

# ANYAGSZERKEZET VIZSGÁLATOK



Elektronikai technológia és anyagismeret – VIETAB00

**Anyagszerkezet vizsgálatok**

1

---

---

---

---

---

---

---

**SZERKEZETVIZSGÁLAT SZINTJEI**

- Atomi elrendeződés vizsgálata (*röntgendiffrakció, transzmissziós elektronmikroszkóp, atomerő-mikroszkóp*)
- Mikroszerkezet vizsgálata (*pásztázó elektronmikroszkóp, röntgenspektroszkópia*)
- Makroszerkezet vizsgálata (*klasszikus metallográfia – „materialográfia”*)

Szerkezetvizsgálat

2/39

2

---

---

---

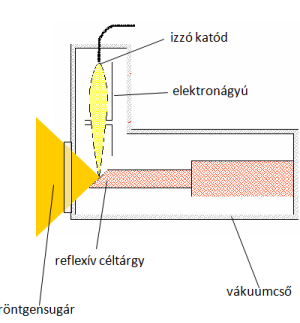
---

---

---

---

**RÖNTGENSUGÁRZÁS KELTÉSE**



- Izzókatódos röntgenforrás (elektronok a gyorsítófeszültség hatására a reflexív céltárgyba (anódba) csapódnak, és így röntgensugárzás keletkezik).
- 20-300 kV gyorsítófeszültség

Szerkezetvizsgálat

3/39

3

---

---

---

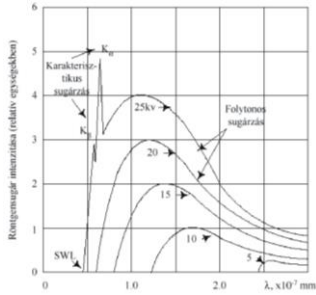
---

---

---

---

FÉKEZÉSI ÉS KARAKTERISZTIKUS  
RÖNTGENSUGÁRZÁS



Fékezési röntgensugárzás:  
elektronok fékeződése az atomok  
Coulomb-terében.

A gyorsítófeszültség növelésének  
hatására csökken a legkisebb  
hullámhossz (SWL – Shortest  
WaveLength).

Szerkezetvizsgálat

4/39

4

---

---

---

---

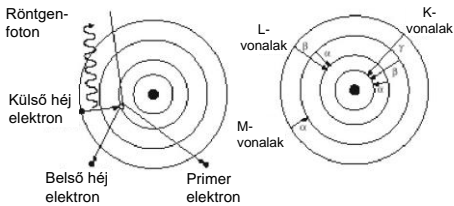
---

---

---

---

KARAKTERISZTIKUS  
RÖNTGENSUGÁRZÁS



Kvantumszámok jelölésmódja	
fizikusok által	vegyészek által
$M_{4,3,2,1}$	3d <sub>3/2</sub>
$M_{3,2,1}$	3d <sub>5/2</sub>
$M_{2,1}$	3p <sub>3/2</sub>
$M_{1,0}$	3p <sub>1/2</sub>
$M_{0,-1}$	3s <sub>1/2</sub>
$L_{3,2,1,0}$	2p <sub>3/2</sub>
$L_{2,1,0}$	2p <sub>1/2</sub>
$L_{0,-1}$	2s <sub>1/2</sub>
$K$	1s <sub>1/2</sub>

- Belső héj ionizáció (a becsapódó primer elektronok kiütik az anód egy atomjának egy belső elektronját)
- Rekombinálódást követően röntgenfoton kibocsátás (egy külső elektron beugrik a megüresedett helyre, és a két elektronhéj energia-különbségének megfelelő energiájú röntgenfoton emittálódik)

Szerkezetvizsgálat

5/39

5

---

---

---

---

---

---

---

---

RÖNTGENSUGÁRZÁS ALKALMAZÁSA

A beeső röntgensugárzás:

- elhajlik a kristályrácsra: *röntgendiffrakció*
- szekunder röntgensugárzást vált ki:  
*röntgenfluoreszcencián* alapuló elemösszetétel-vizsgálat
- különböző abszorpciójú anyagokon intenzitást veszít:  
*átvilágító röntgenvizsgálat*

Szerkezetvizsgálat

6/39

6

---

---

---

---

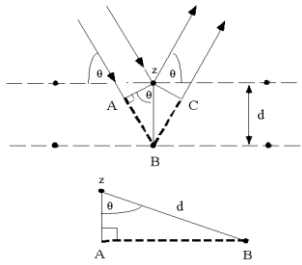
---

---

---

---

BRAGG-EGYENLET



$$n\lambda = 2d \sin \Theta$$

Egy  $\lambda$  hullámhosszúságú röntgensugárzás az egymástól  $d$  távolságra lévő kristálysíkokról  $\Theta$  szögben verődik vissza,  $n$  pozitív egész szám.

Szerkezetvizsgálat

7/39

7

---

---

---

---

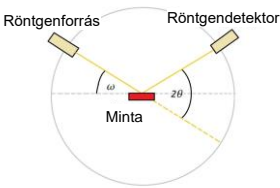
---

---

---

---

A VISSZAVERŐDÉS SZÖGFÜGGÉSÉNEK DETEKTÁLÁSA - DIFFRAKTOMÉTER



A röntgenforrás és a röntgendetektor szinkronban forog  $\omega$  szögsebességgel a vízszintesen elhelyezett minta körül, és így detektálják az adott  $\Theta$  szöghöz tartozó röntgenintenzitást.

Szerkezetvizsgálat

8/39

8

---

---

---

---

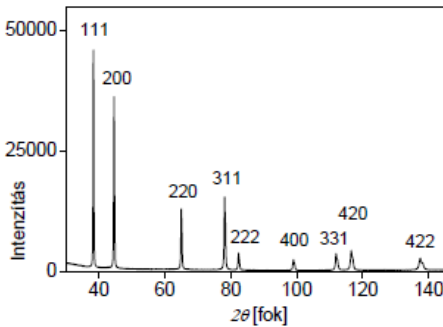
---

---

---

---

DIFFRAKTOGRAM



Szerkezetvizsgálat

9/39

9

---

---

---

---

---

---

---

---

DIFFRAKTOGRAM KIÉRTÉKELÉSE

- JCPDS adatbázis
- ~250 000 kristályos fázis adatai
- A rekordok tartalmazzák a fázisok tulajdonságait, a mért csúcsok indexelését és azok egymáshoz viszonyított intenzitását
- Számítógéppel segített azonosítás

Szerkezetvizsgálat

10/39

10

---

---

---

---

---

---

---

TRANZMISSZIÓS  
ELEKTRONMIKROSKÓP

Felbontóképesség (d): a legkisebb távolság a mintán, amelynek végpontjait az optikai rendszer önálló pontokként képezi le.

$$d = \frac{\lambda}{2n \sin \alpha} \quad \lambda_{\text{fény}} = 360 - 720 \text{ nm} \quad \lambda_{\text{elektron}} = 1 \dots 3 \text{ pm}$$

(n: törésmutató, a: objektívence nyílásszöge) (TEM-re jellemző érték)

Ha fény helyett elektronhullámot használunk a leképzésre, akkor több nagyságrenddel nagyobb felbontóképességet érhetünk el.

Szerkezetvizsgálat

11/39

11

---

---

---

---

---

---

---

TRANZMISSZIÓS  
ELEKTRONMIKROSKÓP



Szerkezetvizsgálat

12/39

12

---

---

---

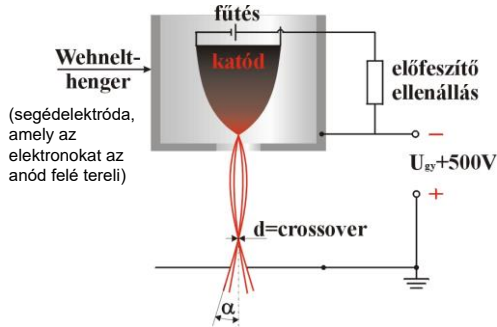
---

---

---

---

A TERMOEMISSZIÓS ELEKTRONÁGYÚ FELÉPÍTÉSE



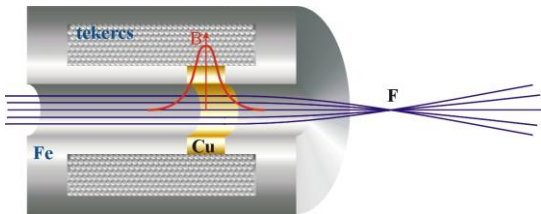
Szerkezetvizsgálat

13/39

13

ELEKTROMÁGNESES LENCSÉK

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



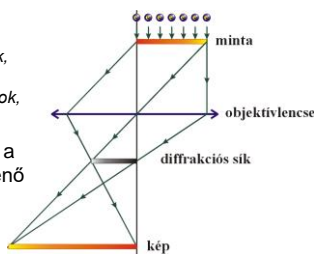
Szerkezetvizsgálat

14/39

14

A TRANSMISSZIÓS ELEKTRONMIKROSKÓP ÜZEMMÓDJAI

- Képkötés – a képsíkban megjelenő kép továbbnagyítása (szemcsék, szemcsehatárok, kristályhibák, diszlokációs szerkezet, kiválások, inhomogenitások)
- Elektrondiffrakciós ábra – a diffrakciós síkban megjelenő kép továbbnagyítása (kristályszerkezet, kristálytani orientáció)



Szerkezetvizsgálat

15/39

15

MINTAELŐKÉSZÍTÉS

- Vékony ( $d_{\text{max}}=100\text{ nm!}$ ) mintára van szükség, hogy az elektronnyaláb kellő intenzitással tudjon rajta áthaladni
- Elektrolitos maratás, jet-módszer
- Mintavétel helye bizonytalan

Szerkezetvizsgálat

16/39

16

---

---

---

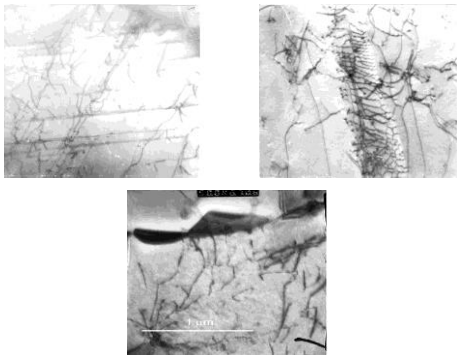
---

---

---

---

DISZLOKÁCIÓS SZERKEZET



Szerkezetvizsgálat

17/39

17

---

---

---

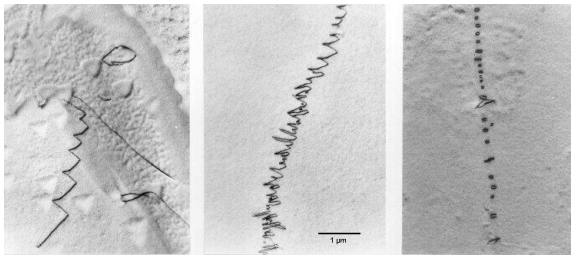
---

---

---

---

DISZLOKÁCIÓK



Diszlokáció-hurkok létrejötte

Szerkezetvizsgálat

18/39

18

---

---

---

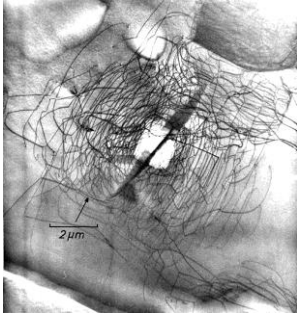
---

---

---

---

**DISZLOKÁCIÓK**



Tranzisztor emittére egy monolit IC felszínén.

Mechanikai behatás.

Mikrorepedés kialakulása.

A fellépő mechanikus feszültség következtében diszlokációk keletkeztek.

Szerkezetvizsgálat

19/39

19

---

---

---

---

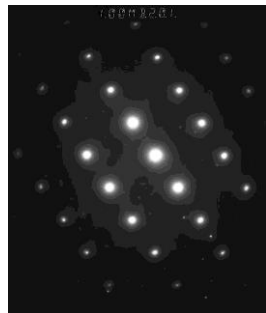
---

---

---

---

**ELEKTRONDIFFRAKCIÓS ÁBRA**



Az elektronnyalábnak a vizsgált minta egyes kristálysíkjain történő reflexiója következtében a diffrakciós síkban egy pontszerű ábra jelenik meg, ahol az egyes pontok helyzetéből következtetni lehet a kristály típusára és orientációjára.

Szerkezetvizsgálat

20/39

20

---

---

---

---

---

---

---

---

**PÁSZTÁZÓ ELEKTRONMIKROSKÓP**

- Jól fókuszált (0,5-50 nm) elektronnyaláb
- Szinkronizált pásztázás a minta felületén és a képalkotó egységen (monitoron)
- Képalkotás: a minta felületéről kilépő válaszjelek intenzitásával moduláljuk a monitor képpontjainak fényességét

Szerkezetvizsgálat

21/39

21

---

---

---

---

---

---

---

---

VÁLASZJELEK

- Visszaszórt elektronok
- Szekunder elektronok
- Karakterisztikus röntgensugárzás
- Fény
- Hő
- Mintaáram

Szerkezetvizsgálat

22/39

22

---

---

---

---

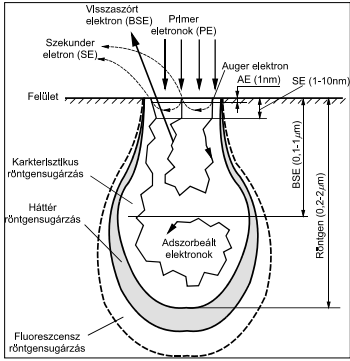
---

---

---

---

ELEKTRON-ANYAG KÖLCSÖNHATÁS



Szerkezetvizsgálat

23/39

23

---

---

---

---

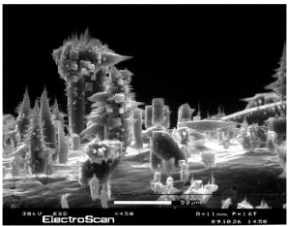
---

---

---

---

MÉLYSÉGÉLESSÉG



A pásztázó elektronmikroszkópnak rendkívül jó a mélységélessége.

Szerkezetvizsgálat

24/39

24

---

---

---

---

---

---

---

---



VÁKUUM SZEREPE

- Szénhidrogének krakkolódása
- Gázatomok ionizációja – katód károsodása
- Elektronok szabad úthosszának növelése

Szerkezetvizsgálat

25/39

25

---

---

---

---

---

---

---

TÖLTŐDÉS, FÉMBEVONÁS

- Elektromosan nem vezető minták feltöltődnek
- Vékonyréteg fémbevonás (Au, Ag, Pd)
- Szénbevonás gőzöléssel (flash-gőzölés)
- Kisvákuum üzemmód (bejuttatott vízmolekulák semlegesítik a negatív töltést)

Szerkezetvizsgálat

26/39

26

---

---

---

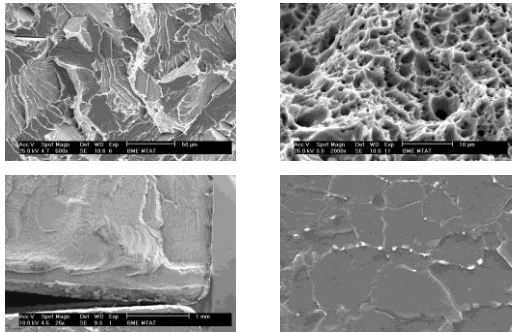
---

---

---

---

SEM-VIZSGÁLATOK I. TÖRETFELÜLETEK



Szerkezetvizsgálat

27/39

27

---

---

---

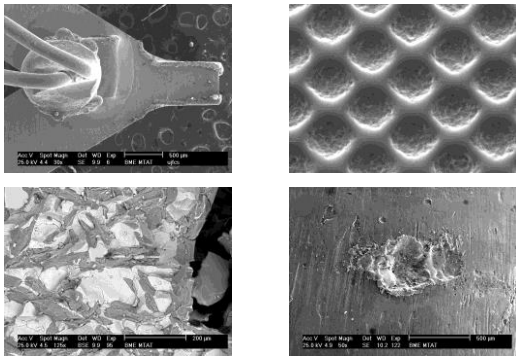
---

---

---

---

SEM-VIZSGÁLATOK II. ÉRDEKESSÉGEK



Szerkezetvizsgálat

28/39

28

---

---

---

---

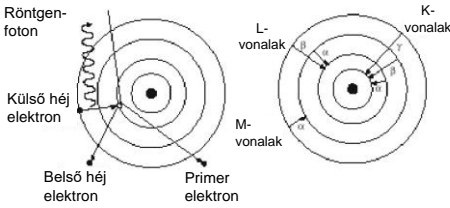
---

---

---

---

ELEKTRONSUGARAS MIKROANALÍZIS



- Belső héj ionizáció (a becsapódó primer elektronok kiütik az anód egy atomjának egy belső elektronját)
- Rekombinálódást követően röntgenfoton kibocsátás (egy külső elektron beugrik a megüresedett helyre, és a két elektronhéj energia-különbségének megfelelő energiájú röntgenfoton emittálódik)

Szerkezetvizsgálat

29/39

29

---

---

---

---

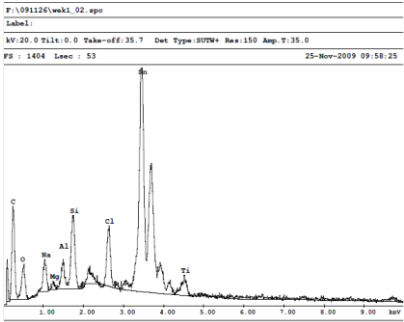
---

---

---

---

ENERGIA-DISZPERZÍV RÖNTGEN-SPEKTRUM



Szerkezetvizsgálat

30/39

30

---

---

---

---

---

---

---

---

# ANYAGSZERKEZET VIZSGÁLATOK

## OPTIKAI MIKROSKÓPOS VIZSGÁLAT CÉLJA

- fázisok elkülönítése
- szemcsék mérete, alakja, ezek eloszlása
- hibák (repedések, üregek, korrózió, stb.)
- vizsgálható mérettartomány: 0,5 mm-től felfelé

Szerkezetvizsgálat

31/39

31

---

---

---

---

---

---

---

## OPTIKAI MIKROSKÓP



Szerkezetvizsgálat

32/39

32

---

---

---

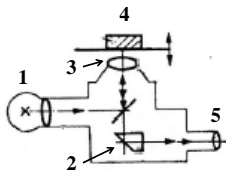
---

---

---

---

## OPTIKAI MIKROSKÓP



Reflexiós megvilágítás, mivel a vastag fémes minták nem világíthatók át, így a mintáról visszaverődő fénnel alkotunk képet. A fényforrás (1) fénye egy plánpárhuzal üveglemez (2) segítségével áthalad az objektívlencsén (3). A mintáról (4) visszaverődő fényből az OL képet alkot, amely az okulárlencsén (5) jut el a megfigyelőhöz.

Szerkezetvizsgálat

33/39

33

---

---

---

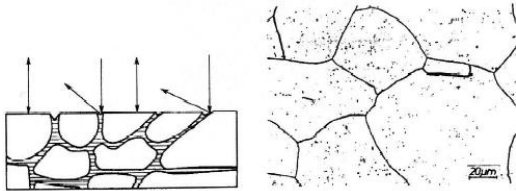
---

---

---

---

MARATÁS HATÁSA



Homogén, irányfüggetlen marószér, árkot mar a szemcsehatárok mentén.

Szerkezetvizsgálat

34/39

34

---

---

---

---

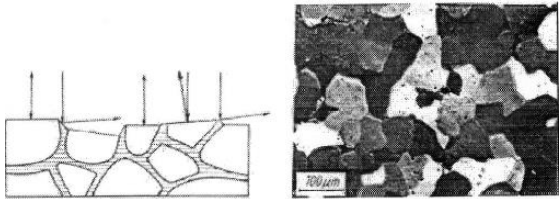
---

---

---

---

MARATÁS HATÁSA



Homogén, irányfüggő marószér, a szemcsék felületeinek síkját változtatja meg, így a különböző szemcsék különböző irányba szórják a fényt – diszlokált reflexió.

Szerkezetvizsgálat

35/39

35

---

---

---

---

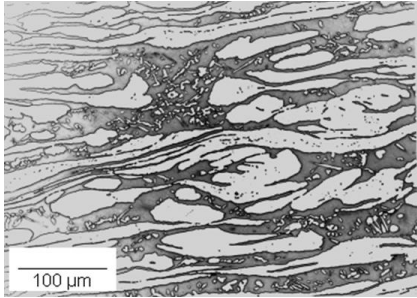
---

---

---

---

MARATÁS HATÁSA



Heterogén marószér

Szerkezetvizsgálat

36/39

36

---

---

---

---

---

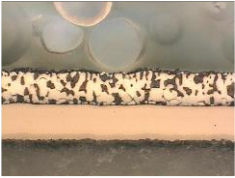
---

---

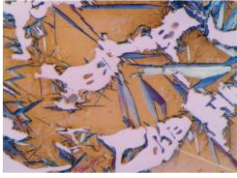
---

ANYAGSZERKEZET VIZSGÁLATOK

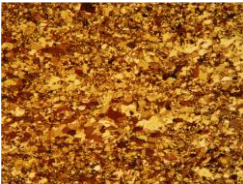
**PÉLDA**



- Rétegfelépítés  
- Rétegvastagság



- Szerkezeti felépítés



- Deformálódás mértéke/  
lágylítás

Szerkezetvizsgálat 37/39

37

---

---

---

---

---

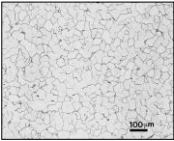
---

---

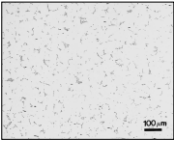
---

**MARATÓ OLDATOK ÖSSZEHASONLÍTÁSA**

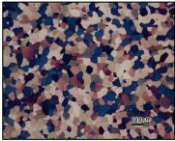
Ferrites acél



**3% Nital**  
Ferritszemcsehatárokat és cementitot emel ki



**4% Pikral**  
Cementitot emel ki



**Beraha**  
Szemcsefelületeket színezi a kristallográfiai szemcsebeállítástól függően

Szerkezetvizsgálat 38/39

38

---

---

---

---

---

---

---

---

**MARATÓ OLDATOK ÖSSZEHASONLÍTÁSA**



Hegesztési varrat Hbz\* Bázis

A varratot 3%-os Nitallal maratták (fent), ez kívánnivalókat hagy maga után.

Ezzel szemben a Klemml szerinti marató anyag (lent) jó kontrasztot mutat. A hőbeáramlási zóna és a bázisanyag nagyon erős elhatárolódása látszik. ( $A_{c1}$  hőmérséklet).



\*Hőbeáramlási zóna

Szerkezetvizsgálat 39/39

39

---

---

---

---

---

---

---

---