irányfüggő marószert



Heterogén marószert

Elektromos vezetés

Elektromos vezetési folyamatban töltést továbbító részecskék

Vezetők: fémek: szabad elektron
ötvözetek: szabad elektronok
elektrolitok: ionok
plazma: ionok

Félvezetők: elemi: elektron-lyuk pár
vegyület: elektron-lyuk pár

Szigetelők: kovalens: elektron-lyuk pár
ionos: elektron-lyuk pár
folyadékok: ionok
gázok: ionok

Vezető anyagok klasszikus csoportosítása

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

ρ → hossz
 A → keresztmetszet
↳ fajlagos ellenállás [Ωm]

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

↳ fajlagos vezetőképesség [S/m]

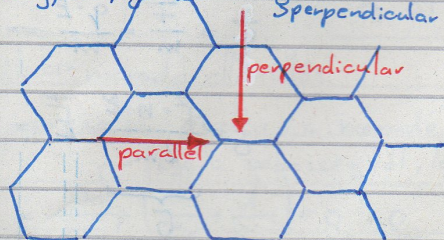
$$\sigma < 10^{-8} \frac{\text{S}}{\text{m}}, \text{ szigetelő}$$
$$\sigma > 10^6 \frac{\text{S}}{\text{m}}, \text{ fémes vezető}$$
$$10^{-8} \frac{\text{S}}{\text{m}} < \sigma < 10^6 \frac{\text{S}}{\text{m}}, \text{ félvezető}$$

A fajlagos ellenállás függ a rács orientációjától
nem függ köbös szerkezetű egykristályok v. polikristályok esetén,
izotrop

anizotrop alacsony szimmetriájú kristályokra: hexagonális,
tetragonális, stb.

pl.: Cd, Mg, Zn, grafit

$$\frac{\sigma_{\text{parallel}}}{\sigma_{\text{perpendicular}}} \approx 1000$$



Vezetési mechanizmusok leírása

Klasszikus (Sommerfeld-féle, szabad-elektron modell)

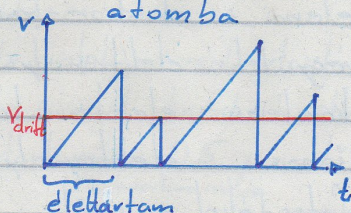
Feltételezés: elektronok között nincs kölcsönhatás (ideális gáz)

Elektronok mozgása:

Rendezetlen termikus mozgás

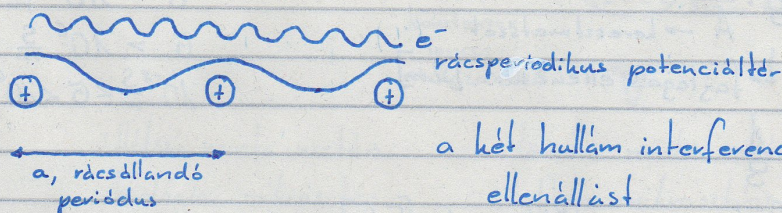
sodródás (drift)

konstans gyorsulás, amíg nem ütközik atomba



Kvantummechanikai leírás

Elektronhoz rendelt síkhullám mozgása a rácspériodikus potenciáltérben



a két hullám interferenciája alkotja az ellenállást

Áramsűrűség

$$j = q \cdot n \cdot v_d$$

\hookrightarrow drift sebesség
 \hookrightarrow db szám
 \hookrightarrow elektron töltése
 \hookrightarrow áramsűrűség

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{q \cdot \vec{E}}{m} \Rightarrow v_d = \frac{q \cdot \vec{E}}{2m} \cdot \tau \quad \hookrightarrow \text{átlag élettartam}$$

$$j = \frac{q^2 \cdot n \cdot \tau}{2m} \cdot \vec{E} = \sigma \cdot \vec{E} \quad \text{differenciális Ohm-törvény}$$

$$v_d = \frac{q \cdot \tau}{2m} \cdot \vec{E} = \mu \cdot \vec{E}$$

\hookrightarrow mozgékonyság, anizotróp a \vec{E} -tól fakadóan

Következmény: differenciális Ohm-törvény

1-2 vegyértékű fémekre jó fajlagos ellenállás értékek

Problémák:

azonos fém allotróp módosulatainak eltérése

többvegyértékű fémek (fajlagos ellenállás hibás)

felvezetők, szigetelők (hőmérsékletfüggés)

σ függ a hőmérséklettől, külső elektromos tér erősségtől, sugárzástól, ...

A fémek fajlagos ellenállását befolyásoló tényezők

kristályrács torzulása $\Rightarrow \rho$ növekedése

termikus rácsrezgések

termikusan aktivált ponthibák

diszlokációk (alakítás)

felületszerű hibák (szemcseméret)

térfogati hibák (kiválások, új fázis)

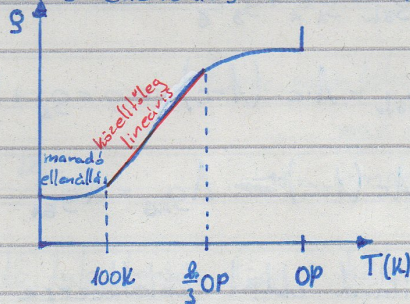
rács torzulás (szilárd oldatos ötvözés)

...

$\rho(T, c, \epsilon) = \rho_1(T) + \rho_2(c) + \rho_3(\epsilon) + \dots$, separálható függvények

Matthiessen-szabály

A fajlagos ellenállás hőmérséklet függése



$$\rho(T) = \rho_0 (1 + \alpha \Delta T + \beta \Delta T^2 + \dots + \mu \Delta T^n)$$

$$\rho(T) \sim \rho_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

$$\alpha_s = \frac{1}{\rho_0} \cdot \frac{d\rho}{dT}$$

kristály hibák \Rightarrow maradó ellenállás

szupervezetők esetén: a maradó ellenállás nulla

\rightarrow függ a sebességtől, így irányfüggő

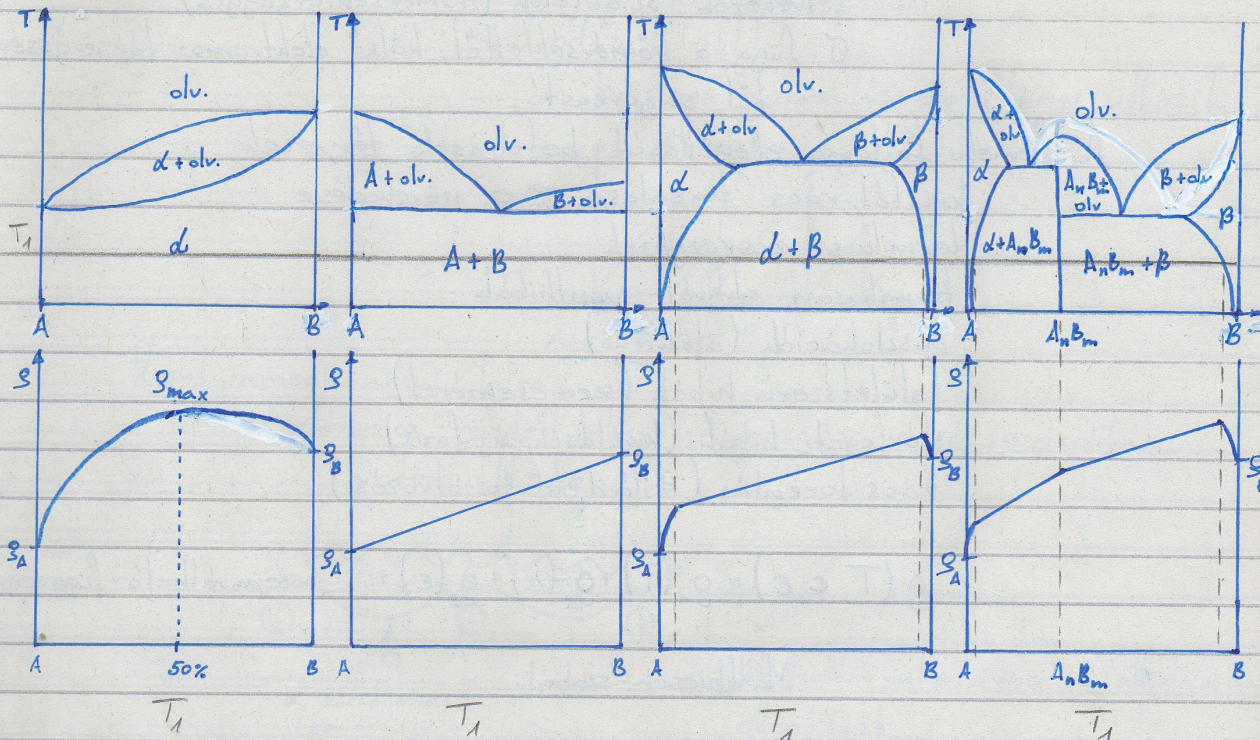
$$\rho = \frac{m^*}{n \cdot q^2 \cdot \tau} = \frac{m^*}{n \cdot q^2} \left(\frac{1}{\tau_R} + \frac{1}{\tau_T} \right) = \rho_R + \rho_T$$

Lineáris viselkedéstől eltér, ha van ferro-paramágneses átmenet vagy allotróp vagy fázis átalakulás

Ötvözés hatása

az ötvöző perturbálja a potenciál teret $\Rightarrow g$ nő
szilárd oldat esetén második fázis (vegyület)

$$\Delta g_{\text{ötözött}} \gg \Delta g_{\text{tisztán}}$$

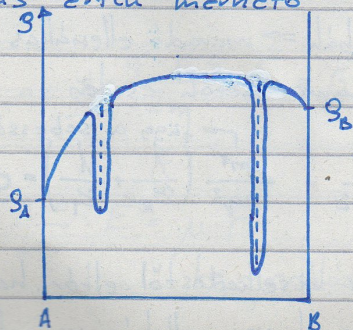


$$\Delta g_{\text{ötöz.}} = A \cdot c(1-c) \quad \Delta g_{\text{ötöz.}} = g_A \cdot c + g_B \cdot (1-c)$$

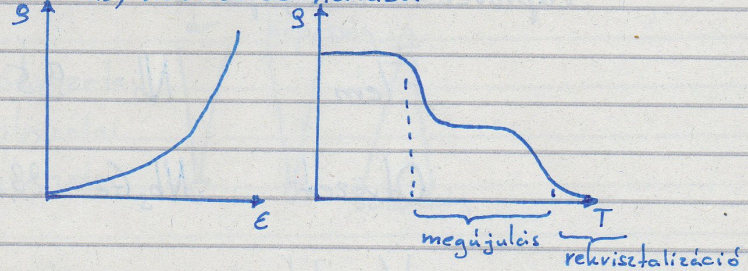
Nordheim-szabály $\Delta g_{\text{ötöz.}} = A \cdot c \cdot (1-c) \Rightarrow g = g_A + (g_A - g_B) \cdot c + A \cdot c \cdot (1-c)$

Mottl-szabály $\Delta g = A \cdot c \cdot (1-c) \Rightarrow \Delta g_{AB} = \Delta g_{BA}$

Rendezett rácsú szilárd oldat keletkezése esetén extrém fajlagos ellenállás érvényesíthető



Képlekény alakítás, hőkezelés hatása



$$\Delta g_E = k \cdot E^n \Rightarrow \ln \Delta g_E = n \cdot \ln E + \ln k$$

Nyomás hatására nő g

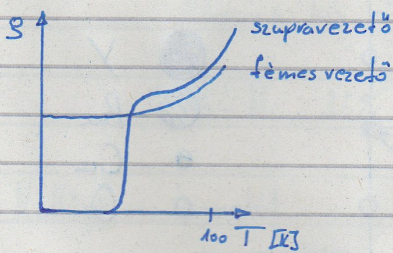
Rétegvastagság hatása

ha az elektron szabad úthossza összemérhetővé válik a rétegvastagsággal

$$\Delta g = k \cdot a \cdot g \cdot \frac{\lambda}{d}$$

λ → az elektron szabad úthossza
 d → vastagság, átmérő
 k → alakítási tényező
 a → felület minősége

Szupravezetés:



Kamerlingh 19M (Hg)

28 elem, több mint 1000 vegyület

Elem nem lehet szupravezető ha egy vegyértékű

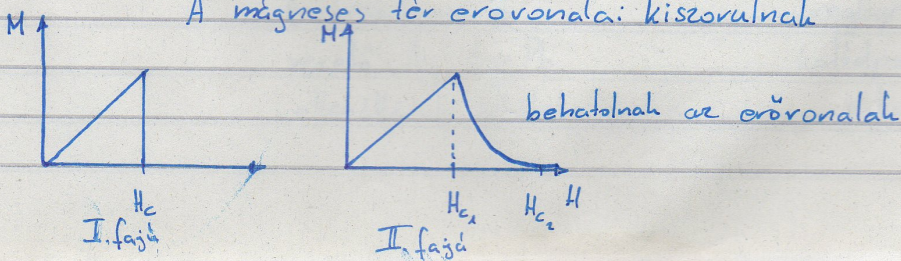
rendezett mágneses szerkezete van

A szupravezető tulajdonság függ a külső mágneses mezőtől is

$$H = H_c \left[1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^2 \right], \quad H = \frac{j}{2r\mu_0}$$

Meissner-effektus

A mágneses tér erővonalai kizorúlnak



Supravezető anyag típusok

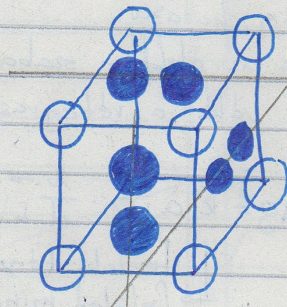
Elem Nb 9,5 K

Ötvözet Nb₃Ge 23,2 K (Perovszkit kristályszerkezet)

Vegyület

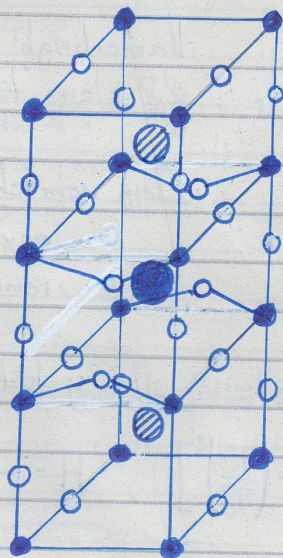
Kerámia Hg_{0,8}Tl_{0,2}Ba₂Ca₂Cu₃O_{8,33} 138 K





Perovszkit kristályszerkezet



A₃B képlet

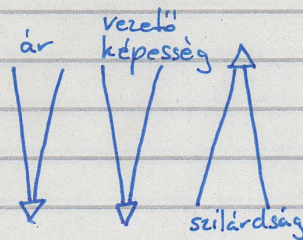
YBa₂Cu₃O₆ típusú anyag



-  Y
-  Ba
-  Cu
-  O

Gyakorlati alkalmazás:

Vezetők: Cu és ötvözetei
Al és ötvözetei
Fe és ötvözetei



Érinthető anyagok

Elvárások: kis átmeneti ellenállás

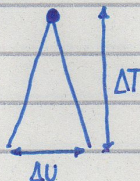
kopásálló

jó hővezető

ív állóság

Au, Ag, Pt, W, ötvözeteik (Cu-Ag-Au, Cu-Ag, Ag-CdO → kompozit)

Hőelemek



Cr, Pt, Fe ötvözeteik

Cr Ni

Pt Rh

konstantán (60% Cu 40% Ni v. 58% Cu 41% Ni 1% Mn)

Üveg és kerámia átvezetők

Elvárás: kis hőágulás

Fe-Ni, 36% - 42% Fe

Kettős fém, bimetal



forrasztás, forrasztás Sn-Pb → ROHS irányelv

Sn-Ag, Sn-Ag-Cu

Integrált áramkörök

Vastagréteg

kerámia hordozó

vezető Ag, Ag-Pb

ellenállások felvitele

Vékonyréteg

üveglapra

katalizátorok felvitele

vákuum gőzölés