



Fogorvosi Anyagtudomány Fizikai Alapjai

5.

Általános anyagszerkezeti ismeretek
Anyagcsaládok: fémek és kerámiák

Tankönyv fejezetei:
9-11

HF:
3. fejj.:
1-13, 14-20

1


Fogászati anyagok fajtái

FÉMEK
Fémes kötés

KERÁMIÁK
Fémes és nemfémes elemek vegyületei.

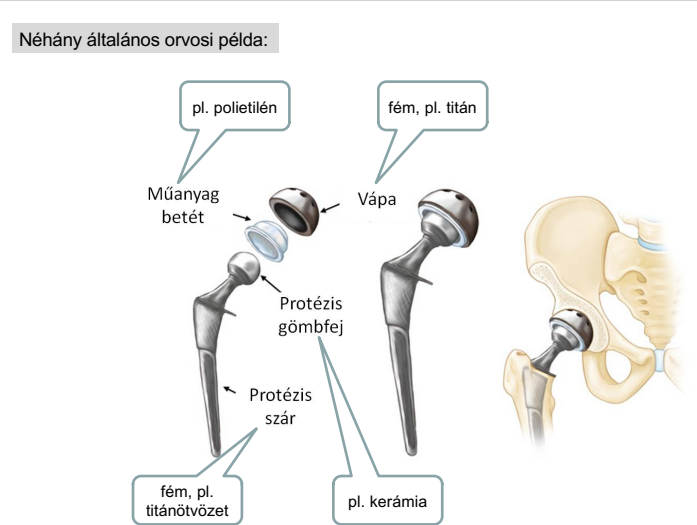
POLIMEREK
Egy alegység ismétlődésével felépülő láncszerű molekulákból áll.

KOMPOZITOK
Az előző 3 család legalább kétféle anyagából áll.



2

Néhány általános orvosi példa:



pl. polietilén

Műanyag betét

Vápa

fém, pl. titán

Protézis gömbfej

Protézis szár

fém, pl. titánötvözet

pl. kerámia

3

Néhány fogorvosi példa fémekre:

fémkorona, pl. arany ötvözet

fém implantátum pl. titánötvözet

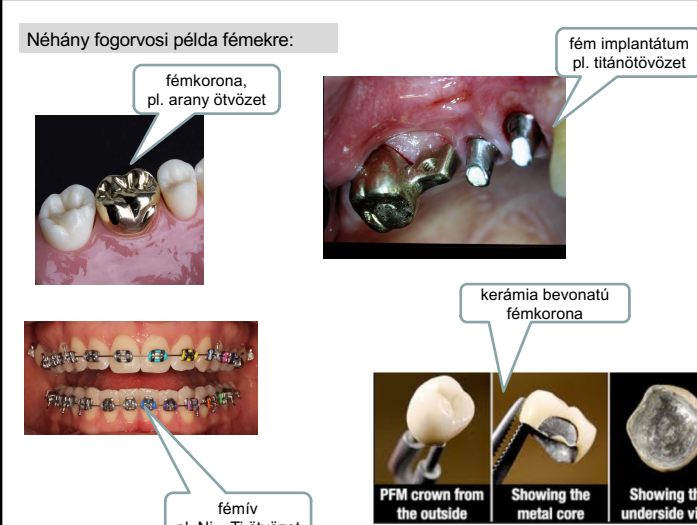
kerámia bevonatú fémkorona

PFM crown from the outside

Showing the metal core

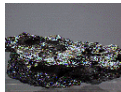
Showing the underside view

fémív pl. Ni – Ti ötvözet



4

Fémek



Tulajdonságai:

- gyakori anyag; változatos tulajdonságúak
- viszonylag nagy sűrűség
- szobahőmérsékleten szilárd (kivéve Ga és Hg)
- viszonylag nagy szívósságúak és szilárdságúak
- viszonylag jól alakíthatók
- hajlamosak a korrózióra (kivéve a nemesfémek)
- ötvözéssel tulajdonságaik jól befolyásolhatók
- jó hő- és elektromos vezetőképesség
- fémes szín
- nagyrészt nem biokompatibilisek

Szerkezete:

- fémes kötés
- szímfémekben azonos méretű atomok
- kristályos (leggyakrabban hexagonális, vagy köbös)*
- polikristályos**

amorf
fémüveg!

Alkalmazási példák:

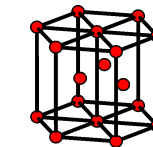
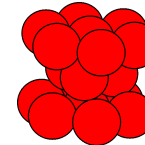
- koronák, hidak
- implantátumok
- tömés
- fogszabályozó készülékek

Előállítás: olvasztás, öntés

5

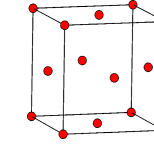
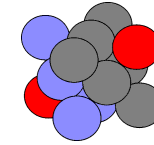
*Miért gyakori a hexagonális és köbös rács a fémeknél?

Egyforma gömbök illeszkedése!



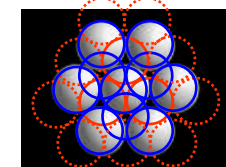
szoros illeszkedésű
hexagonális (hcp)

pl. Ti, Cd, Co, Zn, ...
térfeltöltési
tényező: 74 %



szoros illeszkedésű köbös
(lapcentrált köbös, fcc)

pl. Ag, Au, Pt, Al, Cu, Ni, ...
74 %

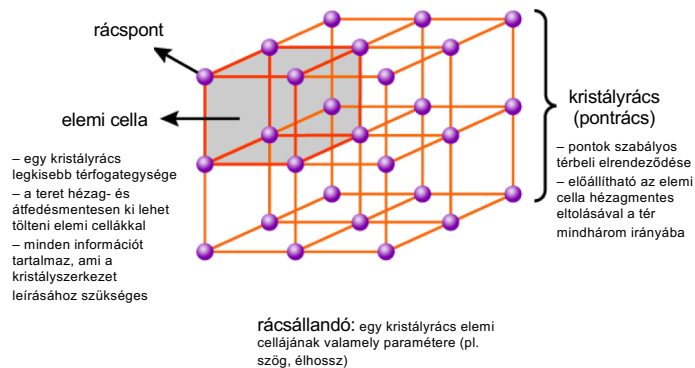


kevésbé szoros
illeszkedés: pl.
térfeltöltési
tényező: 68 %

pl. Fe, Cr, ...
68 %

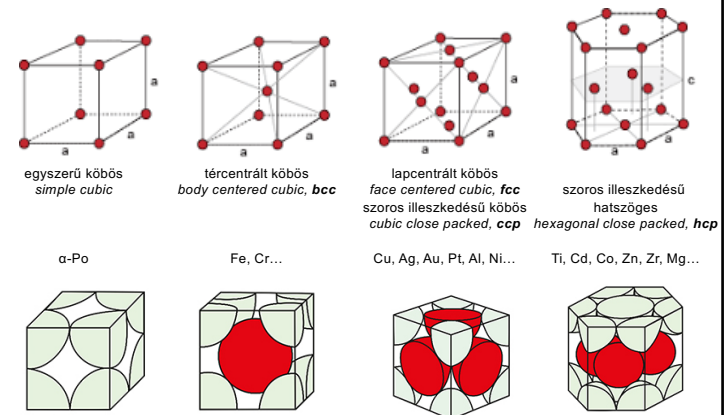
6

Kristályrács és elemi cella



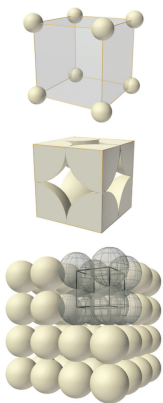
7

Fémek kristályszerkezete



8

Egyszerű köbös rács



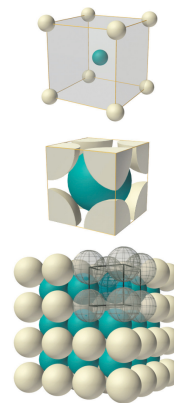
egy elemi cellára eső gömbök száma: 1

az elemi cella élhossza: $a = 2r$

térkitöltési tényező: $\frac{V_{Kugel}}{V_{Elementarzelle}} = \frac{\pi}{6} \approx 0,5236 \approx 52\%$

9

Tércentrált köbös rács



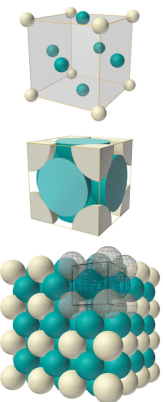
egy elemi cellára eső gömbök száma: 2

az elemi cella élhossza: $a = \frac{4r}{\sqrt{3}}$

térkitöltési tényező: $\frac{V_{Kugel}}{V_{Elementarzelle}} = \frac{\pi\sqrt{3}}{8} \approx 0,6802 \approx 68\%$

10

Lapcentrált köbös rács (Szoros illeszkedésű köbös rács)



egy elemi cellára eső gömbök száma: 4

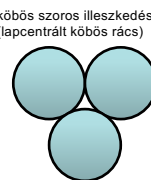
az elemi cella élhossza: $a = \sqrt{8}r$

térkitöltési tényező: $\frac{V_{Kugel}}{V_{Elementarzelle}} = \frac{\pi}{3\sqrt{2}} \approx 0,7405 \approx 74\%$

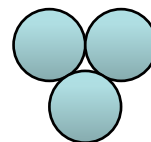
11

Gömbök szoros illeszkedésű halmaza

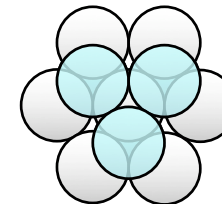
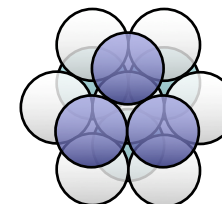
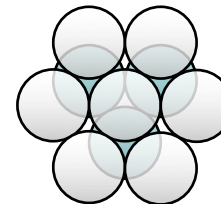
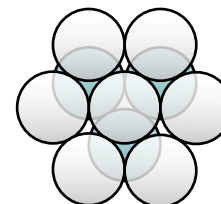
köbös szoros illeszkedésű rács
(lapcentrált köbös rács)



kitöltési hányados: 74%

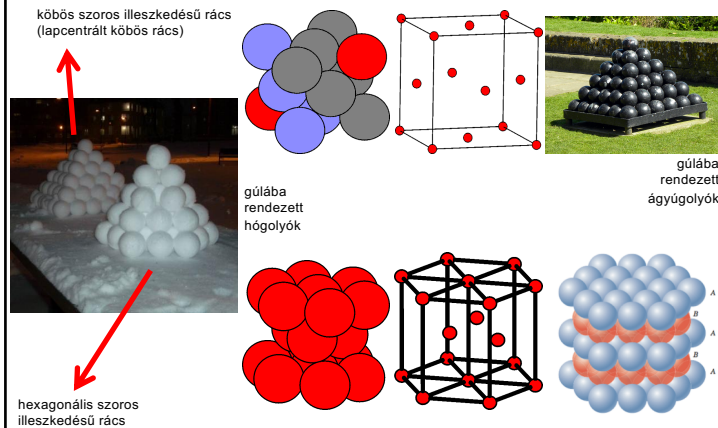


hexagonális szoros
illeszkedésű rács



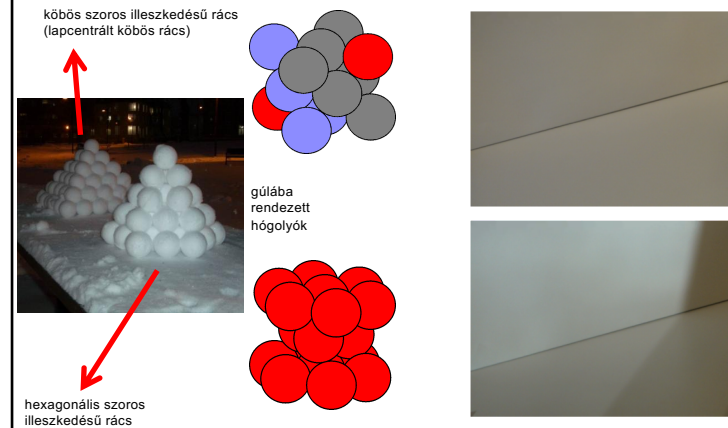
12

Gömbök szoros illeszkedésű halmaza



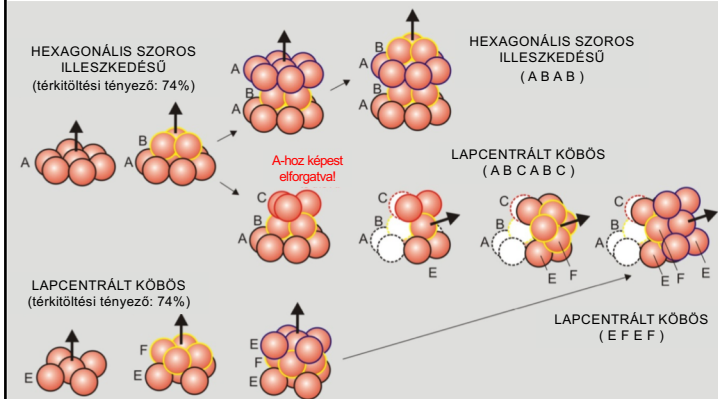
13

Gömbök szoros illeszkedésű halmaza



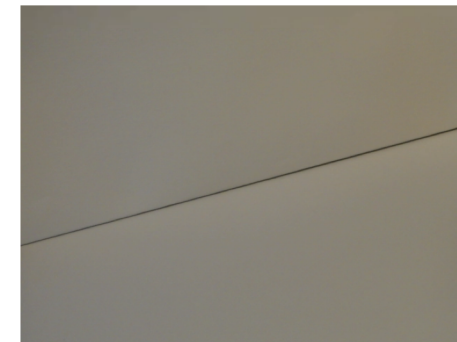
14

Gömbök szoros illeszkedésű halmaza



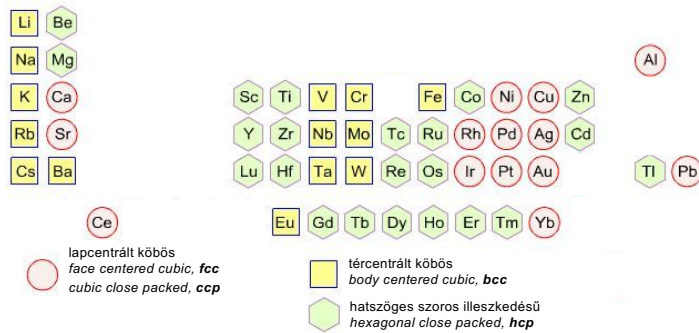
15

Gömbök szoros illeszkedésű halmaza

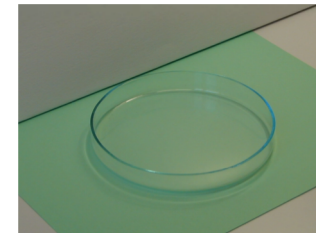
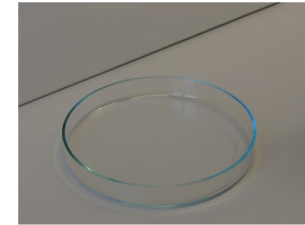


16

Fémek kristályszerkezete



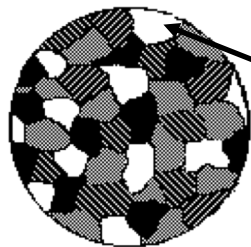
17



18

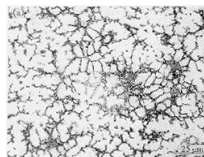
**Polikristályos szerkezet

Szövetszerkezet, mikrostruktúra:

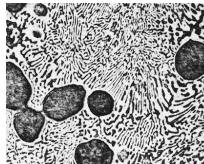


szemcsék
(kristallitok,
szövetelemek)

homogén szövetszerkezet



heterogén szövetszerkezet



Szövetszerkezet vizsgálata:

- csiszolás durvább/finomabb
- kémiai maratás
- mikroszkópi megfigyelés (fémmikroszkóp)

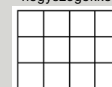
19

Kvázikristályok

csempézés szabályos
háromszögekkel



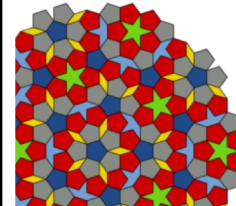
csempézés szabályos
négyzetekkel



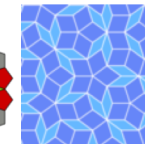
csempézés szabályos
hatszögekkel



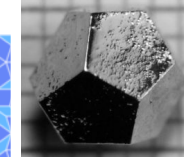
Csempézés szabályos ötszögekkel? Nem lehetséges, de egy szabályszerű ötfogású szimmetriájú csempézés igen.



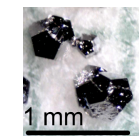
Penrose-
csempézés



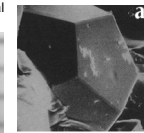
A kvázikristályokban egyfajta "aperiodikus rend" uralkodik és ötfogású szimmetriával, illetve dodekaédres alakkal rendelkeznek



Ho-Mg-Zn-
kvázikristály



Gd-Cd-kvázikristály

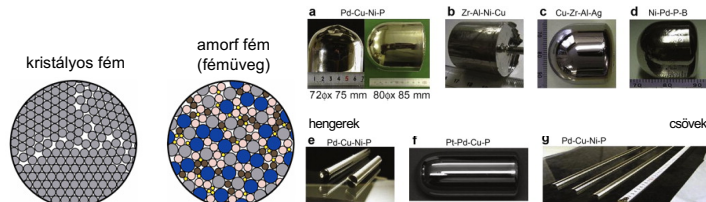


Al-Cu-Fe-
kvázikristály

20

Fémüvegek (amorf fémek)

- Az első fémüveg: 1960-as évek, Au-Si-ötvözet, $\approx 10^6$ K/s hűtési sebesség (l), méret < 1 mm.
- az első kereskedelmi fémüveg: 1990-es évek, Zr-Ti-Cu-Ni-Be-ötvözet, ≈ 1 K/s hűtési seb., méret ≈ 1 cm.



Fémüvegek (BMG) különleges tulajdonságai a kristályos fémekhez képest:

- kevesbé merev
- elasztikusabb
- szilárdabb
- keményebb
- kopásállóbb
- korrozíóállóbb
- jobb biokompatibilitás

21

Fémötvözetek Cél: tulajdonságok javítása, pl.

- korrozíóállóság javítása, pl. Fe, Ni, Co, ...+Cr
- nagyobb keménység, merevség elérése, pl. Au+Cu
- fém-kerámia adhézió növelése, pl. nemesfém+Fe, Sn, In

Osztályozás:

- fém + fém, pl. Fe+Cr
- fém + nemfém, pl. Fe+C
- használat szerint (pl. inlay, korona, ...)
- alap elem szerint (arany alapú, palládium alapú, ...)
- komponensek száma (biner, terner, kvaterner,...) szerint
- 3 fő elem szerint (pl. Au-Pd-Ag, Ni-Cr-Be, ...)
- uralkodó fázisdiagram szerint
 - szilárd oldat
 - eutektikus ötvözet
 - peritektikus ötvözet
 - fémvegyület



22

Ötvözetek: Példák

a hétköznapiakból: rézbázisú

- bronz:** Cu + Sn
- alumíniumbronz: Cu + Al
- sárgaréz:** Cu + Zn
- „nordic gold”: Cu + Al + Zn + Sn
- alpakka:** Cu + Ni + Zn
- konstantán: Cu + Ni + Mn
- vasbázisú
- acél:** Fe + C (<2,06%)
- rozsdamentes acél, Inoxacél:** acél + Cr
- ChroVa Stahl: Stahl + Cr + V
- alumíniumbázisú
- dural: Al + Cu (+ Mg + ...)

a fogorvosi gyakorlatból: nemesfémbázisú

- Bioporta G: Au + Pt + Zn + In
- Degulor M: Au + Ag + Pt + Pd + Cu + Zn
- Bio Herador N: Au + Pt + Zn + Mn
- nemnemesfémbázisú
- Ti6Al4V: Ti + Al + V
- amalgám:** Hg + Ag + Sn + Cu + Zn
- kobalt-kró-molibdén-ötvözet
- rozsdamentes acél
- nikkel-titán-ötvözet
- béta-titán-ötvözet: Ti + Mo

FAFA_DE

5 | Metalle und Keramiken

23

Ötvözési arányok:

tömeg% $c_{m,1} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot 100\%$

mól% $c_{v,1} = \frac{V_1}{V_1 + V_2} \cdot 100\%$ → tulajdonságok!
(Pl. Ni-Cr-Mo-Be ötvözet: Be 1,8 súly% ↔ 11 mól%)

Átszámoláshoz:

$$c_{v,1} = \frac{c_{m,1} \cdot M_2}{c_{m,1} \cdot M_2 + c_{m,2} \cdot M_1} \cdot 100\% \quad c_{m,1} = \frac{c_{v,1} \cdot M_1}{c_{v,1} \cdot M_1 + c_{v,2} \cdot M_2} \cdot 100\%$$

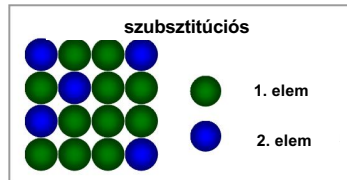
Átlagsűrűség: $\bar{\rho} = \frac{\rho_1 \cdot \rho_2}{c_{m,1} \cdot \rho_2 + c_{m,2} \cdot \rho_1}$

24

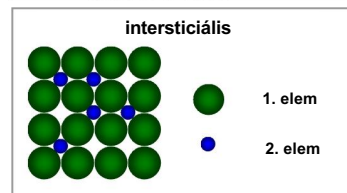
Szilárd oldat (elegykristály)

Mind folyadék fázisban, mind szilárd fázisban jó oldódás →

homogén szövetszerkezet



pl. Cu-Ni, Pd-Ag, Au-Cu, ...



pl. Fe-C, CP Ti (O, C, N, H), ...

(CP: kereskedelmi tisztaságú)

25

Oldhatóság feltételei szubsztitúciós szilárd oldatra:

- atomok mérete ne nagyon különbözzön (< 15%)
- azonos kristályrács típus
- hasonló elektronegativitás
- vegyérték azonos, vagy az „oldószer” vegyértéke nagyobb

| fém | atom átmérő (nm) | rács típus | elektro-negativitás |
|-----|------------------|--------------|---------------------|
| Au | 0,2882 | fcc | 2,4 |
| Pt | 0,2775 | fcc | 2,2 |
| Pd | 0,2750 | fcc | 2,2 |
| Ag | 0,2888 | fcc | 1,9 |
| Cu | 0,2556 | fcc | 1,9 |
| Ni | 0,25 | fcc | 1,8 |
| Sn | 0,3016 | tetragonális | 1,8 |

Oldhatóság feltételei intersticiális szilárd oldatra:

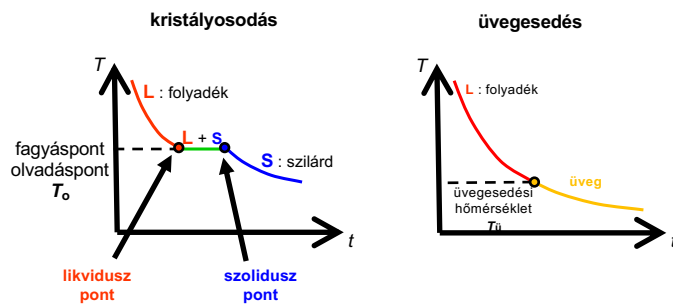
- „oldott” atom mérete jóval kisebb
- „oldott” anyag mennyisége kicsi (< 10%)

Szilárd oldat tulajdonságai:

Rugalmassági határ, szilárdság, keménység nő, képlékenység csökken, pl. Au-Cu(5 tömeg%)

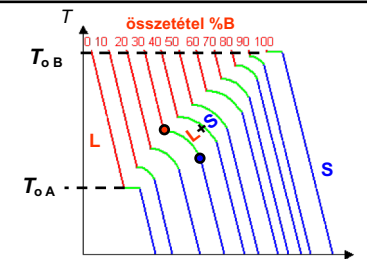
26

Tiszta fémolvadék lehűlési görbéje

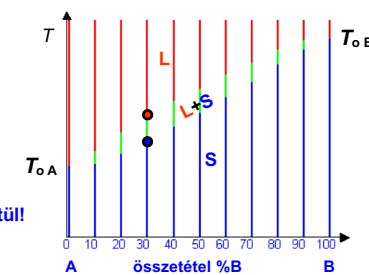


27

Szilárd oldat lehűlési görbéje

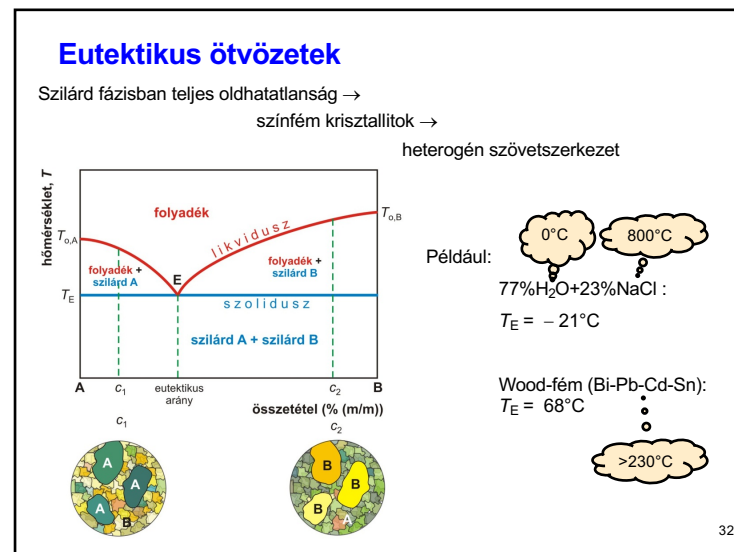
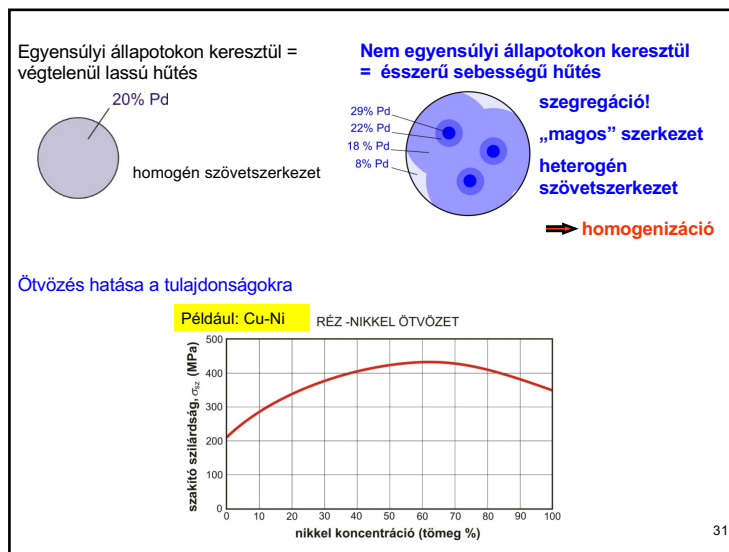
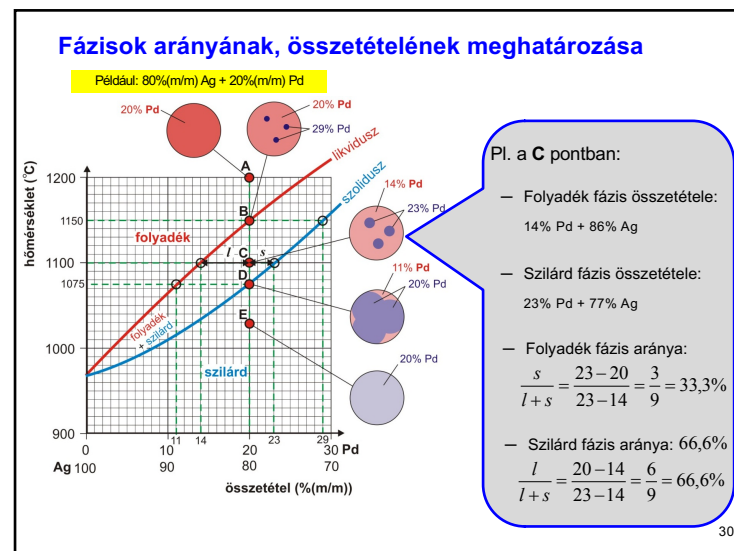
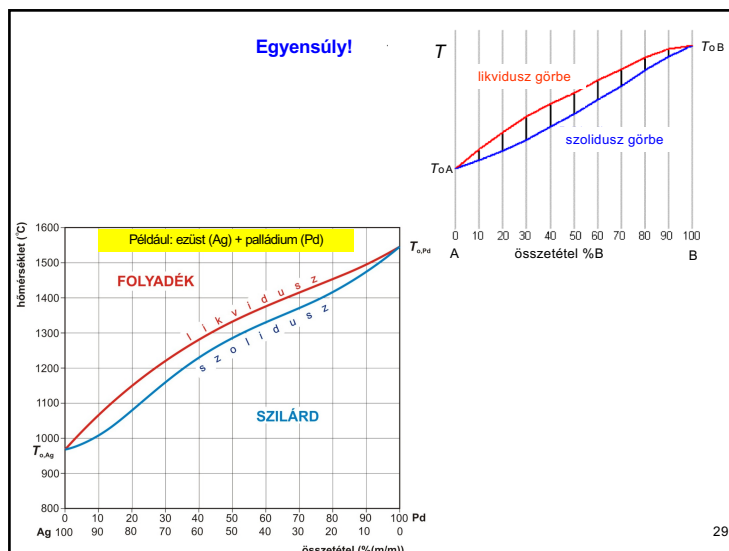


fázisdiagramja

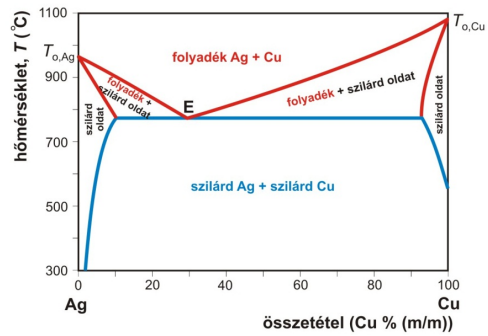


Egyensúlyi állapotokon keresztül
= végtelenül lassú hűtés

28

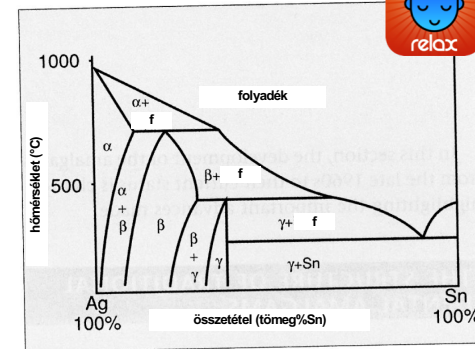


Pl. Ag-Cu



33

Ag-Sn fázisdiagramja



γ fázis: Ag_3Sn

34

Amalgám

Higanyalapú ötvözet

| fém | %(m/m) |
|-----|--------|
| Hg | 50 |
| Ag | 34 |
| Sn | 13 |
| Cu | 2 |
| Zn | 1 |

EU: 2019. jan. 1-től csak kapcsolózva



kész amalgamtömés

Amalgamtömés:

- tartós és olcsó
- javallat: más tömőanyagokra való érzékenység

35

Kerámiák

Definíció: fémek és nemfémek vegyülete (vannak kivételek!)

Tulajdonságai:

- közepes sűrűség
- szobahőmérsékleten szilárd
- nagy merevség, keménység, de nem jól alakíthatók, törékenyek
- nagy hő- és korrózióállóság
- gyenge hőszigetelés
- rossz hő- és elektromos vezetőképesség
- változatos optikai tulajdonságok
- biokompatibilitás



Előállítás:

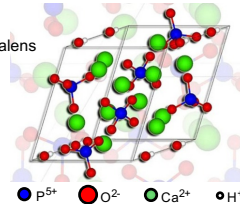
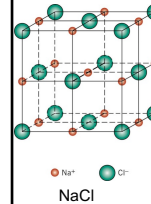
- olvasztás, öntés
- szinterelés*

Szerkezete:

- főként ionkötés, kisebb részben kovalens
- különböző méretű ionok (általában)
- kristályos v. amorf v. vegyes**

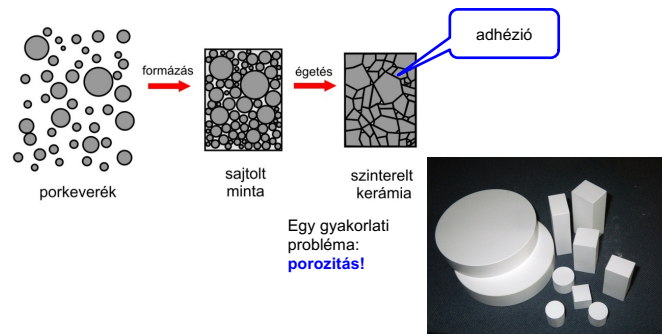
Alkalmazási példák:

- koronák, hidak
- gyökértíft
- cementek
- csiszolóanyagok



36

*Szinterelés



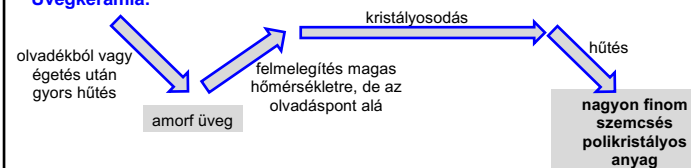
Folyadékfázisú szinterelés: olvasztás és égetés kombinációja

37

**Szerkezet

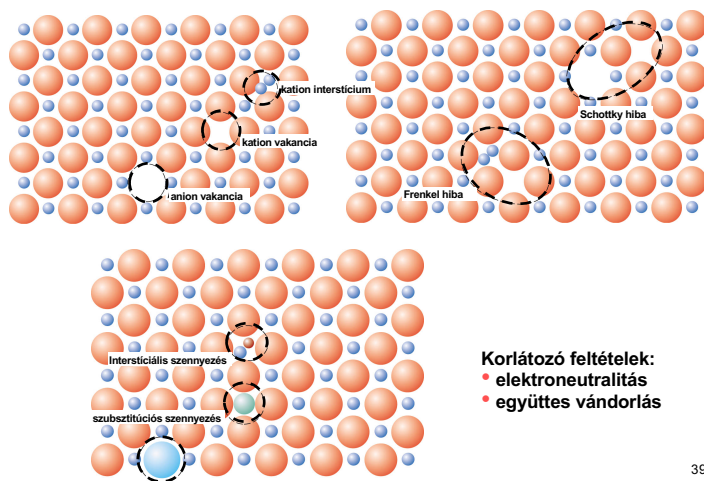


Üvegkerámia:



38

Kristályrácsbeli hibák:

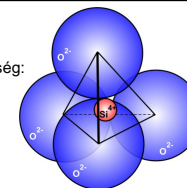


39

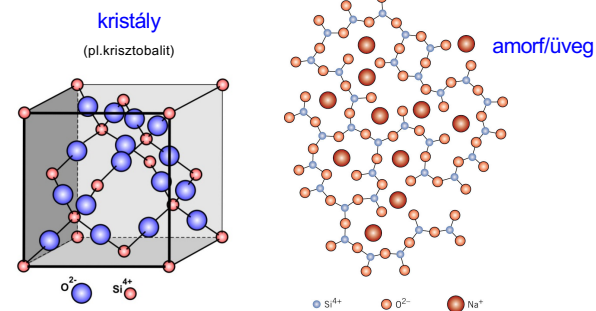
Szilikátok

Meghatározó elemek: Si és O

Építőegység:
 SiO_4^{4-}



• Szilícium-dioxid (SiO_2)



40

• **Porcelán (hagyományos)**

Al₂(OH)₄²⁺ réteg

(Si₂O₅)²⁻ réteg

Kaolin
(Al₂(Si₂O₅)(OH)₄)

Si⁴⁺
Al³⁺
OH⁻
O²⁻

+ kvarc
+ földpát

➔ szárítás, égetés

• **Fogorvosi szilikátkeramiák**

- amorf üveg (nátrionföldpát - NaAlSi₃O₈, káliföldpát - KAlSi₃O₈, SiO₂, Al₂O₃, ...)
- amorf üveg kristályos tartományokkal
 - amorf földpátüveg + kevés leucitkristály (KAlSi₂O₆)
 - amorf földpátüveg + 50% leucitkristály (KAlSi₂O₆)
 - Li-szilikátüveg + 70% Li-diszilikátkristály (Li₂Si₂O₅)

42

Oxid keramiák

• **Cirkónium-dioxid (ZrO₂, cirkon)**

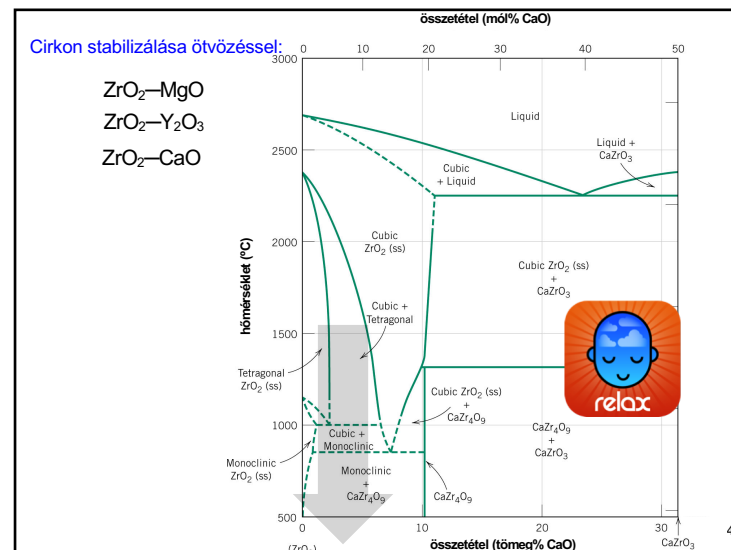
Tulajdonságok (tömörre szinterelt állapotban):

- fehér
- sűrűsége kb. 6 g/cm³
- nagy szilárdságú és nagy szívósságú, merev, kemény (l. később)

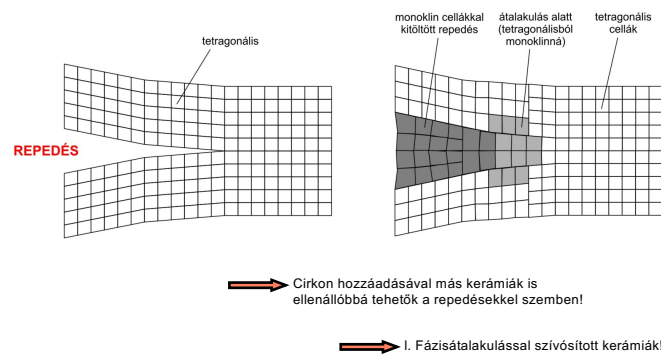
Előállítás:

- cirkonhomokból (ZrSiO₄)
- drága tisztítási eljárások, de hafniumoxid marad kb 1%-ban (radioaktivitás <1 Bq/g!)
- hideg v. meleg sajtolás, szinterelés

43



A cirkon „önjavító” képessége:



45

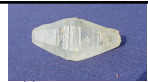
• Alumínium-oxid (Al_2O_3)

Tulajdonságok:

- színtelen, fehér
- olvadáspont 2700°C
- sűrűsége kb. 4 g/cm^3
- nagyon kemény (l. később)

Kristályos formák:

korund
 $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CrO}_2 \rightarrow \text{rubin}$
 $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CoO}_2 \rightarrow \text{zafir}$



• Oxidkerámia kristály + üveg

Következő
 előadáshoz:
 12-13.
 tankönyvi
 fejezetek

46