

Anyagtudomány

## Különleges anyagok

Dr. Szabó Péter János  
szpj@eik.bme.hu

1

---

---

---

---

---

---

---

---

### Az előadás során szó lesz

- a szemcsehatárok szerepéről a polikristályos anyagok károsodásában
- a piezoelektromos anyagokról
- a nagy entrópiájú ötvözetekről
- az alakemlékező ötvözetekről
- az üvegfémekről

2

---

---

---

---

---

---

---

---

### Fémek tulajdonságait meghatározó tényezők

- Kémiai összetétel
- Fázisok jellege (szilárd oldat, vegyület, ...)
- Szemcseméret
- Szemcseméret-eloszlás
- Diszlokáció-szerkezet
- ...
- *Szemcsehatárok tulajdonságai*

3

---

---

---

---

---

---

---

---

## Kristályok



(a)

(b)



4

---

---

---

---

---

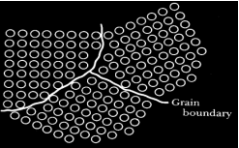
---

---

---

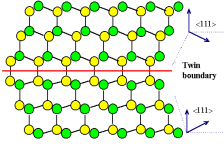
## Szemcsehatárok

- Véletlenszerű



Grain boundary

- „Speciális”



Twin boundary

5

---

---

---

---

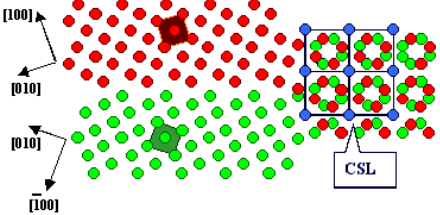
---

---

---

---

## CSL-modell (Coincide Site Lattice)



CSL

6

---

---

---

---

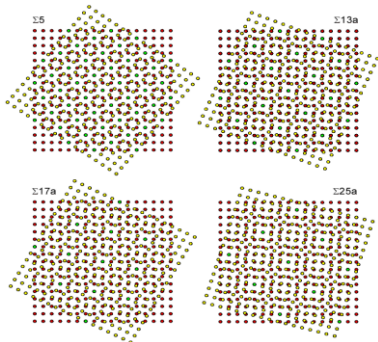
---

---

---

---

## CSL-határok



7

---

---

---

---

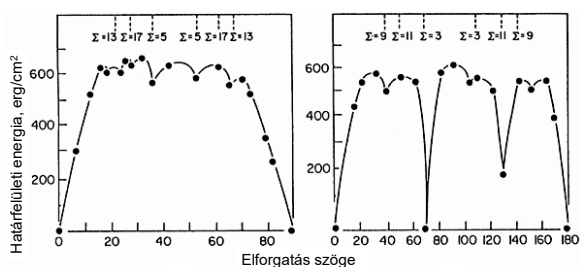
---

---

---

---

## Szemcsehatár-energia



Döntött határ esetén, a forgatás tengelye az  $\langle 100 \rangle$  ill. az  $\langle 110 \rangle$

8

---

---

---

---

---

---

---

---

## A szemcsehatár-energia szerepe

- Speciális szemcsehatárok energiája kisebb
- Ezek mentén a szemcsehatáron támadó károsodási folyamatok (korrózió, szemcsehatár-menti repedés, kúszás) lelassulnak vagy elhalnak
- Cél: a speciális szemcsehatárok mennyiségének (ill. arányának) növelése

9

---

---

---

---

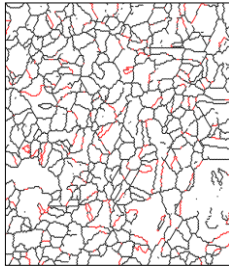
---

---

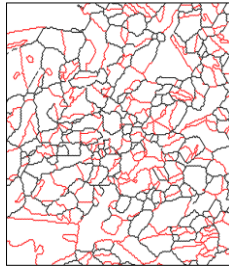
---

---

## Termomechanikus kezelés hatása a speciális határok mennyiségére



Kezeletlen



Kezelt

10

---

---

---

---

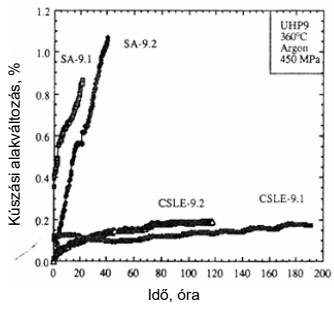
---

---

---

---

## Példa



11

---

---

---

---

---

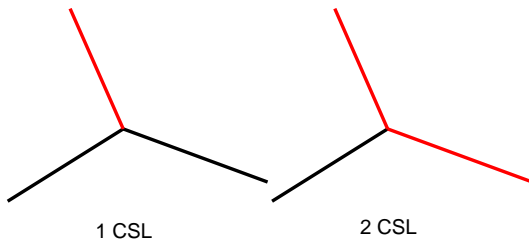
---

---

---

## A károsodási folyamat lassítása

- „Triple junctions” (hármaspontok) vizsgálata



12

---

---

---

---

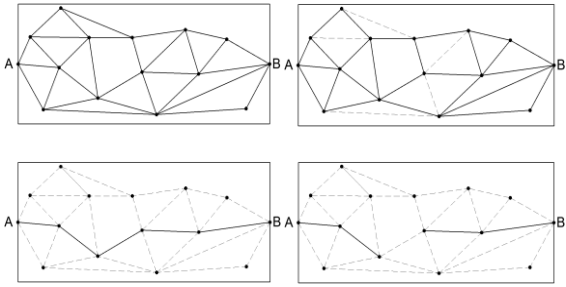
---

---

---

---

## A károsodási folyamat lassítása



13

---

---

---

---

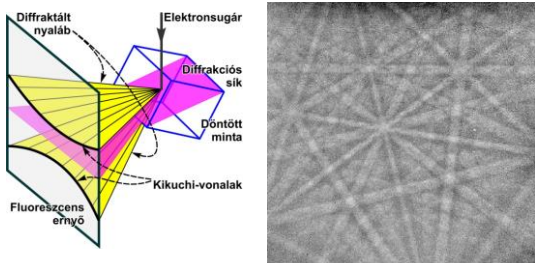
---

---

---

---

## EBSD



14

---

---

---

---

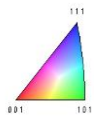
---

---

---

---

## Inverz pólusábra térkép



15

---

---

---

---

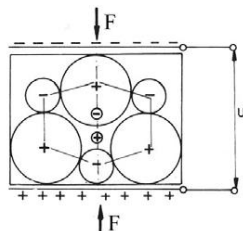
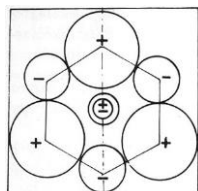
---

---

---

---

## Piezelektromos anyagok



Mechanikai feszültség hatására az eredetileg töltéssemleges kristály két oldalán elektromos feszültség jelenik meg. A jelenség fordítva is létezik: külső elektromos feszültség hatására a kristály megváltoztatja az alakját.

16

---

---

---

---

---

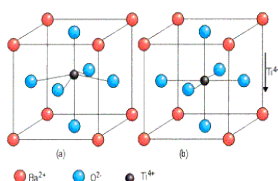
---

---

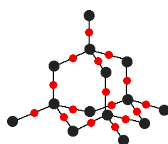
---

## Piezelektromos anyagok

BaTiO<sub>3</sub>



SiO<sub>2</sub>



● Ba<sup>2+</sup> ● O<sup>2-</sup> ● Ti<sup>4+</sup>

17

---

---

---

---

---

---

---

---

## Piezelektromos anyagok

Alkalmazások:

- Aktuátorok
  - nagy, kb. 1 μm tartomány, 1 nm pontosság
  - jó frekvenciakövetés
  - nagy kifejtett erő
  - pl. autofókusz mozgatás, CD fej mechanika, AFM, geodéziai műszerek direkt drive meghajtása
- Ultrahang generálás
- Mikrofon, hangszóró
- Gázgyújtó
- Piezelektromos film (pl. gyorsulás- vagy rezgésérzékelők)

18

---

---

---

---

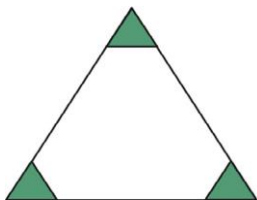
---

---

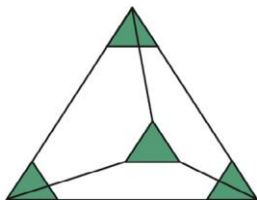
---

---

## Nagy entrópiájú ötvözetek



Ternér ötvözet



Kvaternér ötvözet

Alapeset: egy fő komponens, a többi csak kis koncentrációban van jelen (zöld részek).

19

---

---

---

---

---

---

---

---

## Nagy entrópiájú ötvözetek

Típusok, elnevezések:

- egyfázisú (HEA – High Entropy Alloy)
  - *több komponens ekviatomiális szilárd oldata*
- többfázisú (CCA – Compositionally Complex Alloy)
  - *nanoméretű fázisok kiválása az eredeti HEA-ból*

Cantor-ötvözet: CrMnFeCoNi

20

---

---

---

---

---

---

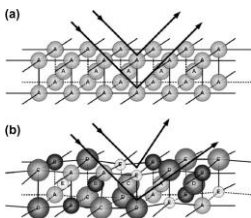
---

---

## Nagy entrópiájú ötvözetek

•Négy legfontosabb tulajdonság:

- Nagy entrópia
  - 4-5 fémes komponens nagyjából azonos moláris hányadban szilárd oldatot alkot, TKK vagy FKK rendszerben
- Kis diffúziós sebesség
  - nanokiválások
- Erős ráncstorzultság
  - „Koktélhatás”: változatos tulajdonságok a kémiai összetétel függvényében



21

---

---

---

---

---

---

---

---

## Nagy entrópiájú ötvözetek

1. 3d átmeneti fémek csoportja (9 elemből legalább 4-et tartalmaznak: Al, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Ti, V)
2. Refraktórikus fémek (refractory metals): (9 (10) elemből legalább 4-et biztosan tartalmaznak: Cr, Hf, Mo, Nb, Ta, Ti, V, W, Zr (+Al)).
3. A repülőgépipar és a közlekedés számára fejlesztett, kis sűrűségű ötvözetek, fő alkotói az Al, Be, Li, Sc, Si, Sn, Ti és Zn.
4. A lantanidák egyes elemei, így a Dy, Gd, Lu, Tb és a Tm, valamint az Y (hexagonális szerkezetűek)

22

---

---

---

---

---

---

---

---

## Nagy entrópiájú ötvözetek

5. Komplex, koncentrált bronzok. Alkotóelemeik az Al, Cu, Mn, Ni, Sn és Zn. Képletük  $Al_xSn_yZn_z(CuMnNi)_{(1-x-y-z)}$
6. Katalizátorként alkalmazott, nemesfém CCA csoport, fő alkotói: Ag, Au, Co, Cr, Cu, Ni, Pd, Pt, Rh és Ru
7. B-t, C-t, vagy N-t tartalmazó ötvözetek, mivel a fázisokra és a mikroszerkezetre kifejtett hatásuk rendkívüli. Az ide sorolt ötvözetek legtöbbször tartalmaz N-t, nagy részük több atomszázalék O-t is.

D.B. Miracle, O.N. Senkov, „A critical review of high entropy alloys and related concepts,” *Acta Materialia*, pp. 448-511, 2017.

23

---

---

---

---

---

---

---

---

## Nagy entrópiájú ötvözetek

Mechanikai tulajdonságok: az erős rácsstorzultság miatt nagy szilárdság extra nagy hőmérsékleteken is.  
TKK szilárdabb, de ridegebb, FKK kevésbé szilárd, de jobban alakítható. Kétfázisú struktúrák ötvözik a két tulajdonságot.

24

---

---

---

---

---

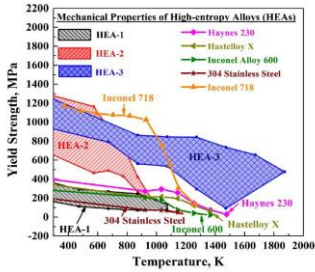
---

---

---



## Nagy entrópiájú ötvözetek



HEA-1 Cantor-féle ötvözetek (fkk-rács)  
 HEA-2 ugyanezen alapfémek Al-mal kiegészítve (tkk+ fkk rács)  
 HEA-3 refractory fémek csoportja (Al nélkül),

25

---

---

---

---

---

---

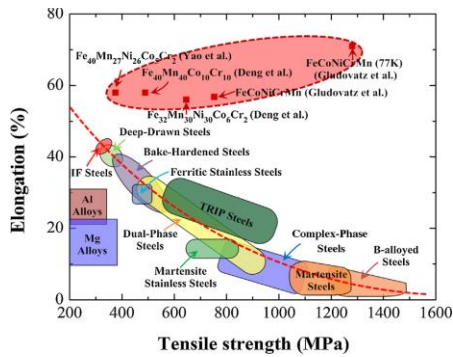
---

---

---

---

## Nagy entrópiájú ötvözetek



26

---

---

---

---

---

---

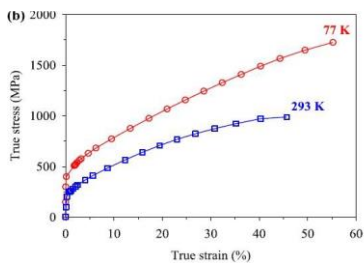
---

---

---

---

## Nagy entrópiájú ötvözetek



27

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Alakemlékező ötvözetek

- Adott anyagnak hideg állapotban alakot adunk (pl. egy szalagot gyűrűvé hajtunk).
- Ezt követően felmelegítjük egy adott hőmérsékletre.
- Az anyag visszaveszi eredeti alakját (a gyűrű ismét szalaggá egyenesedik ki).

Legismertebb alakemlékező anyag: NiTiNoI

28

---

---

---

---

---

---

---

---

## Egyutas alakemlékezés



29

---

---

---

---

---

---

---

---

## Kétutas alakemlékezés



30

---

---

---

---

---

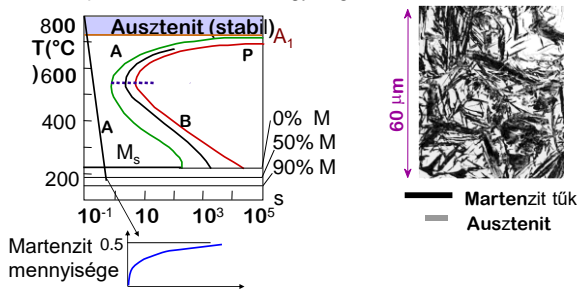
---

---

---

## Martenzites átalakulás

Kezdeti homogén fázisból ( $\gamma$ ) az átalakulás során homogén fázis ( $m$ ) keletkezik, csíráképződés nélkül. Nagy lehülési sebesség esetén jön létre. Diffúzió nélküli átalakulás, a másodperc törtrésze alatt megy végbe.



31

---

---

---

---

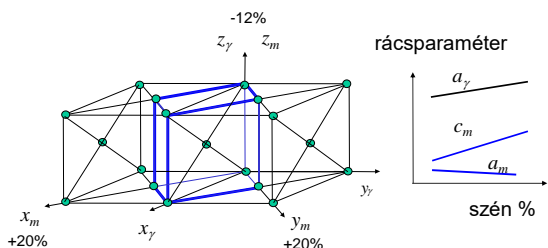
---

---

---

---

## Bain modell



Az ausztenit f.k.k rácsa tartalmazza a martenzit tetragonális rácsát (kék cella), és meghatározott kristálytani kapcsolat áll fenn a két rács között.

$$[100]_m \uparrow\uparrow [1\bar{1}0]_\gamma, [010]_m \uparrow\uparrow [110]_\gamma, [001]_m \uparrow\uparrow [001]_\gamma$$

32

---

---

---

---

---

---

---

---

## Újdonság

- Martenzites átalakulás nem csak hirtelen hűtés, hanem képlékeny alakítás hatására is bekövetkezhet.
- A keletkezett martenzit orientációja és az alakváltozást okozó feszültség iránya között egyértelmű összefüggés van.
- Nagy mennyiségű, hasonlóan orientált martenzit keletkezik.

33

---

---

---

---

---

---

---

---

## Különbségek

Acél átalakulása:  
(nincs alakemlékezés)

- nagyobb térfogatváltozás
- képlékeny alakváltozás az új fázis körül
- kisebb rugalmas energiafelhalmozódás
- nagyobb látens-hő felszabadulás

NiTiNol átalakulása:  
(van alakemlékezés)

- kisebb térfogatváltozás
- nincs képlékeny alakváltozás az új fázis körül
- nagyobb rugalmas energia-tárolás
- kisebb látens-hő felszabadulás

34

---

---

---

---

---

---

---

---

## Alakemlékezés mechanizmusa

- A hevítés során a tárolt rugalmas energia hatására beindul a fázisátalakulás.
- A martenzit visszaalakul a kiindulási fázissá.
- Mindez a minta alakjának változásával jár. Mivel a kiindulási és a martenzitfázis között meghatározott orientációs kapcsolat van, a minta az eredeti alakját veszi fel ismét.

35

---

---

---

---

---

---

---

---

## Alakemlékező ötvözetek

- NiTiNol (Ni-Ti ötvözet)
- Au-Cd, Ag-Cd ötvözetek
- Ti-Nb ötvözet
- Ni-Al ötvözet
- Fe-Pt ötvözet

36

---

---

---

---

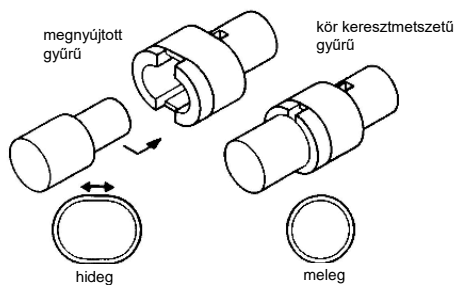
---

---

---

---

## Alkalmazások



37

---

---

---

---

---

---

---

---

## Alkalmazások

- Orvostechnika: el nem érhető helyeken lévő csontok összekötése
- Koszorúér-sztentek
- Intelligens szemüvegkeret
- Adaptív repülőgép-szárny

38

---

---

---

---

---

---

---

---

## Alkalmazások



A hőmérsékletet Joule-hővel változtatják.

39

---

---

---

---

---

---

---

---

## Fémüvegek

- Rövid távú rend: folyadékok
- Hosszú távú rend: kristályok
- Gyors hűtés: a rövid távú rend „befagyasztható”

40

---

---

---

---

---

---

---

---

## Mechanikai tulajdonságok

- Kis ellenállás a nyíróerőkkel szemben.
- Nagy keménység.
- Sokkal képlékenyebbek az üvegnél.
- Szakítószilárdságuk 140-500 MPa (az üvegé elvileg 2500 MPa, de hibák, üregek miatt csak kb. 25 MPa).
- Jól hengerelhetők.

41

---

---

---

---

---

---

---

---

## Mágneses tulajdonságok

- Kiváló lágymágnesek (nincsenek szemcsehatárok és diszlokációk, így a doménfalak könnyen tudnak mozogni).

42

---

---

---

---

---

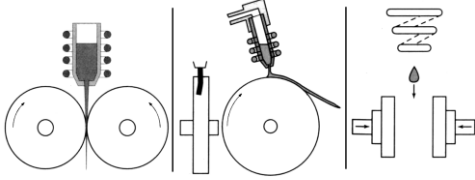
---

---

---

## Előállítás

- Olvadék állapotból gyors hűtéssel ( $10^5$  °C/s).
- Hűtött forgó ikerhengerek közötti átfolyatással.



43

---

---

---

---

---

---

---

---

## Felhasználás

- transzformátorok
- motorok, generátorok
- toroidok
- fluxusmérők
- mágneses jelerőztítő fejek

44

---

---

---

---

---

---

---

---

## Lézeres felületkezelés

- Lézer → LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)
- Nagy energiasűrűségű, koherens, párhuzamos elektromágneses sugárzás.
- Lézeres felületkezelés alapfeltétele az abszorpció (pl. alumínium ↔ acél).

45

---

---

---

---

---

---

---

---

## **Alkalmazások**

- Felülettisztítás (a szennyező és az alapanyag hőtágulási együtthatója jelentős mértékben eltér).
- Gravírozás
- Lézeres felületedzés
- Felületi átolvasztás
- Felületi ötvözés

---

---

---

---

---

---

---

---