

# KRISTÁLYTANI ALAPISMERETEK



ANYAGTUDOMÁNY ÉS  
TECHNOLÓGIA TANSZÉK  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Elektronikai technológia és anyagismeret – VIETAB00

## Reális kristályok, rácshibák

1

---

---

---

---

---

---

---

### REÁLIS KRISTÁLYOK

- Gyakorlati fémek szilárdsága kevesebb, mint 1 %-a az ideális modell alapján számítható szilárdságnak
- Tiszta Si villamos vezetőképességét  $10^{-8}$  tömegszázalék bór adalékolása a kétszeresére növeli
- KRISTÁLYHIBÁK

Reális kristályok, rácshibák 2/34

2

---

---

---

---

---

---

---

### KRISTÁLYHIBA-TÍPUSOK

- Ponthibák (0 dim.)
- Vonalszerű hibák (1 dim.)
- Felületszerű hibák (2 dim.)
- Térfogati hibák (3 dim.)

Reális kristályok, rácshibák 3/34

3

---

---

---

---

---

---

---

Rácshibák

# KRISTÁLYTANI ALAPISMERETEK

## PONTHIBÁK TÍPUSAI

- Vakancia
- Szubsztitúciós atom
- Intersztíciós atom
  - saját
  - idegen

Reális kristályok, rács hibák

4/34

4

---

---

---

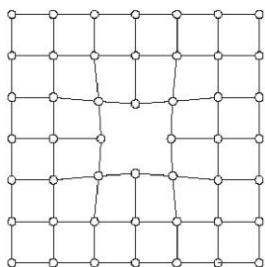
---

---

---

---

## VAKANCIA



A vakancia egy atom hiánya a rácsból. A körülötte lévő atomokra ható vonzó és taszító erők megváltoznak, így a vakancia környezetében rács torzulás lép fel.

Reális kristályok, rács hibák

5/34

5

---

---

---

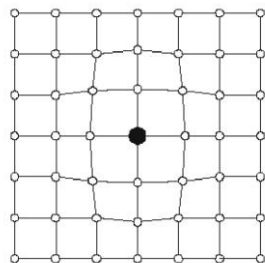
---

---

---

---

## SZUBSZTITÚCIÓS ATOM



A szubsztitúciós atom egy idegen atom a rácspontban. A körülötte lévő atomokra ható vonzó és taszító erők megváltoznak, így a szubsztitúciós atom környezetében rács torzulás lép fel.

Reális kristályok, rács hibák

6/34

6

---

---

---

---

---

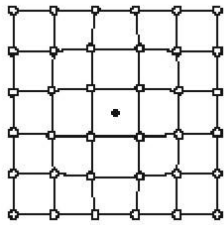
---

---

Rács hibák

# KRISTÁLYTANI ALAPISMERETEK

## INTERSZTÍCIÓS ATOM



Az interstíciós atom egy idegen atom a rácspontok között. A körülötte lévő atomokra ható vonzó és taszító erők megváltoznak, így az interstíciós atom környezetében ráncstorzulás lép fel.

Reális kristályok, ráncs hibák

7/34

7

---

---

---

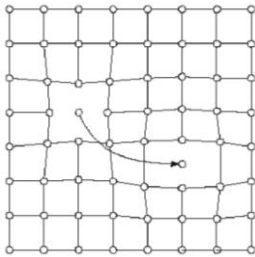
---

---

---

---

## FRENKEL-MECHANIZMUS



Nagy energiaközlés, pl. részecske-besugárzás hatására egy rácscsoma elhagyja a helyét, és interstíciós helyzetbe kerül (saját interstíciós atom). Rendkívül nagymértékű ráncstorzulást okoz.

Reális kristályok, ráncs hibák

8/34

8

---

---

---

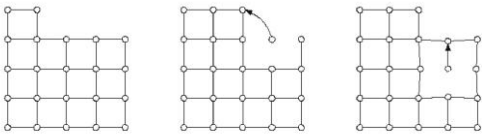
---

---

---

---

## WAGNER-SCHOTTKY MECHANIZMUS



A szabad felületről atomok távoznak el, amelyek helyére az anyag belsejéből ugranak fel atomok, így tulajdonképpen egy vakancia diffundál az anyag belsejébe.

Reális kristályok, ráncs hibák

9/34

9

---

---

---

---

---

---

---

Rács hibák

# KRISTÁLYTANI ALAPISMERETEK

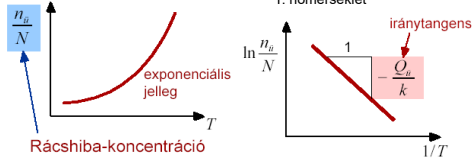
## PONTHIBÁK LÉTREJÖTTE

- Besugárzás hatására
  - Besugárzó részecskék kiütik a rácspontokat a helyükről (pl. Frenkel-hibapárok)

- Hő hatására

$$\frac{n_h}{N} = \exp\left(-\frac{Q_h}{kT}\right)$$

$n_h$ : üres rácshelyek száma  
 $N$ : összes rácspontok száma  
 $Q_h$ : egy üres rácshely létrehozásához szükséges energia (aktivációs energia)  
 $k$ : Boltzmann-állandó  
 $T$ : hőmérséklet



Rácshiba-koncentráció

Reális kristályok, rácshibák

10/34

10

## PONTHIBÁK ÖTVÖZETEK BEN

- Szilárd oldat: alapfém (A) + oldott atom (B)



vagy

Szubsztitúciós szilárd oldat  
(pl. Ni-alapfém + Cu-ötvöző)

Intersztíciós szilárd oldat  
(pl. Fe-alapfém + C-ötvöző)

- Szilárd oldatban (A + B) új második fázis is keletkezhet



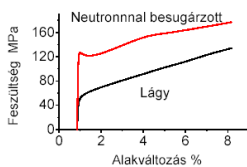
Második fázisú részecske  
 – különböző összetétel  
 – különböző szerkezet

Reális kristályok, rácshibák

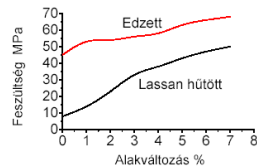
11/34

11

## PONTHIBÁK HATÁSA



Alumíniumra



Rézre

Reális kristályok, rácshibák

12/34

12

Rács hibák

# KRISTÁLYTANI ALAPISMERETEK

## VONALSZERŰ (1 DIMENZIÓS) RÁCSHIBÁK

- Fémek elméleti és mért folyáshatára között óriási eltérés, nem magyarázható mérési hibával
- Diszlokációelmélet: az alakváltozás nem egy lépésben történik → diszlokációk mozgása

Reális kristályok, rácshibák

13/34

13

## MECHANIKAI JELLEMZŐK

$$\nu = \frac{\varepsilon_{\text{merőleges}}}{\varepsilon_{\text{párhuzamos}}}$$

Poisson-tényező  
( $\varepsilon$  az alakváltozás mértéke)

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Húzófeszültség

$$\tau = G \cdot \gamma$$

Nyírófeszültség

$$E = 2G(1 + \nu)$$

Modulusok közötti  
összefüggés

Reális kristályok, rácshibák

14/34

14

## ELMÉLETI FOLYÁSHATÁR

- Az elméleti folyáshatár kiszámításánál azt feltételezzük, hogy az alakváltozás során az egyes kristálysíkok egy lépésben, az atomok egyidejű elmozdulásával csúsznak el egymáson.
- Az így számított csúsztató feszültség, ami a képlékeny alakváltozás megindításához szükséges, 1-2 nagyságrenddel nagyobb, mint a mért értékek.
- Következtetés: a képlékeny alakváltozás során a kristálysíkok nem egy lépésben csúsznak el egymáson, hanem folyamatos mozgással, azaz lesznek olyan tartományok, ahol az elcsúszás már megtörtént, és lesznek olyanok, ahol még nem.
- Az ezeket a tartományokat elválasztó határvonalakat hívjuk *diszlokációknak*.

Reális kristályok, rácshibák

15/34

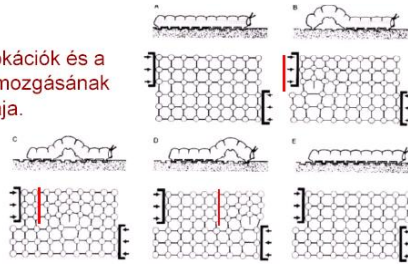
15

Rácshibák

# KRISTÁLYTANI ALAPISMERETEK

## DISZLOKÁCIÓK MOZGÁSA

A diszlokációk és a hernyó mozgásának analógiája.



Reális kristályok, rács hibák

16/34

16

---

---

---

---

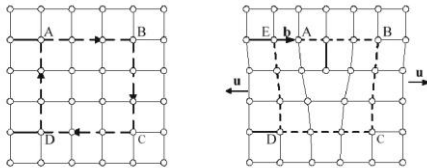
---

---

---

---

## BURGERS-KÖR



Ha egy ép kristályban egy rácspontból kiindulva azonos rácspontnyi lépést teszünk meg jobbra, lefelé, balra, majd felfelé, akkor visszajutunk a kiindulópontba. Ha a kristály diszlokációt tartalmaz, akkor a kezdő- és végpont nem lesz ugyanaz. Az őket összekötő vektor a Burgers-vektor

Reális kristályok, rács hibák

17/34

17

---

---

---

---

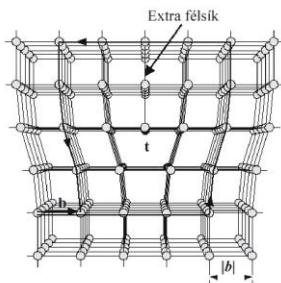
---

---

---

---

## ÉLDISZLOKÁCIÓ



Diszlokáció vonala:  $l$

Beékelődött extra félsík alsó éle a diszlokáció.

Burgers vektor:  $b$

$b \perp l$ , azaz a diszlokáció vonala és az általa létrehozott elemi deformáció merőleges egymásra.

Reális kristályok, rács hibák

18/34

18

Rács hibák

---

---

---

---

---

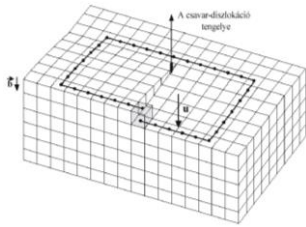
---

---

---

# KRISTÁLYTANI ALAPISMERETEK

## CSAVARDISZLOKÁCIÓ



Diszlokáció vonala:  $l$

Burgers vektor:  $b$

$b \parallel l$ , azaz a diszlokáció vonala és az általa létrehozott elemi deformáció párhuzamos egymással.

Reális kristályok, rács hibák

19/34

19

---

---

---

---

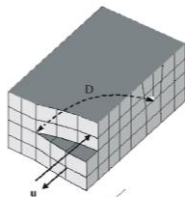
---

---

---

---

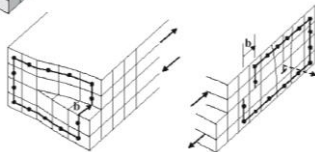
## ÖSSZETETT DISZLOKÁCIÓ



Részleges elcsúszás

Térgörbe hálózat

A diszlokáció vonala és az általa okozott elemi deformáció által bezárt szög  $0$  és  $90^\circ$  között van.



Reális kristályok, rács hibák

20/34

20

---

---

---

---

---

---

---

---

## DISZLOKÁCIÓK ALAPVETŐ TULAJDONSÁGAI

- Diszlokáció: elcsúszott és nem elcsúszott részek határa
- Lineáris (lehet görbe)
- Felületen kezdődik és végződik, vagy kristályban záródó görbe
- Az elmozdulás mértéke a diszlokáció egésze mentén állandó
- Burgers vektor a legsűrűbb irányban fekszik és  $|b| = d$

Reális kristályok, rács hibák

21/34

21

---

---

---

---

---

---

---

---

Rács hibák

# KRISTÁLYTANI ALAPISMERETEK

## FELÜLETSZERŰ RÁCSHIBÁK

- Makroszkópikus felület
- Kíszögű szemcsehatár
- Nagyszögű szemcsehatár
- Fázishatár (koherens, szemikoherens, inkoherens)
- Ikerhatár
- Rétegződési hiba

Reális kristályok, rács hibák

22/34

22

---

---

---

---

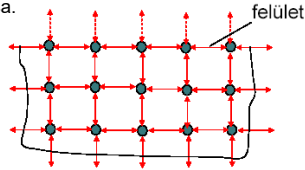
---

---

---

## MAKROSZKÓPIKUS FELÜLET

- A kristály felületén az atomok magasabb energiaszinten vannak, mint a kristály belsejében, mivel nem jön létre minden irányban atomi kötés.
- A felület energiaszintje csökken, ha a felülethez újabb atomok kapcsolódnak.
- Oxidrétegek kialakulása.
- Kémiai reakciók.



Reális kristályok, rács hibák

23/34

23

---

---

---

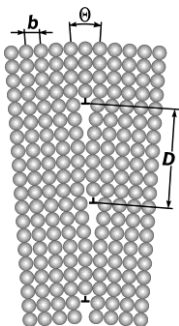
---

---

---

---

## KISSZÖGŰ SZEMCSEHATÁR



Azonos előjelű  
diszlokációk egymás alá  
rendeződése

A kíszögű szemcsehatár által  
elválasztott tartományok orientációja  
közötti szögtőlönbség:  
 $\Theta < 5^\circ$

Reális kristályok, rács hibák

24/34

24

Rács hibák

---

---

---

---

---

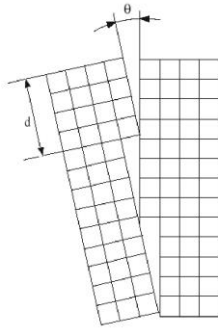
---

---



# KRISTÁLYTANI ALAPISMERETEK

## NAGYSZÖGŰ SZEMCSEHATÁR



A dermedés során véletlen orientációjú kristálycsírák összenőnek. Az egyes szemcsék csak orientációjukban különböznek.

Reális kristályok, rács hibák

25/34

25

---

---

---

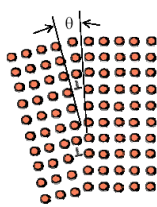
---

---

---

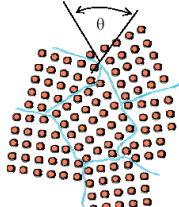
---

## KIS- ÉS NAGYSZÖGŰ HATÁR ÖSSZEHASONLÍTÁSA



Kisszögű szemcsehatár  
 $\theta < 5^\circ$

Reális kristályok, rács hibák



Nagyszögű szemcsehatár  
 $\theta > 15^\circ$

26/34

26

---

---

---

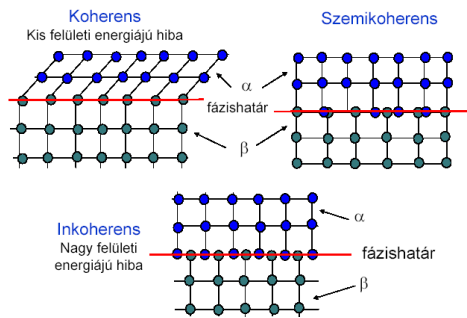
---

---

---

---

## FÁZISHATÁROK



Reális kristályok, rács hibák

27/34

27

---

---

---

---

---

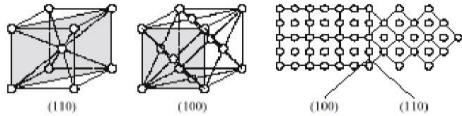
---

---

Rács hibák

# KRISTÁLYTANI ALAPISMERETEK

## KOHERENS FÁZISHATÁR



- A határ két oldalán azonos atomok vannak, de két különböző kristályrendszerben (TKK, FKK)
- Mindkét fázisban lehet találni olyan síkot, ahol az atomos elrendeződés megegyezik ( $\{110\}_{TKK}$  és  $\{100\}_{FKK}$ )
- A fázishatáron a két fázis kristálytani elrendeződéséből következik (tehát adott) az orientáció-különbség

Reális kristályok, rács hibák

28/34

28

---

---

---

---

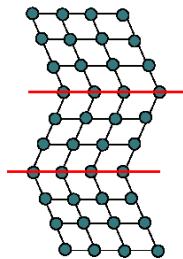
---

---

---

---

## IKERHATÁR



- Koherens határ, mindkét oldalon azonos fázis van
- A határ két oldala egymás tükörképe
- Keletkezhet kristályosodáskor és képlékeny alakváltozáskor elsősorban az FKK és HCP (szorosan pakolt hexagonális) kristályokban

Reális kristályok, rács hibák

29/34

29

---

---

---

---

---

---

---

---

## IKERHATÁR



Mikroszkópi csiszolatokon párhuzamos egyenesekként jelenik meg

Reális kristályok, rács hibák

30/34

30

---

---

---

---

---

---

---

---

Rács hibák

# KRISTÁLYTANI ALAPISMERETEK

## RÉTEGZÖDÉSI HIBA

Atomok hiánya miatt  
jött létre (belső  
rétegződési hiba).  
Az atomhiány miatt  
megváltozik  
lokálisan a  
rétegződési rend.

Reális kristályok, rács hibák

31/34

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

31

## RÉTEGZÖDÉSI HIBA

Beékelődött atomok miatt  
jött létre (külső  
rétegződési hiba). A  
többszörös atomok miatt  
lokálisan megváltozik a  
rétegződési rend.

Reális kristályok, rács hibák

32/34

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

32

## TÉRFOGATI (3 DIM.) HIBÁK

- Üregek
- Zárványok
- Kiválások
- Gázbuborékok

Reális kristályok, rács hibák

33/34

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

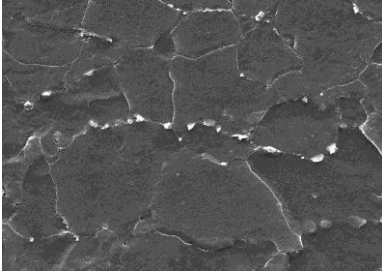
---

---

33

## KRISTÁLYTANI ALAPISMERETEK

### ÜREGEK



Szemcsehatármenti üregek pásztázó elektronmikroszkópos képe.

Reális kristályok, rács hibák

34/34

---

---

---

---

---

---

---

---