

1. Szilárdtestek

(szilárdtestek szerkezete, transláció, elemi cellák)

KIEG: Atomok térbeli elrendeződése

- Ehhez a vizsgálathoz célszerű az atomok közötti kötéseket két csoportba osztani:
 1. Irányított kötések csoportja:
 - Típusai: kovalens és állandó dipólus kötések (inkább az atomok csoportjait tartja össze).
 - Az atomok úgy rendeződnek, hogy teljesüljön a kötési szögekre vonatkozó feltételek.
 - Az elrendeződés kötési poliéderrel írható le.
 2. Irányítatlan kötések csoportja:
 - Típusai: fémek, ionos és van der Waals kötések.
 - Az elrendeződés koordinációs poliéderrel adható meg.
- Általában egyszerre kettő vagy több kötés együttes hatása érvényesül.

Kristálytani ismeretek:

- A **kristályszerkezet** az atomok háromdimenziós szabályos elrendeződése a térben.
- **Térrács**: minden egyes pontnak a környezete tökéletesen azonos és mindhárom irányban végtelennek tekintjük. A pontokat **rácspontoknak** nevezzük.
- 14 féle elrendeződést lehet elképzelni. Ezt *Bravais rácsnak* is szokták nevezni.
- **Elemi cellák**. Ismétlődő egységek, melyekkel fel lehet építeni az egész kristályt.
- Az elemi celláknak az élei **transzlációs vektorok**. Olyan vektorok, amelyek a szomszédos rácspontokat kötik össze.
- Ha a cella éleiből induló vektorokat úgy választjuk ki, hogy a cella csak a sarkaiban tartalmaz atomot, akkor primitív cellához jutunk. Így **7 kristályrendszert** tudunk megkülönböztetni.
- Egy csúcsból kiinduló egységvektorok elegendőek **a, b** és **c**.

1. A köbös rendszer

- $|a| = |b| = |c|$, illetve $a \cdot b = b \cdot c = c \cdot a = 0$
- A rendszer elemi cellája a kocka.

2. A tetragonális rendszer

- $|a| = |b| \neq |c|$, illetve $a \cdot b = b \cdot c = c \cdot a = 0$
- A rendszer elemi cellája a négyzet alapú merőleges hasáb.

3. Ortorombos vagy rombos rendszer

- $|a| \neq |b| \neq |c|$, illetve $a \cdot b = b \cdot c = c \cdot a = 0$
- A rendszer elemi cellája téglalap alapú merőleges hasáb.

4. Hexagonális rendszer

- $|a| = |b| \neq |c|$, illetve és ha $|a| = |b| = |c|$, akkor $a \cdot b = -1/2$ és $b \cdot c = c \cdot a = 0$
- A rendszer elemi cellája rombusz alapú merőleges hasáb. A rombusz két oldala 60° -os szöget alkot.

5. Monoklin rendszer

- $|a| \neq |b| \neq |c|$, illetve $a \cdot b \neq b \cdot c = c \cdot a = 0$
- A rendszer elemi cellája rombold alapú merőleges hasáb.

6. Romboédes vagy trigonális rendszer

- $|a| = |b| = |c|$, illetve $a \cdot b = b \cdot c = c \cdot a \neq 0$
- A rendszer elemi celláját hat egybevágó páronként párhuzamos rombusz alkotja.

7. Triklin rendszer

- $|a| \neq |b| \neq |c|$, illetve $a \cdot b \neq b \cdot c \neq c \cdot a \neq 0$
- A rendszer elemi celláját hat, páronként egybevágó és párhuzamos rombold alkotja.

2. Kristálytani jelölések

(kristálytani jelölések, jellemzők)

Transzlációs-vektor, Miller-indexek

- Minden kristályponthoz húzható egy **r** vektor, amely a következő összefüggéseknek tesz eleget:

$$\mathbf{r} = n\mathbf{a} + m\mathbf{b} + p\mathbf{c}$$
 (**a, b, c** a kristályrendszer egységvektorai, n, m, p egész számok)
- Miller-index: a kristálytani síkok illetve irányok jellemzésére szolgálnak. Kristálytani síknak azt az irányt

nevezzük, mely a kristályban rácspontokon megy keresztül. Ennek analógiájára kristálytani iránynak nevezzük azt az egyenest, mely a kristályban bizonyos távolságú rácspontokra illeszkedik.

- Miller indexek számolása:
 1. metszéspontok meghatározása: origótól húzott egységvektorokkal.
 2. reciprok képzés
 3. alkalmas számmal való szorzás
 - ⇒ ezzel egy ilyen síkegyenlethez jutottunk: $hx+ky+lz = n$
 - Ebből a Miller indexek: (h,k,l)
 - Ha az összes síkot meg akarjuk határozni, akkor $\{ \}$ zárójelet használunk.

Írányok Miller indexei:

- a tengelyekkel vett párhuzamos komponensek hossza. Itt szögletes zárójel. $[\]$
- Ha az össze irányt meg akarjuk határozni, akkor $\langle \rangle$ zárójelet használunk.

Ha $()$ és $[\]$ zárójelben azonosak az értékek, akkor a sík és az irány merőleges egymásra. Ezek a geometriai kapcsolatok csak köbös rendszerben érvényesülnek.

Vektorok skalár szorzata:

Adott két sík és a szögét kell meghatározni !

A két sík $\Rightarrow (h_1, k_1, l_1)$ és $(h_2, k_2, l_2) \Rightarrow$ a két irány $\Rightarrow [h_1, k_1, l_1]$ és $[h_2, k_2, l_2]$

Skaláris szorzatuk: $[h_1, k_1, l_1] \cdot [h_2, k_2, l_2] = |[h_1, k_1, l_1]| \cdot |[h_2, k_2, l_2]| \cdot \cos \gamma$

Ebből a szög meghatározása $\cos \gamma = \frac{h_1 \cdot h_2 + k_1 \cdot k_2 + l_1 \cdot l_2}{\sqrt{(h_1^2 + k_1^2 + l_1^2)} \cdot \sqrt{(h_2^2 + k_2^2 + l_2^2)}}$

- Kristálytani jellemzők:

1. Alak
2. Az atomátmérő
3. A térkitöltés
4. Kristály legnagyobb hézagainak a nagysága
5. A cellában lévő atomok száma
6. A legsűrűbb illeszkedési irány és sík

Köbös rendszerekben: \Rightarrow 4 féle elemi cella

1. Az egyszerű köbös

- Az atomok a kocka 8 sarkán helyezkednek el. \Rightarrow 1 atom / 1 cella
- Atomátmérő = Rácsállandóval $\Rightarrow a=D$
- Legsűrűbb atomi síkok $\{100\}$, legsűrűbb illeszkedési irányok $\langle 100 \rangle$
- Kitöltési tényező: $\gamma = \frac{(D \cdot D \cdot \pi)/4}{a \cdot a} = \pi/4$ | $\gamma = \frac{(D \cdot D \cdot D \cdot \pi)/6}{a \cdot a \cdot a} = 0.52$
- Legnagyobb hézag téraltlóból atomi átmérő: $l = \sqrt{3} \cdot a = 0.73a$

2. A térben középpontos köbös \Rightarrow tkk

- Az atomok a kocka 8 sarkán és a testátlók metszéspontjában helyezkednek el.
- Elemi cellában 2 atom van.
- Atomátmérő = Testátló felével $\Rightarrow D = \sqrt{3}a/2$
- Legsűrűbb atomi síkok $\{110\}$, legsűrűbb illeszkedési irány $\langle 111 \rangle \Rightarrow$ testátló

3. A felületen középpontos köbös \Rightarrow fkk

- Az atomok a kocka 8 sarkán és a kocka lap középpontján helyezkednek el.
- Elemi cellában 4 atom van.
- Atomátmérő = Lapátló felével $\Rightarrow (\sqrt{2} \cdot a)/2$
- Legsűrűbb atomi síkok $\{111\}$, legsűrűbb illeszkedési irány $\langle 110 \rangle \Rightarrow$ lapátló

4. Gyémántrács

- Az atomok a kocka 8 sarkán és a kocka lap középpontján, illetve a testátlókon helyezkednek el.
- Elemi cellában 8 atom található.
- Atomátmérő = Alapél gyök-háromnegyede $\Rightarrow D = (\sqrt{3}a)/4$

3. Pontszerű rácshibák

(Pontszerű rácshibák, fajtái, keletkezésük, eltűnésük, hatásaik)

- **Pontszerű rácshibák:**

Pontszerű rácshibának tekintjük azokat az ideális ráctól eltérő tartományokat, melyeknek mérete minden irányban legfeljebb néhány atomátmérőnyi távolságra terjed.

- Üres rácshelyek \Rightarrow atomhiány, vakancia
- Interszticiós atomok \Rightarrow atomtöbblet
- Idegen atomok interszticiós vagy szubsztitúciós helyeken.
- Az előbbi három keverésével

- Üres rácspont \Rightarrow ráctorzulás azaz üres rácspont + 1 interszticiós atom \rightarrow együttesen Frenkel hibának nevezzük.
 - Ehhez nagy energia szükséges, ezért ritka a kialakulása.
 - Wagner Schotthy \Rightarrow az üres rácshelyek a kristály határán keletkeznek és diffúzió útján kerülnek bele.

\Rightarrow ezt a két típust összefoglaló néven termikus hibáknak szokták nevezni.

- A koncentrációjuk a hőmérséklettel exponenciálisan nő:

$$n(i) = N e^{-W(i)/kT}$$

ahol $n(i) \Rightarrow$ az üres rácshelyek száma

$N \Rightarrow$ a kristály összes rácspontjának a száma

$W_i \Rightarrow$ egy üres rácshely képződéséhez szükséges energia

$k \Rightarrow$ Boltzmann-állandó

$T \Rightarrow$ abszolút hőmérséklet

- Pontszerű rácshiba keltése:

- gyors lehűtés
- besugárzás, sugárkárosodás
- képlékeny alakítás
- kiteperálás $T \uparrow \rightarrow T \downarrow$

- Az ideális rácsra vonatkozó meghatározásokból következik, hogy egy idegen atomot is pontszerű hibának kell tekinteni a rácsban. Az idegen atomok kétféleképpen foglalhatnak helyet a rácsban:
 1. ha az idegen atom átmérője közel azonos a kristályt alkotó atomok átmérőjével, akkor az idegen atomok az egyes rácspontokban az idegen atomok helyettesítik a rács saját atomjait.
 - \Rightarrow helyettesítéses vagy szubsztitúciós szilárd oldat
 2. ha az idegen atom átmérője sokkal kisebb a kristályt alkotó atomok átmérőjénél, akkor az idegen atomok a rács hézagaiba illeszkednek illetve ékelődnek be.
 - \Rightarrow interszticiós szilárd oldat
- Az interszticiós atomot nem szabad összekeverni a saját interszticiós atommal !!!

4. Diszlokációk

(Diszlokációk fajtái, keletkezésük, eltűnésük, hatásaik)

Egyméretű vonalszerű rácshibák:

- Legfontosabb típusát a vonal menti rácshibáknak a diszlokációk adják.
- F. Taylor, Orowan Emil, Polányi Mihály
 - A legsűrűbb illeszkedési síkok mentén csúsznak el az alakváltozás során.
- 1. **Éldiszlokáció**
 - ha egy kristályon belül valamely csúszósíkon τ feszültség hat, akkor a csúszás az egyik oldalról kiindulva terjed végig az egész csúszósíkon.
 - A kristályon belül azt a vonalat, amely az elcsúszott felületeket elválasztja diszlokációnak nevezzük.
 - Éldiszlokáció \Rightarrow a csúszás vektora merőleges a diszlokáció vonalára. A diszlokáció a létrejött extra atomsík élével esik egybe.

2. **Csavar diszlokáció:** A csúszási vektor párhuzamos a diszlokáció vonalával.

- A diszlokációk nem végződhetnek a kristály belsejében, hanem vagy záródnak a belsejében, vagy kifutna a felületre.

• **Burgers-vektor:**

- diszlokációk jellemzésére használjuk
- Burgers-kör: körüljárás, ha záródik nincs diszlokáció.
- A vektornak sem az iránya, sem a nagysága nem változik.
- A Burgers-vektor megegyezik az elcsúszás vektorával.
- Csavardiszlokáció energiája: $W_{cs} = G b^2 l$
- Éldiszlokáció energiája: $W_{él} = (G b^2 l) / (1 - \nu)$
 - Itt G , ν anyagi állandók

⇒ A diszlokációk következtében a környezetben a kristály rugalmasan torzul és ennek rugalmas alakváltozásnak az energiája növeli a kristály energiátartalmát.

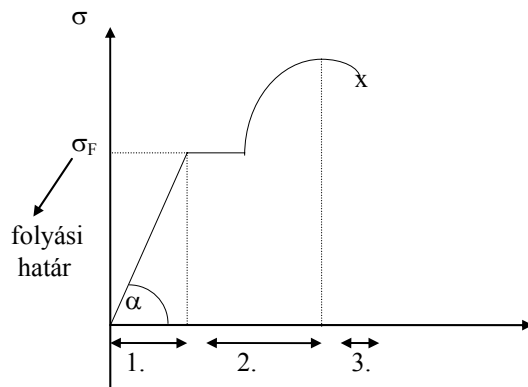
Mechanikai igénybe vétel:

- Feszültség mechanikai ⇒ alakváltozás következik be (rugalmas, maradó(képlékeny), törés)
- \Downarrow erő / felület = feszültség → ha a felület az eredeti ⇒ nem valódi feszültség
→ ha az aktuális felület ⇒ valódi feszültség

Mechanikai feszültség: σ (szigma) Alakváltozás (nyúlás): ϵ Nyírás, csavarás: τ Alakváltozás szöge: γ

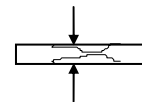
Hooke-törvény: $\sigma = E \epsilon$, ahol E : rugalmassági modulusz, Young-modulusz

Húzó diagramm:



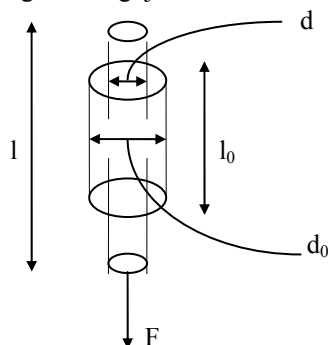
1. Rugalmas alakváltozás
2. Maradó alakváltozás
3. Egyenletes húzáshatár ϵ_c

Kontrakció jelensége:
befűződik



$$\sigma_{megengedhető} = \sigma_F / B \rightarrow \text{tisztasági tényező}$$

Rugalmassági jellemzők:



$E, G, \nu \rightarrow$ Poisson-szám

$$\epsilon_{||} = (l - l_0) / l_0$$

$$\epsilon_{\perp} = (d - d_0) / d_0 \Rightarrow \nu = \epsilon_{\perp} / \epsilon_{||}$$

Fémeknél: $\nu = 0.2 - 0.4$

5. Felületszerű rácshibák

(Felületszerű rácshibák fajtái, hatásai)

Kétméretű, felületszerű rácshibák:

- kristály felület

- szemcsehatár: → fázisokat elválasztó határ → összefüggő fázishatár
- ikersíkok
- rétegződési hibák

Kristály felület: Hiszen nem teljesül az a feltétel, ami a térrácsra teljesülnie kell.

Szemcsehatár: különböző orientáltságú, de azonos fázisú tartományokat. Itt az orientáció különbség csak néhány fok.

Összefüggő fázishatár: különleges geometriai tulajdonság.

Ikersíkok: olyan felület a kristálysíkon belül, amelynek mindkét oldalán meghatározott orientáció különbségű tartományok vannak. ⇒ tükör sík.

Rétegződési hibák: a kristályszerkezetet felépítő atomi rétegek szabályos ismétlődését valamilyen okból megszakítanánk, akkor létrejönnek a rétegződési hiba.

6. Folyadékkristályok

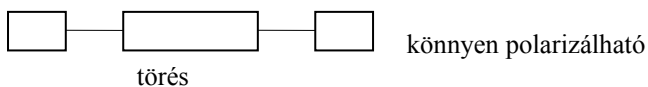
(folyadékkristályok szerkezete, fajtái, jellegzetes tulajdonságaik)

HOLICS

- A folyadékkristályok szerkezete és fizikai tulajdonságaik jellegzetes átmenetet mutatnak a szilárd és kristályos anyagok között.
- Keletkezhetnek például nagy, hosszúságú a hosszszögelyük irányában poláros molekulákból. A molekulák tömegközéppontjai a kristályban véletlenszerűen oszlanak el. (Ez hasonlít a folyadékok szerkezetéhez.) A molekulák elhelyezkedésének megfelelően határozzák meg a tulajdonságokat. Ennek megfelelően viszkozitásuk a folyadékokhoz hasonló, széles tartományban változik, optikailag a kristályokhoz hasonlóan anizotrop anyagok. Ebből következően a folyadékkristályok kettős törők. ⇒ legegyszerűbben poláros fényel mutathatók ki.
- A folyadékkristályokat leggyakrabban optikai kijelzők és érzékeny felületi hőmérők készítésére használják. Ezen eszközök működése azon alapul, hogy a folyadékkristályok optikai tulajdonságai elektromos térben megváltoznak. $0.5 \dots 10 \text{ V}/\mu\text{m}$ elektromos tér hatására már megváltozik a rajtuk áthaloló fény erőssége, iránya illetve polarizációs állapota.
- Egyes folyadékkristályokban az elektromos feszültség hatására a poláros molekulák az elektródák felé mozognak, és így örvényes áramlás keletkezik, amely megszünteti a réteg átláthatóságát.
- Egyes folyadékkristályok színe kicsiny, helyi hőmérsékletkülönbségek hatására megváltozik. Ennek segítségével hőmérsékleti térképek készíthetők. Pl.: daganat kimutatása.

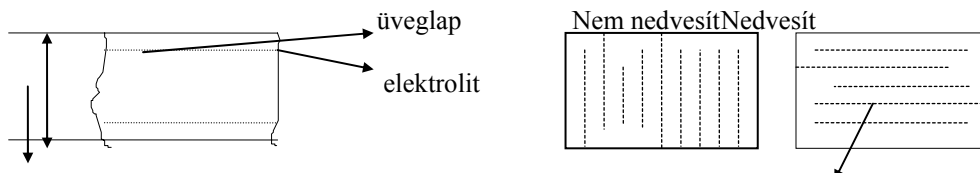
JEGYZET

- folyadékok
- komplikált szerves vegyületek (EBBA, MPPA)
- pálcika alakú molekulák
- rend a molekulatengelyek között ↓ egy molekula kinézete



- Termotróp illetve riotrop változásokat mutatnak.
- Folyadékkristályok (LCD-eszközök) szerkezeti formái:
 1. szmektikus
 2. nematikus
 - csak orientációs rend, nem réteges szerkezet

- Kijelzők:



6-60 μm

kvarcok

3. koleszterikus

- réteges szerkezetűek \Rightarrow vastag rétegek, egy rétegen belül nematikus rendet mutatnak.
- Tulajdonságok:
 - optikai tulajdonságok:
 - két komponens $n \rightarrow$ más \parallel
 - más \perp
 - kettős törő
 - polarizációs sík elforgatása

7. **Fémüvegek**

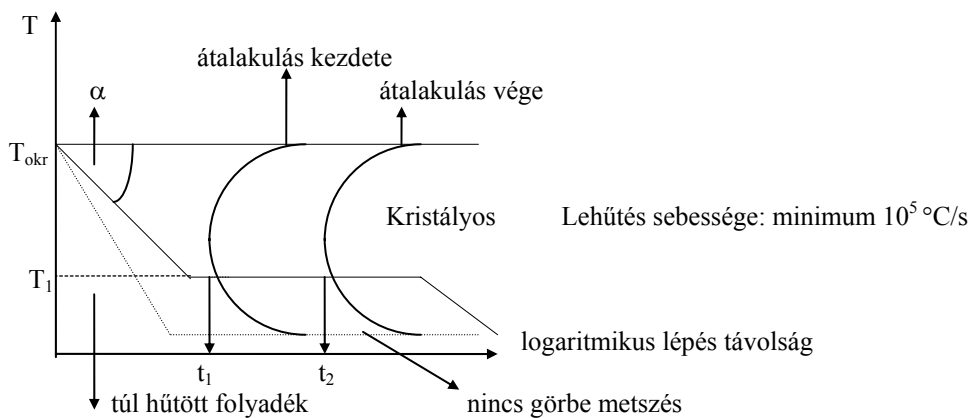
(fémüvegek szerkezete, fajtái, jellegzetes tulajdonságaik.)

HOLICS

- Igen gyors ($10^5 \dots 10^6$ $^\circ\text{C/s}$) hűtési sebességnél a fémolvadékok üveggé dermedszhetők. Az üvegállapotban előállított fémek leginkább többkomponensű ötvözetek.
- Az üvegfémek megjelenése leginkább a kristályos fémekhez hasonló. Fémcsillogásuk, jó elektromos vezetőképességük bizonyítja, hogy atomjaikat fémes kötés kapcsolja össze. Szerkezetük instabil, ezt az is mutatja, hogy egyes üvegfémeket meggyújtva lángolva égnek el. Jellemzőik a kopásállóság, nagy rugalmasság, nagy szakítószilárdság.

JEGYZET

- nem kristályos (amorf) szerkezetűek
- Folyadék \leftrightarrow szilárd kristályos \leftarrow
 $\downarrow \rightarrow$ gyors hűtés: üvegállapot \uparrow
- Átalakulási görbék: C-görbék, TTT-görbék

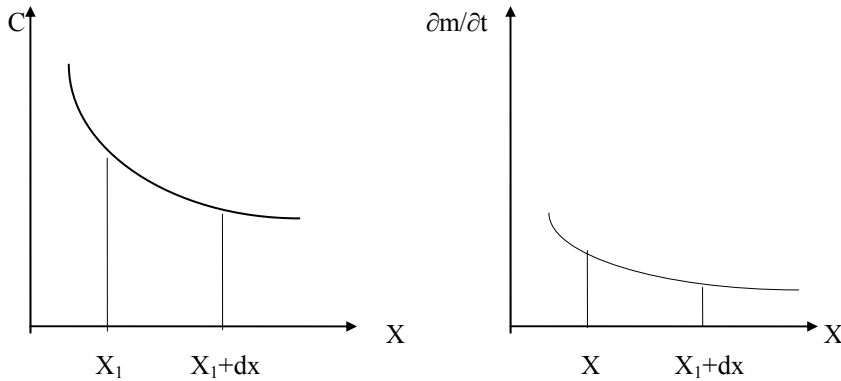
11. **Állapotábrák és lehülési görbék alaptípusai és kapcsolatuk**

- Fázisátalakulások kezdete, vége
- Fázisok megjelenése, szövetelemek
- Fázisok-szövetelemek mennyiségi arányai
- Fázisok összetétele

14. **(((12)))A Fick II.**

(A Fick II. egyenlet megoldásai és alkalmazhatóságuk)

- A Fick II. egyenlet annyiban más a Fick I. egyenlethez képest, hogy itt már csak a koncentráció és annak deriváltját tartalmazza. Így ki lehetet küszöbölni a tömeget és ennek alkalmazásai igen eltérőek.

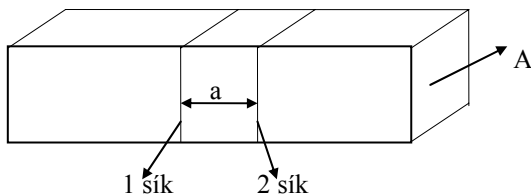


- $c=c(x)$ koncentráció eloszlás függvénye adott. Ekkor x_1 helyen az „A” felületen átáramlott anyagmennyiség:
 $(\partial m / \partial t)_{x_1} = -D (\partial c / \partial x)_{x_1} A$ (Fick I.)
- Az $x_1 + dx$ helyen $\Rightarrow (\partial m / \partial t)_{x_1+dx} = -D (\partial c / \partial x)_{x_1+dx} A$
- Adott térfogatelemben felhalmozódó anyag mennyisége tehát: $-D (\partial c / \partial x)_{x_1} A + D (\partial c / \partial x)_{x_1+dx} A$
- Ha a d távolság elég kicsi, akkor a második tagot úgy írhatjuk, hogy
 $D (\partial c / \partial x)_{x_1+dx} A = D (\partial c / \partial x)_{x_1} A + (\partial / \partial x) D (\partial c / \partial x)_{x_1} dx A$ és így az $A dx$ térfogatelemben az időegység alatt felhalmozódott anyagmennyiség $(\partial M / \partial t) = (\partial / \partial x) D (\partial c / \partial x) A dx$.
 De mivel $\partial M / A dx = \partial c$, azt kapjuk, hogy

13. **Diffúzió**

(Diffúzió jelensége, értelmezése, diffúziós tényező)

- A diffúzió az a folyamat, melynek révén az anyagban a koncentráció megváltozik. A folyamatra az jellemző, hogy irreverzibilis, és ezért növeli az entrópiát. A szilárd testekben az atomok helyhez kötöttek és ezért csak kis mértékben jöhet létre a helyváltoztatás. Itt termikus mozgás jön létre. Ezt a folyamatot szilárd állapotú diffúzióknak nevezzük.
- Egyes tiszta anyagokban az ilyen mozgást öndiffúzióknak nevezzük.
- Az ötvözetekben pedig interdiffúzióknak vagy kölcsönös diffúzióknak nevezzük.
- A diffúziókat a Fick-féle egyenletek írják le.
- Fick I. \Rightarrow olyan folyamatok leírására szolgál, melyben a koncentráció gradiense független az időtől.



A és B fajtájú atomok. Kőbös rendszerben, ahol a koncentráció is szabott.

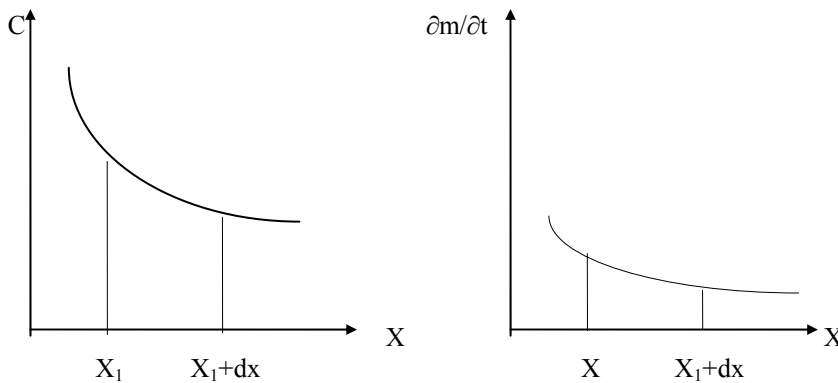
- Az 1. Síkon az A atomok koncentrációja C_1 .
- Az 2. Síkon az A atomok koncentrációja C_2 .
- Ebből következően az 1. Síkon helyet foglaló A atomok tömege: $M_1 = C_1 a A$
 2. Síkon helyet foglaló A atomok tömege: $M_2 = C_2 a A$
 ahol „a” a rácscella oldalsó élhossza, „A” pedig az atomok áramlására merőleges felület nagyságát jelenti.
- Egyszerű kőbös rendszerben az atomok 6 irányban változtathatják meg a helyüket. Ha τ -val jelöljük az atomok egyhelyben tartózkodásának idejét, akkor az 1-2 síkra vándorló atomok tömege:
 $m_{1-2} = C_1 (aA/6\tau)$ ellentétes irányban $\Rightarrow m_{2-1} = C_2 (aA/6\tau)$

- Időegység alatt a két mennyiség különbsége vándorolt el $\Rightarrow dm/dt = (C_1 - C_2) (aA/6\tau)$ és ekkor a koncentráció gradiens (hosszegységre eső koncentráció változás) $dx/dc = (C_1 - C_2)/a$ akkor behelyettesítve kapjuk az első Fick egyenletet: $dm/dt = -DA dc/dx$
ahol $D = a^2/6\tau \Rightarrow$ diffúziós tényező
 - a mínusz jel azt fejezi ki, hogy a tömegáramlás ellentétes a koncentráció gradiens irányával.
 - A diffúziós tényezőben a számérték csak attól függ, hogy milyen kristálytani síkot választunk és hogy milyen a kristályszerkezet. Ez 2-6 között változik.
 - $1/\tau \rightarrow$ átugrási gyakoriságnak is nevezik.
- Hátránya a Fick I féle törvénynek, hogy szilárd testekben nem lehet mérni a tömeg elmozdulását.

14. A Fick II.

(A Fick II. egyenlet megoldásai és alkalmazhatóságuk)

- A Fick II. egyenlet annyiban más a Fick I. egyenlethez képest, hogy itt már csak a koncentráció és annak deriváltját tartalmazza. Így ki lehetet küszöbölni a tömeget és ennek alkalmazásai igen eltérőek.



- $c=c(x)$ koncentráció eloszlás függvénye adott. Ekkor x_1 helyen az „A” felületen átáramlott anyagmennyiség:
 $(\partial m/\partial t)_{x_1} = -D (\partial c/\partial x)_{x_1} A$ (Fick I.)
- Az $x_1 + dx$ helyen $\Rightarrow (\partial m/\partial t)_{x_1+dx} = -D (\partial c/\partial x)_{x_1+dx} A$
- Adott térfogatelemben felhalmozódó anyag mennyisége tehát: $-D (\partial c/\partial x)_{x_1} A + D (\partial c/\partial x)_{x_1+dx} A$
- HA a d távolság elég kicsi, akkor a második tagot úgy írhatjuk, hogy
 $D (\partial c/\partial x)_{x_1+dx} A = D (\partial c/\partial x)_{x_1} A + (\partial/\partial x) D (\partial c/\partial x)_{x_1} dx A$ és így az $A dx$ térfogatelemben az időegység alatt felhalmozódott anyagmennyiség $(\partial M/\partial t) = (\partial/\partial x) D (\partial c/\partial x) A dx$.
De mivel $\partial M / A dx = \partial c$, azt kapjuk, hogy $\partial c/\partial t = (\partial/\partial x) (D (\partial c/\partial x))$. Ez a második Fick egyenlet egydimenziós alakja.
- Ha a tér minden irányában van anyagáramlás, akkor ezt úgy írhatjuk, hogy:
 $\partial c/\partial t = (\partial/\partial x) (D (\partial c/\partial x)) + (\partial/\partial y) (D (\partial c/\partial y)) + (\partial/\partial z) (D (\partial c/\partial z)) + (\partial/\partial t) (D (\partial c/\partial t)) =$
 $= (\partial D/\partial x) (\partial c/\partial x) + D (\partial^2 c/\partial x^2) + (\partial D/\partial y) (\partial c/\partial y) + D (\partial^2 c/\partial y^2) + (\partial D/\partial z) (\partial c/\partial z) + D (\partial^2 c/\partial z^2)$
- Ha a D diffúziós tényező koncentráció függését is figyelembe vesszük, akkor az alábbi egyenletet kapjuk:
 $\partial c/\partial t = D ((\partial^2 c/\partial x^2) + (\partial^2 c/\partial y^2) + (\partial^2 c/\partial z^2))$
- Az utolsó egyenlet megoldásai ismertek, melyekkel vissza lehet vezetni a hővezetés egyenleteire:
 - Megfelelők: $D \Rightarrow \alpha$, $c \Rightarrow T$, $m \Rightarrow Q$.
 - Ebből következően az első Fick egyenlet: $\partial Q/\partial t = -\alpha (\partial T/\partial x) A$
a második Fick egyenlet: $\partial T/\partial t = (\partial/\partial x) (\alpha (\partial T/\partial x))$

17. Irányított kristályosítás, egykristály gyártás és szerepük

- Az egykristályok felhasználása és fontossága az elektrotechnikában és a műszergyártásban egyre fontosabb szerepet tölt be.
- Fázisátalakulások kinetikája:
 - Fontos kiemelni egy rendszer stabil állapotai közti átmenetet, fázis átalakulást. Ilyen folyamatokban az egyik tényező az idő. A fázis átalakulások bizonyos pontokban igen kis mértékben mennek végbe.
 - Először kis méretű magnak vagy csírának nevezett tartomány alakul ki, majd ez növekszik a régi tartomány rovására. Ezek alapján a fázisátalakulás 2 részre bontható.
 1. Magképződés
 - A magképződés során a rendszer valamely pontján a megfelelő típusú atomok felhalmozódnak, úgy hogy egy új fázis alakulhasson ki. Ez diffúzió révén megy végbe.
 2. Növekedés
 - A kritikusnál nagyobb méretű magok folyamatosan nőnek, szomszédjaik rovására. Az átalakulási folyamat mindenek előtt a növekedésre képes magok keletkezési valószínűségétől függ. Mérőszámul az N-et adjuk meg, amely megmutatja, hogy térfogategységben hány mag képződik egységnyi idő alatt. E mellett meg kell még említeni a G-t, azaz a magok növekedési sebességét.
 - Ez a két érték szabja meg a kristályszerkezetekben a kristallitok méretét.
 - Abban az esetben ha egyetlen mag keletkezik, könnyű belátni, hogy egyetlen kristály keletkezik. A technológiában azonban szükség van apró sok szemcsés kristallitokra, ezt úgy érik el, hogy sok mag keletkezik az ömledékben.
 - Az N és G tényező nemcsak az ömledék lehűlésére ad jellemzést, hanem a fázisátalakulásokra is.
- Egykristályok előállítása.
 - Már említett okok miatt, ha egy ömledéket egy tégelyben magára hagyunk, hűtése közben az anyagban egyetlen kristályosodási mag keletkezik, akkor egykristály alakul ki. Ez a folyamat azonban nem valósulhat meg ilyen egyszerűen, mert a homogén magképződés során ugyanakkora valószínűséggel keletkeznek magok az ömledék bármely pontján.
- Eljárások:
 1. Czochralsky-módszer
 - Az eljárás lényege, hogy az ömledék felületéhez egy nagyobb olvadáspontú kristályt, vagy egy az ömledék kristályából készített anyagot érintenek és azt meghatározott sebességgel emelik.
 - Problémák:
 - emelési sebesség : \Rightarrow ha lassú az emelés, akkor a szilárd és folyékony fázishatáron magképződés indulna meg, és polikristályosodna a rendszer.
 \Rightarrow ha túl gyors az emelés, akkor a kristály elszakad a folyadéktól.
 - hőmérséklet: különösen nehéz biztosítani a kristály felett a konstans hőmérsékletet és a megfelelő hőmérséklet eloszlást.
 \Rightarrow ha a hőmérséklet eloszlás nem megfelelő, akkor a kristály a tengely egyik oldalára megnő, ezzel aszimmetrikussá válik. Ezt úgy küszöbölik ki, hogy a mintát állandóan forgatják.
 - Ez a módszer alkalmazzák a félvezetők(nagy tisztaság) gyártásánál. Fontos, hogy a tégely alapanyagául olyant kell választani, amely nem lép kapcsolatba az ömledékkel és bírja a kémiai és fizikai megterhelést.
 - Orientáltan készített kristályok.
 - Vákuum, védőgáz.
 2. Bridgmann-módszer
 - Van egy függőleges elrendeződésű kemence, melyben egy hosszú tégelynek a vége elszűkül. A kemencében a hőmérsékleti gradiens az egyensúlyi hőmérsékleti tartományban nagyon meredek. \rightarrow Ezt hűtőlevegővel érik el.
 - A tengely végében megindul a dermedés és mivel a tengely vége olyan vékony, hogy annak a valószínűsége, hogy egynél több mag is keletkezik már nagyon kicsi.
 - Süllyesztési sebességet kísérletekkel kell meghatározni. A fémkristályoknál ez a hőmérséklet kb. 1-30cm/óra között mozog.
- Az előbbieken említett két módszer akkor alkalmazható, ha az ömledék és a kristály anyag megegyezik.

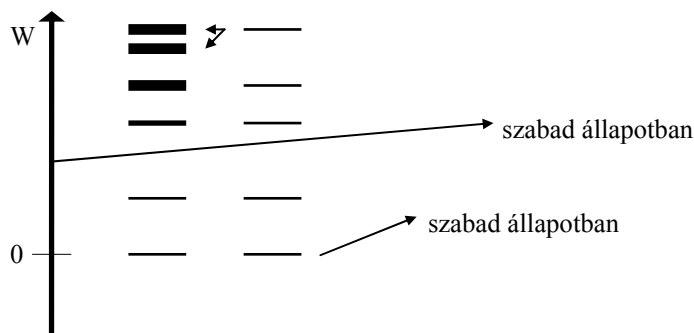
- Újrakristályosítással is elő lehet állítani egykristályokat. Pl. ha az anyagot megfelelő méretű alakítással kezeltük, akkor nagyon nagy kristallitokat lehet elérni.
- Diszlokációk:
 - 1. Módszerben ha a húzás sebessége elég nagy, akkor el lehet érni egy olyan vékony szálát, amely elvileg már diszlokáció mentes.

18. Villamos vezetési jelenségek és mikrofizikai hátterük

- A villamos vezetés az áramvezető anyagában kétféle módon jöhet létre az elektromos tér hatására vagy ionok vagy elektronok vándorlása útján. A szilárd vezetőkben az ionos vezetés nem jelentős, az elektronos vezetés a fontosabb.
- A szilárdtestek többségében a J elektromos áramsűrűség és az elektromos tér között az alábbi összefüggés áll fenn: $\mathbf{J} = 1/\rho \mathbf{E} = \sigma \mathbf{E}$, ahol \mathbf{E} a villamos térerősség
 - ρ a fajlagos villamos ellenállás
 - σ a fajlagos vezetőképesség
- Az áramvezetés mechanizmusa a legegyszerűbben az úgynevezett szabadelektron modell segítségével jellemezhető. Itt azt kell feltételezni, hogy az áramot vezető elektronok teljesen szabadon mozognak a rácsban. Az elektronok rendezetlen mozgására az \mathbf{E} villamos tér hatására \mathbf{E} irányú sebesség (v_d) az úgynevezett „drift” sebesség szuperponálódik, ami $\mathbf{J} = N q v_d$ elektromos áram sűrűséget hoz létre. Itt az N a szabad elektronok sűrűsége, q pedig a töltése.
- Villamos tér nélkül az elektronok átlagos áramlási sebessége zérus, mert ugyanannyi elektron mozog a tér bármely egyenesének két ellentétes irányába.
- A villamos tér hatására az elektronok gyorsulása $a = v_d' = (q \mathbf{E})/m$
- Állandó elektromos tér hatására az elektronok sebessége minden értéken túl nő. Ezért feltételezi ez a modell, hogy a fém belsejében az elektronokra súrlódás hat. A súrlódást az elektronok mozgása közti ütközések adják (a kristályhibák valamint a hőmozgás miatt). A két ütközés közt eltelt közepes időtartamot τ -val jelölik és relaxációs időnek, aközben megtett utat pedig szabad úthossznak nevezik.
- Az átlagos áramlási sebesség: $v_d = (q \mathbf{E} \tau)/m$
- Áramsűrűség kifejezve: $\mathbf{J} = [(n q^2 \tau) / m] \mathbf{E} = \sigma \mathbf{E}$
- A vezetőképességre: $\sigma = (N q^2 \tau) / m$

19. Sáv szerkezet kialakulásának okai, jellegzetes alaptípusai

- Az elektromos vezetést a sávmérettel lehet értelmezni. (Bloch és Brillouin)
- A Pauli-elvet is figyelembe véve magarázni lehet, hogy nem minden elektron játszik szerepet a vezetésben.
- Az elektronok mozgásállapotát vizsgálva két határeset adódik:
 1. atomon belüli mozgás
 2. szabad elektron vákuumban történő mozgása
- E kettő eset közé kell sorolni a vezetési elektronok mozgását, ahol az elektronok a kristályrács teljes térfogatában mozoghatnak.
- A szabad atomban lévő elektronnak csak néhány határozott energia értéke lehet.

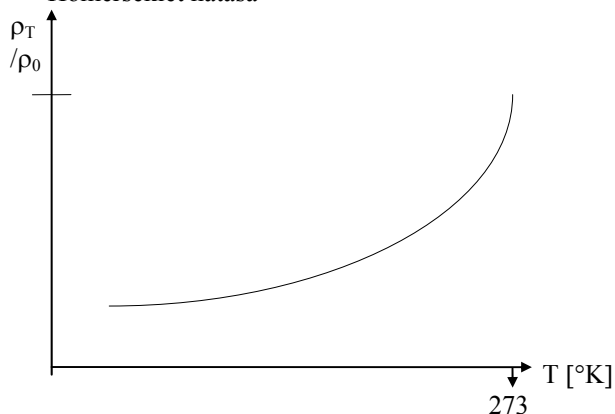


↓
kristályban

- A legkisebb energianívok a belső szorosan kötött elektronokhoz tartoznak.
- A külső vegyérték elektronok jóval gyengébben kötöttek s majdnem szabadon mozoghatnak. Ezen elektronok lehetséges energiaértékei különálló kvázi folytonos területet alakjában ábrázolhatók, amelyeket sávoknak nevezünk.
- Az energiasávok valójában nagyszámú egymáshoz közel fekvő energiaszintekből állnak. A sávok annál szélesebbek, minél gyengébben kötődik az elektron az atomban.
- Az N számú atomból álló rácsban minden elektron állapot N-szeresére sokszorozódik. A kialakuló energiasáv az egymáshoz közelfekvő (kvázi folytonos) N-db állapotból áll. A Pauli-elvet figyelembe véve az N állapotú sávban 2N elektron lehet, ha 2N elektron van a sávban, akkor a sáv telített. Telített sáv pedig nem alkalmas a vezetésre, mert a külső elektromos tér nem képes megváltoztatni az elektronállapotot. De a részben betöltött sávokban lévő elektronokat a külső elektromos tér gyorsíthatja és így létrejöhet a vezetési jelenség.
- Ennek megfelelően a jó elektromos vezetőknek részben betöltött sávjaik vannak. Ezzel szemben a félvezetőkben és a szigetelőkben csak betöltött és üres sávok találhatóak.
- Az üres és a telített sáv közti energiatarományt tiltott sávnak nevezik. A tiltott sáv szélessége szabja meg, hogy a nemfém kristály szigetelő(3-5 eV), vagy félvezető(0,3-1,5 eV).
- Fermi energiaszintek: $F(W) = 1 / (e^{(W-W_F)/kT} + 1)$

20. Technológia tényezők hatása a villamos vezetésre

- Hőmérséklet hatása

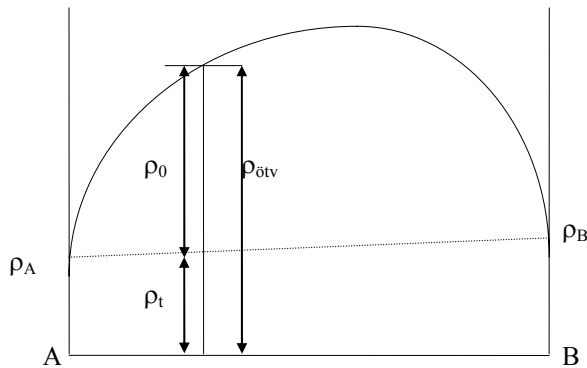


A réz relatív ellenállásának hőmérséklet változása. A relatív ellenállás a T hőmérsékleten mért ρ_T fajlagos ellenállásnak és 0°C -on mért ρ_0 fajlagos ellenállásnak a hányadosa. A görbéből megállapítható, hogy az ellenállásnak van egy a hőmérséklettel közel arányosan változó szakasza. Ezt a hőmérséklettel lineárisan növekvő ellenállást a rácsrezgéseknek tulajdonítják. A görbe kezdő szakasza közel állandó és ez olyan hőmérsékletekig tart, amelyeken a termikus rezgések hatása elhanyagolható. Az ellenállásnak ezt a részét nevezzük maradó ellenállásnak, és erről feltételezzük, hogy rácshibák okozzák.

- $1/\tau_{\text{teljes}} = 1/\tau_R + 1/\tau_T$, ahol τ_{teljes} az egész folyamatra vonatkozó tényleges relaxációs idő, τ_R a rácshibák, τ_T pedig a hőmérséklet okozta szórásnak a relaxációs ideje.
- Ebből következően az összellenállás: $\rho = m^* / N q^2 (1/\tau_R + 1/\tau_T) = \rho_R + \rho_T \Rightarrow$ ezt az összefüggést Matthiessen szabálynak nevezük.
- Hőmérséklet hatására bekövetkező ellenállás változást az alábbi összefüggés adja meg:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha \Delta T + \beta \Delta T^2) \Rightarrow \alpha, \beta \text{ állandók}$$
- Ötvözés hatása a villamos ellenállásra
 - Mérési tapasztalat alapján adódott, hogy a maradó ellenállásnak a változása a koncentrációval az alábbiak szerint változik: $\rho_R(c) = A c (1 - c)$, ahol c az idegen atom atomkoncentrációja, A állandó, amely anyagi minőségre erősen változik. \Rightarrow Nordheim szabály.
 - Ha a koncentráció igen kicsi, akkor az oldatot hígnek mondjuk és kis koncentrációk esetén a maradó ellenállás arányos a koncentrációval, és így kapjuk, hogy $\rho_R(c) = A c$
 - Mott szabály $\Rightarrow \Delta \rho_{AB} = \Delta \rho_{BA}$
 - Abban az esetben, mikor a két fém minden mértékben oldja egymást, akkor a ötvöző rendszerben a vezetőképesség változását U-alakú, a fajlagos ellenállás változását pedig maximumos görbe jelzi.

- Az homogén szerkezetű ötvözetek a színeknél nagyobb ellenállást az idegen atomok okozta rácstorzulások okozzák. A jól vezető fémek ellenállását legnagyobb mértékben a metalloid természetű elemek, a foszfor, arzén, antimon növelik.
- A szilárd oldatok ellenállása két részből tevődik össze.



pt ellenállás a két fém ellenállásából adódik, és ez úgy változik, mint színeknél melegedésekor. ρ_0 -ra a hőmérséklet nem lehet hatással. A fajlagos ellenállásának hőmérsékleti tényezője: $\alpha_{\text{ötv}} = 1 / (\rho_t + \rho_0) d\rho_t / dT$

- Kétfázisú ötvözetek ellenállását a keverékszabállyal lehet meghatározni: $\rho_{\text{ötv}} = \rho_\alpha V_\alpha + \rho_\beta V_\beta$
- Az előző kifejezés úgy is felírható, hogy a relatív térfogat: $V_\beta = 1 - V_\alpha \rightarrow \rho_{\text{ötv}} = \rho_\beta + (\rho_\alpha - \rho_\beta) V_\alpha$
- Képlékeny alakítás hatása:
 - A képlékeny alakítás megnöveli az anyag fajlagos ellenállását: $\rho_a = \rho_0 + \Delta\rho$
 - A $\Delta\rho$ növekmény fémeknél: $\Delta\rho = K \varepsilon^n$, ahol ε a fajlagos alakváltozás, K és n állandók.
 - Ez a növekmény megfelelő hőkezeléssel megváltoztatható illetve megszüntethető.
- A hőkezelés hatása
 - Bonyolult hatás. Mindig meg kell adni az idő-hőmérsékleti programot. A képlékenyen alakított anyag megnövekedett ellenállása egy az anyagtól függő hőmérsékletre hevítés hatására megszűnik.
 - T_m és T_r hőmérsékleteket kell figyelembe venni. T_r rekristallizáció T_m megújulási hőmérséklet.
 - T_m alatt hevítve a fém a hidegalakítás során szerzett tulajdonságai változatlanok maradnak. T_m és T_r között hőmérsékleten végezzük az izzítást, akkor először a fajlagos ellenállás, majd a szilárdsági tulajdonságok változnak meg. T_r felett visszanyeri a fém az eredeti tulajdonságait.
 - Ennek megfelelően a teljes kilágyulás két folyamatban történik:
 - megújulás (Recovery)
 - rekristallizáció

21. Elemi és ötvözött félvezetők vezetési jellemzőik

- A félvezetők elektromos vezetőképessége a fémek és a szigetelők között van. A félvezetőket az jellemzi, hogy a sáv szerkezetükben a vegyértéksávot és a vezetési sávot egy viszonylag szűk 2 eV-nál kisebb tiltott sáv választja el.
- Egy ideálisan tiszta félvezetőben a vegyértéksáv 0 K°-on teljesen betöltött, a vezetési sáv pedig teljesen üres. Termikus vagy más energiák révén elektronok kerülhetnek a vezetési sávba, melynek révén a vegyértéksávban lyukak keletkeznek. Mind az elektronlyukak mind a vezetési sávban lévő elektronok képesek vezetési jelenséget mutatni.
- Ha a félvezetőben csak vegyérték és vezető állapot van, akkor a félvezetőt szerkezeti félvezetőnek nevezzük.

- A helyettesítéssel oldódó atomok, ha azoknak a vegyértéke nagyobb, vagy kisebb, mint az alapanyag vegyértéke, akkor a vezetősávban szabadelektronokat a vegyértéksávban pedig elektronlyukakat hoznak létre. Ha ezek száma jelentősen nagyobb, mint amivel a szerkezeti félvezetők rendelkeznek, akkor a félvezetőt n illetve p típusúnak nevezik.
- Ha a tiltott sáv szélessége nem nagyobb, mint 2 eV akkor szobahőmérsékletű termikus gerjesztés is elég nagy ahhoz, hogy elektronok kerüljenek a vegyértéksávból a vezetősávba. A hőmérséklet növelésével nő az elektronok száma is amelyek a vezetési sávba kerültek, ezt a Fermi-függvény mutatja meg.
- Azokat az anyagokat, amelyek szennyezőt nem tartalmaznak, és a tiltott sávjuk nem túl széles szerkezeti félvezetőknek nevezzük.

22. A villamos áram kialakulásának okai, p-n átmenet

- Ha egy elektron a kötésétől megszabadul és a rácsban olyan helyre kerül, ahol nincs elektron, akkor ennek az elektronnak az energiája most a vezetési sávba eső energia érték jellemzi. Ha az ilyen kristály elektromos térbe kerül, akkor a szabad elektron valamint a az a hely is ahol pozitív töltéstöbblet tartózkodik pillanatnyilag elmozdul. A pozitív lyuk a tér irányába, a szabadelektron pedig azzal ellentétes irányba mozdul el.
- Más a helyzet olyan félvezetőben, amely olyan atomot is tartalmaz szubsztitúciósan amelynek vegyértéke nagyobb, vagy kisebb, mint a szilíciumé és a germániumé.
- 5 vegyértékű elemek foszfor, arzén, antimon. Ezekben az ötödik elektron nem kerülhet a vegyérték sávba. Ezért az ötödik elektron nyomul a donorszintbe. És itt nincs

23. Vezeték és ellenállásanyagok

- A villamos áram vezetésére a könnyen huzallá húzható. Kis fajlagos villamos ellenállással és kielégítő szilárdsággal rendelkező fémek alkalmasak. Leginkább a fémek felelnek meg a követelményeknek.
- A szigetelt vezetékek, kábelek burkolására szolgáló fémek és ötvözetek képlékeny, könnyen sajtoltatható, viszonylag alacsony olvadáspontú, és korrózióval szemben ellenálló anyagok, amelyek mechanikailag is megfelelő védelmet biztosítanak. (Űn, ólom, ólomötvözetek, alumínium)
- A felületvédő bevonóanyagok a korróziótól, illetve a különböző kémiai hatásoktól óvják a fémeket. Az acélhuzalokat ónozással, illetve horganyozással védik a korróziótól.
- A mechanikai sérülésektől páncélozó anyagokkal védik a kábeleket. Páncélozásra általában acélhuzalokat és szalagokat használnak.

Tiszta fémek

1. Réz

- Előállítás: ércekből kohósítással, 98-99%-os Cu tartalom. Nyersrézből tűzi finomítással finom Cu-t kapunk. Majd oxidáló olvasztást alkalmazunk. Majd elektrolitikus finomítást végzünk. Így 99.9%-os Cu-t kapunk.
- Réz-oxid okozza a réz hidrogén betegségét. A hidrogén nagyobb hőmérsékleten bediffundál a rézbe és Cu₂O oxigénjével vízgőzt alakot. Az azonban már nem tud kidiffundálni és szétrepeszt a rezet.
- A réz elektromos vezetőképessége jelentősen romlik az ötvözők hatására. Pl.: P, Fe, Si.
- A réz jó korrózió álló. A felületén patina képződik és ez megvédi a további korróziótól. Egyedül ammóniában korrodál igen erősen.
- Ha a vörösréz szigetelő gumibe vonatot kap, abban az esetben védőbevonattal kell ellátni. Két oka van → gumi öregedését elősegíti → a gumiban lévő kén kikezdi a rezet. Ezért a vörös rézhuzalt ónozni kell.
- A réz szilárdsága nem túl nagy, fkk szerkezet, jól alakítható.

2. Alumínium

- Előállítás: bauxitból kilúgozott timföld tűzfolyós elektrolízisével történik. A megolvadt alumíniumot keverik, egyenlősítik, pihentetéssel finomítják. Al tartalom min. 99.45%.

- Az ötvözők ha szilárd oldatot képeznek az Al-mal, abban az esetben csökkentik a vezetőképességét. De ha nem képeznek szilárd oldatot, abban az esetben csak mennyiségi arányukban csökkentik a vezetőképességét. Ilyenkor lehet használni a keveredési szabályt. Minden ötvöző rontja a vezető képességét. És a réz és az ezüst is rontja, mivel oldódnak az alumíniumban.
3. Ón
- Az ónt érceiből állítják elő kohósítással, majd finomítják.
 - 13,2 °C-on allotróp átalakulása van és könnyen porítható állapotba kerül. → Ónpestis
 - Ónt a vörösrézhez való ötvözésére (forrasztóórnak) alkalmazzák.
4. Ólom
- A villamos vezetékekben az ólomot kábelköpenyek előállítására alkalmazzák.
 - A kohóólomot ólomércok kohósítása és tűzi úton finomított olvadék tömbösítésével állítják elő.
 - Minimális Pb tartalom 99,96%.
 - Az ólom jól ellenáll a korróziós hatásoknak. A felületén ólom karbonát réteg alakul ki és megvédi a további oxidációtól. Alacsony hőmérsékleten sajtolható és nem teszi tönkre a kábel szigetelőanyagát.
 - Hátránya, hogy alacsony hőmérsékleten (20-25 °C-on) újrakristályosodik és ezért a rázásnak kitett helyeken törés keletkezhet. Ezért vasutak mellett csak ötvözött ólomot lehet használni.
5. Horgany
- Előállítása: horganyércekből kohósítással nyers-, vagy hutahorganyt állítanak elő, amit ezután áteresztéssel és pihentetéssel tisztítanak. Majd a finomított horganyt szakaszos leparlással vagy elektrolízissel tovább finomítják.
 - A villamos vezetékekben használt acélhuzalok tűzi horganyozására Zn-K, galvanikus horganyozásra Zn-F használnak.

Ötvözetek

1. Rézötvözetek
- Cu-Cd ötvözet (kadmium bronz)
 - A réz villamos vezetését nem növeli, viszont jelentősen megnöveli az alapfém szilárdságát.
 - A réz korlátlanul oldja a kadmiumot. A szükséges vezetőképesség 1-1.5 % Cd-tartalom mellett már megfelelő.
2. Ötvözött alumínium
- Az alumínium szilárdságát Mg és Si ötvöző anyagokkal mely Mg_2Si formájában van jelen növelni lehet a villamos vezetőképesség viszonylag kisméretű csökkenése mellett.
 - Általában Si felesleggel készülnek, mert kedvezőbbek a tulajdonságai.
3. Acélok
- A kábelek páncélozására korrózióálló acélszalagokat alkalmaznak. A korrózió elleni védelem miatt a huzalokat horganyozzák.
 - Jelentős a felhasználás a nagyfeszültségű hálózatok fővezetékeinél, ahol acél-alumínium sodronyt alkalmaznak.

Ellenállás anyagok

- Felhasználás szempontjából három csoportra osztjuk:
 - precíziós és normál ellenállások
- minél nagyobb fajlagos ellenállás, kis hőmérsékleti együttható, kis termo feszültség a rézzel való érintkezéskor.
 - előtét és szabályzó ellenállások
- nagy fajlagos ellenállás, jól bírják a melegedést, áruk olcsó legyen, mert széles körben felhasználják őket.
 - fűtőellenállások
- jó hőállóság, oxigént át nem eresztő, magas olvadáspontú, tömör védő-oxid réteg kialakulását kívánják meg.
- Általános követelmény: nagy fajlagos ellenállás, az ellenállás kis hőfoktényezője, jó alakíthatóság.

- Itt csak ötvözeteket használnak, mert a színtémek nem tesznek eleget a követelményeknek.

Típusai

- rézalapú ötvözetek → Cu-Ni(konstantán), Cu-Mn (mangán)
- vasalapú ötvözetek → Fe-Si-Cr, Fe-Cr-Al
- nikkelalapú ötvözetek → Ni-Cr, Ni-Cr-Fe
- egyéb: platina, wolfram, grafit

24. Szupravezetés jelensége és anyagai

- 1911 Kammerling Onnes észlelte elsőnek a világon. Mikor a higany 4.2 °K hőmérsékleten ellenállása mérhetetlenül kicsire leesett.
- A higanyon kívül sokmás félvezetők és vegyületen észlelték már a szupravezetést. A kritikus átmeneti hőmérséklet tartomány a szupravezetőkénél 20 °K-tól néhány tized °K-ig terjed.
- Ha a szupravezető fém, akkor általában kisebb a kritikus hőmérséklete, mint a vegyületeknek.
- Az elektromos ellenállás függ a kristályrács rendezettségétől, deformációjától, rácshibáitól. Magasabb hőmérsékleten a rács rezgései játsszák a fő szerepet az ellenállás kialakításában. A maradék ellenállás pedig a mechanikai deformáció, idegen atomok jelenléte, egyéb rácshibák miatt van jelen.
- A szupravezetőkben nincs maradék ellenállás, elérve a kritikus hőmérsékletet az illető anyagnak az elektromos ellenállása nullára esik.
- A szupravezető állapot nemcsak a hőmérséklet növelésével, hanem a külső mágneses tér hatására is megszűnhet.
 - Ha a külső mágneses tér elér egy kritikus mértéket, akkor lerontja a szupravezetést. Ennek alapján:

$$H_k = H_0 (1 - T_k^2 / T_0^2)$$
 ahol,
 - H_k : a kritikus télerősség
 - T_k : a kritikus hőmérséklet
 - H_0 : az abszolút zérusfokhoz tartozó kritikus télerősség
 - T_0 : az átmeneti hőmérséklete $H=0$ télerősségnél.
 - Ezek az értékek jó közelítéssel egy parabolát adnak.
- A szupravezetőn átfolyó áram által keltett mágneses tér is megszüntetheti a szupravezetés jelenségét. Ezt kritikus áramerősségnek nevezik. Ez alapján:

$$I_k = 1/2 r H_k$$
 r: a vezető sugara, a kör alakú vezetőkénél.
- A kritikus áramsűrűség és a hőmérséklet között az alábbi összefüggés él:

$$J_k = J_{k0} [1 - (T/T_k)^4]$$
 ahol: J_{k0} : az anyagi minőségétől és méretétől függő állandó
- A szupravezető anyagok:
- A technikában alkalmazott szupravezetőkénél fontos nagy tisztaság. A fémek elsőfajú szupravezetők, melyek igen kis külső tér illetve hőmérséklet emelkedésére elvesztik szupravezető mivoltukat, ezért másodfajú szupravezetőket alkalmaznak, ezek általában ötvözetek.
 1. Nb₃Sn
 - Rácsszerkezete β-W típusú. A vegyület rendkívül rideg.
 2. Nb-Zr ötvözetek
 - Nb és a Zr széles összetétel tartományban szilárd oldatot alkot egymással. Ezek az ötvözetek jól kovacsolhatók, préselhetők, húzhatók.
 - Lényeges eredmény, hogy a kritikus mágneses tér illetve a kritikus áramsűrűség függ a rácsrendezetlenségtől, belső feszültségektől és a rácshibáktól. Így a gyártás során létrehozott hibák játszanak fontos szerepet.
 3. V-Ga ötvözetek
 - β -W rendben kristályosodik. V₂Ga-tól V₄Ga-ig.
 - V₃Ga-ötvözet rendkívül rideg, mechanikai megmunkálása igen nehéz és előállítására huzal vagy lemez formájában még nem ismeretes.

25. A Si jellegzetes tulajdonságai és más elemi félvezetők

- Félvezetőanyagok: a periódusos rendszer IV. csoportjába tartozó félvezető elemek kristályszerkezet olyan mint a gyémánté.
- A III-V és a II-VI oszlopok elemei között kialakuló félvezető vegyületek szerkezete általában szfalerit és wurzit szerkezetű.
- Nagyon nagy tisztaságot és szerkezeti tökéletességet írnak elő a szokásos félvezetőanyagok minősítésére. A nagy tisztaságot zónás átolvasztásokkal érik el. Egykristályokat állítanak elő az ismert módszerekkel. A p-n átmeneteket ötvözéssel diffúzióval, olvasztással és sok egyéb úton lehet elérni.
- A legáltalánosabban használt félvezető elemek a Si és Ge a periódusos csoport IV oszlopához tartoznak. Mindkettőnek gyémántszerkezete van. Ezek a félvezetők ha elég tiszták, akkor szerkezeti félvezetőknek tekinthetők. Si nagyobb hőmérsékleten használható, nagyobb olvadáspontja van mint a Ge-nek ezért előnyösebb.

Félvezető vegyületek:

- A IV csoport néhány kovalens vegyülete félvezető. Ilyen például a SiC, a szilícium karbid. Ha alumíniumot adagolunk hozzá, akkor p típusúvá válik, az oldott nitrogén n típusúvá alakítja.
- A vegyületek mindegyikének szfalerit szerkezete van.
- A vegyületek tiltott sávjának szélessége lehet nagyobb is mint a tiszta elemi félvezetőké. Minél nagyobb a tiltott sáv mérete, annál inkább képes a vegyület ellenállni a hőmérséklet emelésének.
- Lehetőség van a p és n típus kialakítására a megfelelő atomok szennyezésével.
- A II-VI oszlopba tartozó elemek vegyületei is lehetnek félvezetők. Ilyen például a CdSe, Cds, CdTe. Ezek a félvezetők jól alkalmazhatók fényérzékelő elemekként.

34. Mikroszkopikus és röntgendiffrakciós vizsgálatok

1. Mikroszkopikus vizsgálatok

- A fémek mikroszkópi vizsgálata során a mintákat fémmikroszkópokkal mértük. A mikroszkóp jellemzője a felbontóképesség, amely az a legkisebb távolság, amelynek a végpontjait már külön pontoknak érzékeljük. Ezt a távolságok a $d = \lambda/2 \cdot n \cdot \sin\alpha$ képlettel adhatjuk meg. Ahol n : a tárgy és a közeg közti immerziós közeg

törésmutatója

α : az optikai tengely és az objektívbe még bejutó legszélső fénysugarak alkotta kúp félszöge.

λ : a megvilágító fény hullámhossza

Megjegyzés: $n \cdot \sin\alpha$ szorzatot numerikus aperturának is szokták nevezni. Az immerziós közeg a mi esetünkben levegő, de leggyakrabban Cédrus olajat használnak, itt $n=1,52$.

Meg kell még említeni a hasznos nagyítás fogalmát. Ez a szem és az objektív felbontóképességének hányadosa. Ez az optikai mikroszkópoknál általában maximum 2000-szeres nagyítást jelent. Figyelembe kell venni még a mélység-élesség arányt is. Ez is befolyásolhatja a képkontrasztosságát.

- A mikroszkópi vizsgálatok során lényeges szabályai vannak a mintavételezéseknek. Ezek szerint a próbatest ideális mérete 20-25 mm él hosszúságú kocka vagy ugyanilyen átmérőjű és magasságú henger. A mintát forgácsoló lejárással munkáljuk ki és műgyantába szokás helyezni a kezelhetőség érdekében. A vizsgálathoz sima felületet kell kialakítanunk és ezért csiszolni kell a mintát. Ez több lépésben folyik, általában 5-6 féle egyre finomabb szemcseátmérőjű csiszolópapírt használunk. Ezek után az eltorzult felületi réteg eltávolítása miatt polírozzuk a mintát. Az így elkészített minták síktükörként viselkednek.
- A mikroszkópi vizsgálatok során lehet vizsgálni a mintán található repedéseket üregeket, zárványokat, fázisok eloszlási viszonyait.
- Transzmissziós elektronmikroszkóp és Pásztázó elektronmikroszkóp.

2. Diffrakciós módszerek

- Diffrakció elhajlási jelenségre utal. Bármilyen sugárzást lehet alkalmazni.
- foton (röntgen) \Rightarrow gyakori, könnyű előállítani, nincs vákuum, nincs töltés, legolcsóbb
- elektron \Rightarrow van vákuum, van töltés, \rightarrow termikus emisszió
- neutron \Rightarrow semleges, de van mágneses momentuma, \rightarrow reaktor kell hozzá

- Röntgen sugárzás is elektromágneses sugárzás. A látható fénynél sokkal kisebb a hullámhossza. A felhasznált sugarak hossza 0.5-2.5 Amströd

Röntgen sugarak keltése:

- Röntgenső segítségével állítjuk elő.
- Vákuumdióda \Rightarrow 2 fémelektrod (kettő közti feszültség 10-60 kV) \rightarrow anód, katód
- Működés: felgyorsítja az elektronokat és az ütközés az anóddal folyamat során röntgen sugárzás keletkezik.
- A rendszert hűteni kell.

Számolás a rendszerrel:

- Az ütközés során egyetlen elektron energiája egy foton energiájává lakul.
 $\Rightarrow qU = h\nu_{\max}$ (U - gyorsító feszültség, ν_{\max} - legkisebb hullámhosszhoz tartozó frekvencia)
 \Rightarrow legkisebb hullámhossz: $\lambda = hc / qU$

Fehérfény, fehér röntgen sugárzás, ha λ tart x-hez.

Karakterisztikus sugárzás:

- Akkor lép fel, ha az anód feszültségét egy a kritikus feszültség felé emeljük. Ekkor éles intenzitás maximumok keletkeznek. \Rightarrow Karakterisztikus spektrumok
- A sugárzás az elektronhéj szerkezet függvénye.

Abszorpció:

- Ha egy anyagot röntgen sugárzás ér, akkor egy része reflektálódik, egy része irányváltoztatás nélkül áthalad rajta, egy része elnyelődik és egy része szóródik.
- A szórt komponensnek két összetevője van:
 1. inkoherens \Rightarrow nem képes interferálni, zajként jelentkezik
 2. koherens 3-5% hatásfokkal

Képlettel: $I = I_0 \cdot e^{-\mu x}$, ahol $\mu = \text{const } \rho \cdot \lambda^3 \cdot Z^2$

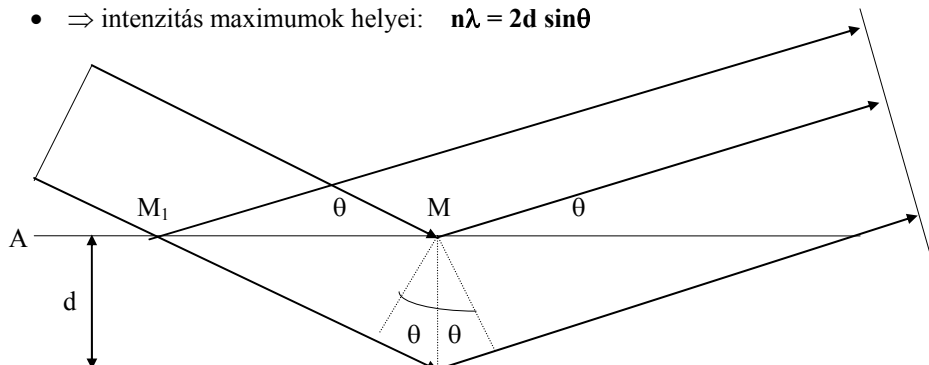
Függvényében éles törés \Rightarrow abszorpció élnek nevezzük.

Felhasználás: szűrőként használják.

A röntgen diffrakció geometriája:

- *Bragg-elmélete*: a röntgensugarak az atomi síkokról mint siktükrörről reflektálódnak. Figyelembe véve azt a törvényt, hogy a beeső és a reflektált sugár által bezárt szög szögfelezőjének iránya merőleges a reflektált síkra.

- \Rightarrow intenzitás maximumok helyei: $n\lambda = 2d \sin\theta$



B

Reflektált sugár intenzitása:

- Magát az intenzitást a kristályszerkezet és az atomszerkezet szabja meg.

Szerkezeti tényező: $F = \sum f_n e^{2\pi j(h un+k vn+l wn)}$

Laue módszer:

- egykristályok orientációjánál használjuk
- hiperbolikus zónatengelyeken helyezkednek el.
- A felvétel kiértékelése alapján a különböző helyzetű síkok reflexiója által keltett pontok egymástól való távolságát mérjük.

Debye-Scherrer módszer:

- Minden kristályos szerkezet mérhető.
- Csak monokromatikus sugárzás a megfelelő. Ismert λ értékkel.
- A próbatest mindig pór vagy vékony drót.
- Az eredményen egy-egy kristálysík reflektálódik.

Probléma \Rightarrow Háttérsugárzás által keltett szekunder sugárzás \rightarrow a filmen feketedés jelentkezik.

Guinier:

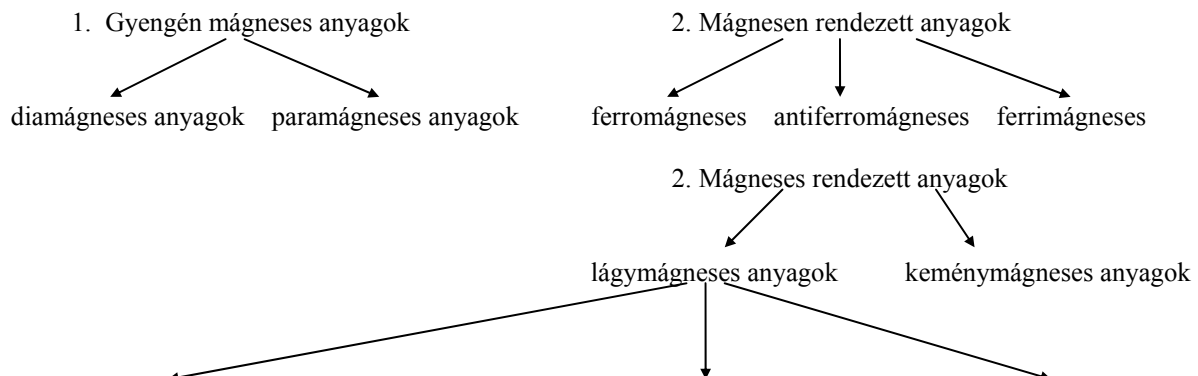
- Egykristály monokromátort használunk.
- Fókuszáljuk a röntgen nyalábokat.
- Rendkívül kedvező jel/zaj viszony.

\Rightarrow A vizsgálatok csak néhány mikronnyi felületről adnak információt.

35. Mágneses anyagok

(Mágneses tulajdonságok eredete, doménszerkezet, mágnesezési görbék)

- Mágneses anyagok csoportosítása:



Fe-Si ötvözetek(trafó és dinamó elemek) Fe-Ni ötvözetek (permalloyok) Lágýferritek (kerámiamágnesek)

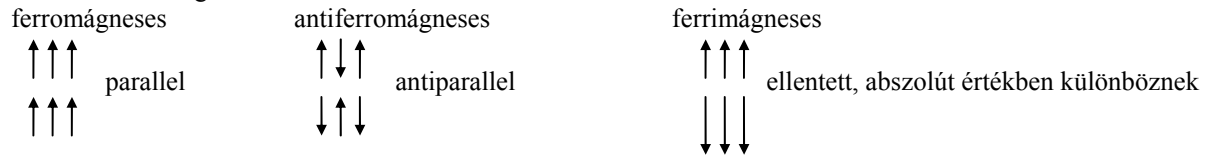
- Minden mágnesesen rendezett anyag egy bizonyos hőmérsékleten paramágnessé válik.
 - ferromágneses anyagok \Rightarrow Curie-hőmérséklet
 - antiferromágneses és ferrimágneses anyagok \Rightarrow Neel-hőmérséklet
- Az anyagok mágneses viselkedését néhány anyagi paraméter jellemzi:
 - **B** mágneses indukció
 - **H** térerősség
 - μ_0 permeabilitás
 - **M** az anyagtérfogat egységére eső eredő mágneses momentum \Rightarrow az anyag mágnesezettsége
 - $\mathbf{M} = \kappa \mathbf{H}$, ahol κ a mágneses szuszceptibilitás
 - Vákuumban az alábbi mennyiségek közti kapcsolat:
 - $\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H}$
 - Ha nem vákuumban vizsgáljuk, akkor:
 - $\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M})$
 - Ezekből a kifejezésekből származtatható:
 - $\mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M}) = \mu_0 (\mathbf{H} + \kappa \mathbf{H}) = \mu \mathbf{H}$
 - $\mu_0 (1 + \kappa) = \mu$
 - $\mu_r = \mu / \mu_0 = 1 + \kappa$
 - ahol μ_r az anyag relatív mágneses permeabilitása
- A szuszceptibilitás, vagy a relatív permeabilitás alapján soroljuk be az anyagokat:
 1. ha a szuszceptibilitás < 0 vagy a relatív permeabilitás $< 1 \Rightarrow$ diamágneses
 2. ha a szuszceptibilitás > 0 vagy a relatív permeabilitás $> 1 \Rightarrow$ paramágneses
 3. ha a szuszceptibilitás $\gg 1$ vagy a relatív permeabilitás $\gg 1 \Rightarrow$ ferro, illetve ferrimágneses
- Doménszerkezet:
 - A mágneseződés mechanizmusának magyarázatának alapvető szerepe van a doménelméletnek.
 - A domének olyan tartományok a mágneses anyag kristályain belül, melyekben az elemi mágneses momentumok túlnyomó többsége egy adott irányban áll, és ez az irány rendszerint valamelyik kitüntetett kristálytani iránnyal, az un. könnyű mágnesezési irányok egyikével azonos.
 - A domén tartományokon belül az anyag telítettséig van mágnesezve, de a teljes térfogatra vizsgálva a semlegesíthetik egymást.
 - Mágnesezés vektora: $\mathbf{M} = M_S \sum_i \mathbf{V}_i \cos \vartheta_i$

ahol: M_S a telítési mágnesezés adott hőmérsékleten
 \mathbf{V}_i az i -edik domén térfogata
 ϑ_i az i -edik domén mágnesezési vektorának hajlásszöge az eredő mágnesezési irányhoz.
 - Ebből az adódik, hogy a mágnesezettség megváltoztatásának kétféle módja lehetséges:
 1. az egyedi doménnek térfogatának megváltozása (doménfal eltolódása)
 2. egy-egy doménon belül a mágneses momentumok irányának megváltozása
- Külső mágneses teret alkalmazva a doménfalak mozgása megindul és a doménfalak mozgása számtalan akadályba ütközhet: kristályhibák, zárványok, belső feszültségek, inhomogenitások stb. ...
- A mágneses teret fokozatosan növelve, zérustól a doménfalak áthelyeződnek, a külső mágneses térhez képest, kedvező irányítású domének összterfogata növekszik.
- Amikor már nem tud **M** ilyen módon növekedni, akkor a megmaradó domének kénytelenek a tér irányába befordulni, kilépve a könnyű mágnesezési irányból. Ilyenkor lényegében eltűnnek a doménfalak és egyetlen doménné alakul az egész anyag.
- Mágnesezési görbék:
 - hiszterézis görbe ?????

Néhány mágneses anyagcsalád jellemezése:

1. Diamágneses anyagok:

- elemi mágneses momentumok nincs, illetve azon teljesen kompenzálják egymást.
 - külső mágneses tér \Rightarrow mágneses momentum indukálódik \Rightarrow szuszceptibilitás negatív
 - Mágneses tér és T független
2. Paramágneses anyagok:
- van elemi mágneses momentumuk, de a hőmozgás miatt statikusan rendezetlen irányt mutatnak.
 - külső mágneses tér \Rightarrow momentumok beállnak a tér irányába \Rightarrow szuszceptibilitás > 0 és T függő
 - alkalmazás: geodéziai műszerek \Rightarrow szuszceptibilitás $0 \Rightarrow$ antimágnes és csak egy hőmérsékleten.
3. Mágneses rendezett szerkezetű anyagok:
- a mágneses momentumok állása szerint:



36. Lágymágneses anyagok

(Lágymágneses anyagcsaládok, elvárások, jellemzők)

- Lágymágneses anyagoknak nevezzük az olyan anyagokat, melyek kicsi koercitív erővel rendelkeznek. A lágymágneses anyagoknál az anyagi jellemzők:
 - koercitív erő H_C
 - telítési és remanens indukció (B_S és B_R)
 - permeabilitás: μ
 - fajlagos villamos ellenállás: ρ
- Általában H_C minél kisebb és a B_S és B_R és μ és anyagi jellemzők minél nagyobb.
- Ahhoz, hogy H_C minél kisebb értéket vegyen fel, ahhoz a mágnesezési folyamatot könnyebbé kell tenni. Ennek a feltételnek a kevés rácshibát tartalmazó szilárdoldatok tesznek eleget. Így legjellegzetesebb három lágymágneses ötvözet csoportot tudunk kialakítani.

1. Fe-Si ötvözetek (trafó és dinamólemezek)

- A Si ötvöztés a fajlagos ellenállat növekedéséhez vezet. Si alacsony ára.
- Kedvezőtlen, hogy a B_S kismértékben csökken a tiszta Fe-hez viszonyítva.
- A Si-tartalom növelésének a képlékenységi mutatók romlása szab határt.

2. Fe-Ni ötvözetek (permalloyok)

- Igen nagy permeabilitással rendelkeznek, különösen a 75% Ni-t tartalmazó koncentrációnál, ahol a az ötvözet anizotrópia állandója zérus és a magnetostrikciója pedig kicsiny.
- Hátránya, hogy a telítési indukciója durván csak a felel a Fe-Si ötvözeteknek.
- Ni meglehetősen drága és megfelelő hőkezelést igényel.
- A permalloyok gyakorlatilag használhatatlanok hőkezelés nélkül. E nélkül kialakul a $FeNi_3$ összetételű rendezet rácsú szilárdoldat.

3. Lágyferritek (kerámia mágnesek)

- Alkalmazásukat a rendkívül nagy fajlagos ellenállásuk indokolja.
- A mágneses tulajdonságaik jelentősen gyengébbek az előző fémes ötvözetekhez viszonyítva.
- Alacsony a Curie-hőmérsékletük így érzékenyen reagálnak a hőmérséklet változásra.

37. Keménymágneses anyagok

(Keménymágneses anyagcsaládok, elvárások, jellemzők)

- Keménymágnesnek (állandómágnesnek) nevezzük a nagy koercitív erővel rendelkező anyagokat. Kiválasztásuknál az alapvető jellemzők:
 - koercitív erő H_C

- remanens indukció B_R
- a max. energiaszorzat : BH_{\max}
- fajlagos villamos ellenállás: ρ
- alakíthatósági paraméterek
- Annál jobbnak tekintünk egy keménymágneses anyagot, minél nagyobb értékűek a felsorolt mágneses és villamos jellemzők. A technológia számára a legfontosabb feladat a H_C növelése.
- Meg kell nehezíteni a doménfal eltolódást. Ez lehetséges például a második fázis kialakításával, rácshiba sűrűség növelésével stb. Meg kell próbálni egy olyan szilárd testet létrehozni, amelyben nem jöhet létre doménfal eltolódás. Meg lehet nehezíteni a momentumok átfordulását is, úgy hogy minél nagyobb kristályanizotrópiájú anyagot választunk, melyben lehetőleg kevés a könnyűmágnesezési irány.
- Keménymágneses anyagcsaládok:
 1. ESD mágnesek
 - Elnevezés a nyújtott egydoménű szerkezet elnevezéséből származik.
 - Ezek nem mások, mint amikor lágymágneses anyagok domén méretű részecskéit kötőanyagba ágyazva keménymágneses anyagot nyerünk.
 - Lehetnek Fe vagy Fe-Co ötvözetek. Vagy műanyagmágnesek, itt a kötőanyag rendszerint valamilyen műgumi.
 - Előnyük: utólagos megmunkálhatóság, forgácsolhatóság, kicsi sűrűség.
 2. Martenzites acélok
 - Fe-C kétkomponensű ötvözetek. 0.7-1% C tartalommal.
 - Martenzites szerkezet kialakításakor a koercitív erő 5-7 szeresére is növekedhet.
 - Hátrány: edzés után ridegek és törékenyek. További megmunkálásuk csak köszörüléssel lehetséges.
 - Ezek az ötvözetek időre érzékenyek \Rightarrow mágneses öregedésre hajlamosak.
 3. Fe-Al-Ni ötvözetek
 - Másik elnevezés az Alnico család.
 - Hőkezeléssel igen kedvező keménymágneses szerkezet állítható elő. Egy domén méretű fázis kialakítása.
 4. Cu-Ni-Co ötvözetek
 5. Cu-Ni-Fe ötvözetek
 6. Fe-Co-V ötvözetek
 7. Pt alapú mágneses ötvözetek
 8. Kobalt-ritkaföldfém ötvözetek
 9. Heussler-ötvözetek
 10. Hexagonális ferritek