

# FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

  
MŰEGYETEM 1782

## 2 FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

### 2-03 FÉLVEZETŐ SZELET ELŐÁLLÍTÁSA (ALAPANYAGTÓL A SZELETIG)

ELEKTRONIKAI TECHNOLÓGIA ÉS ANYAGISMERET  
VIETAB00

 BMEETT  
ELEKTRONIKAI TECHNOLÓGIA TANSZÉK

BUDAPEST UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND ECONOMICS  
DEPARTMENT OF ELECTRONICS TECHNOLOGY

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

---

---

---

---

---

---

---

---

## TARTALOM

- Modern IC felépítése (áttekintés):
  - Félvezető szerkezetek (adalékolás),
  - dielektrikum rétegek,
  - összeköttetés-hálózat
- Hogyan jutunk el a Si nyersanyagából („homok”) a félvezető szeletig?
- egykristályok előállítása
  - kristályhúzás, Czochralsky, Bridgman-Stockbarger
  - jellemző tulajdonságok (méret, diszlokációsűrűség)
- kristálytömbök darabolása, polírozás

 BMEETT

Félvezető szelet előállítása

2/23

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

---

---

---

---

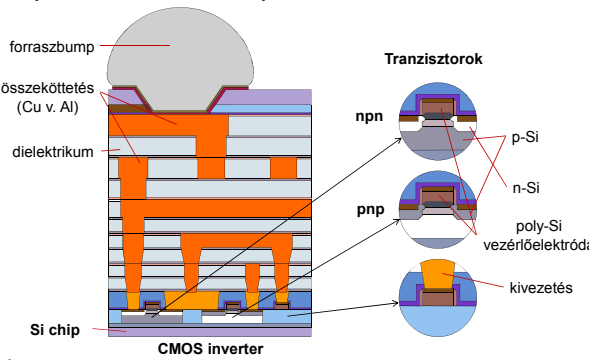
---

---

---

---

## EGY MODERN IC SZERKEZETE (KERESZTMETSZET)



forraszbump

összeköttetés (Cu v. Al)

dielektrikum

Si chip

CMOS inverter

Tranzisztorok

nnp


pnp

p-Si

n-Si

poly-Si vezérlőelektróda

kivezetés

 BMEETT

Félvezető szelet előállítása

3/23

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

---

---

---

---

---

---

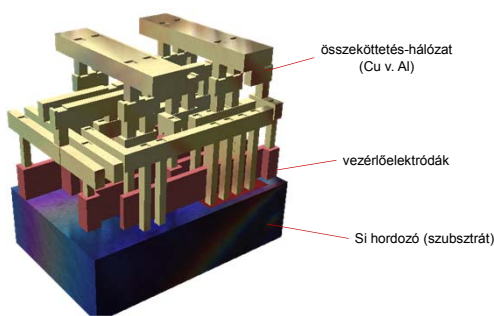
---

---

Félvezető szelet előállítása

# FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

### EGY MODERN IC SZERKEZETE (3D)



összeköttetés-hálózat (Cu v. Al)

vezérlőelektródák

Si hordozó (szubsztrát)

BMEETT Félvezető szelet előállítás 4/23

---

---

---

---

---

---

---

---

### INTEGRÁLT ÁRAMKÖRÖK TECHNOLÓGIÁJA

**„Sikbeli” gyártási eljárás:**  
A szelet felületén található összes chip kialakítása **egyidejűleg történik**.

**Az építkezés lépései:**  
Félvezető, fém, és szigetelő rétegek egymásra történő leválasztása, és rajtuk a kívánt mintázat kialakítása.

**A legtipikusabb anyagok:**

- Si szubsztrát – adalékolva a kívánt területeken
- SiO<sub>2</sub> szigetelő rétegek (vagy „high-k”, ill. „low-k” dielektrikumok)
- Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> passzíváló réteg
- Polikristályos Si – kapuelektrodák
- Fém vezetékvezés és kontaktusok (Cu v. Al)
- PSG (foszfoszilikát üveg) a fém vezetékvezés rétegek között

BMEETT Félvezető szelet előállítás 5/23

---

---

---

---

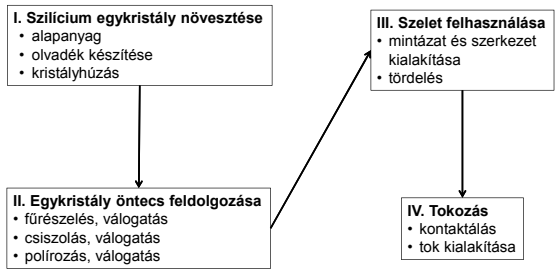
---

---

---

---

### A CHIP GYÁRTÁSI LÉPÉSEI (ÁTTEKINTÉS)



```
graph TD; A["I. Szilícium egykristály növesztése  
• alapanyag  
• olvadék készítése  
• kristályhúzás"] --> B["II. Egykristály öntecs feldolgozása  
• fűrészelés, válogatás  
• csiszolás, válogatás  
• polírozás, válogatás"]; B --> C["III. Szelet felhasználása  
• mintázat és szerkezet kialakítása  
• tördelés"]; C --> D["IV. Tokozás  
• kontaktálás  
• tok kialakítása"];
```

**I. Szilícium egykristály növesztése**

- alapanyag
- olvadék készítése
- kristályhúzás

**II. Egykristály öntecs feldolgozása**

- fűrészelés, válogatás
- csiszolás, válogatás
- polírozás, válogatás

**III. Szelet felhasználása**

- mintázat és szerkezet kialakítása
- tördelés

**IV. Tokozás**

- kontaktálás
- tok kialakítása

BMEETT Félvezető szelet előállítás 6/23

---

---

---

---

---

---

---

---

Félvezető szelet előállítás

# FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

## SI EGYKRISTÁLY NÖVESZTÉSE

- 1. Alapanyag: kvarcchomok (SiO<sub>2</sub>)**  
Tisztasági követelmények miatt speciális, Ausztrália partjáról
- 2. Polikristályos szilícium előállítás**
- 3. Olvadék készítése**  
1600 °C-ra hevítve a poly-Si-t.
- 4. Öntecs húzása**  
Olvadékból szilárdul meg, orientált kristálymag felhasználásával.  
Domináns eljárás: Czochralski-módszer



[http://www.tif.uni-kl.de/matwis/amat/leimat\\_en/kap\\_6/illustr/si\\_einkrist\\_inset.jpg](http://www.tif.uni-kl.de/matwis/amat/leimat_en/kap_6/illustr/si_einkrist_inset.jpg)  
2,25x3,14x20x2,33 kg= 330 kg

---

---

---

---

---

---

---

---

## POLIKRISTÁLYOS SI KÉSZÍTÉSE

- 1. Homokból ívkemencében magas hőmérsékleten nyers Si**  
 $\text{SiO}_2 + 2\text{C} \rightarrow \text{Si} + 2\text{CO}$   
Ez a Si még szennyezett.
- 2. Nyers Si reagáltatása sósavval**  
 $\text{Si} + 3\text{HCl} \rightarrow \text{SiHCl}_3 + \text{H}_2$   
A triklór-szilán gáz, könnyen desztillálható.
- 3. CVD eljárással Si leválasztása triklór-szilánból**  
 $\text{SiHCl}_3 + \text{H}_2 \rightarrow \text{Si} + 3\text{HCl}$  (1000°C-on)

Az utolsó lépésben keletkezett Si gőzfázisból válik ki egy pálcára (szintén Si).

A tiszta olvadékot ebből a pálcából készítik.

---

---

---

---

---

---

---

---

## POLIKRISTÁLYOS SI KÉSZÍTÉSE: „parts-per” ARÁNSZÁMOK

- % százalék  $10^{-2}$
- ‰ ezrelék  $10^{-3}$
- ppm parts per million  $10^{-6}$   
Egy csepp víz 50 literhez képest
- ppb parts per billion  $10^{-9}$   
Egy csepp víz egy piafonig vízzel telt nappalihoz képest
- ppt parts per trillion  $10^{-12}$   
Egy csepp víz 20 színültig töltött versenymedencéhez képest

Kis mennyiségű szennyezők mennyiségének, ritkán előforduló hibák gyakoriságának kifejezésére használjuk.  
(pl. „A forrasztási hiba gyakorisága 500 ppm, azonnali közbeavatkozást igényel”)

---

---

---

---

---

---

---

---

Félvezető szelet előállítás

# FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

## OLVASZTANDÓ Poly-Si JELLEMZŐI

jellemző	anyag	határ
szennyezettség	donorok (P, As, Sb)	<300 ppt (atom)
	akceptorok (B, Al)	<100 ppt (atom)
	szén	<200 ppb (atom)

- Adalékolás (*doping*): anyagok tudatos bejuttatása abból a célból, hogy a Si, vagy más félvezető sávszerkezetét a gyártandó eszköz működése szempontjából előnyösen megváltoztassuk. Pl.: p-Si-ban a bór (B) adalék.
- Szennyezés: olyan anyagok véletlenszerű bejutása, amelyek a működés szempontjából közömbös, vagy káros. Pl.: „tisztá” Si-ban a bór (B) szennyező.

---

---

---

---

---

---

---

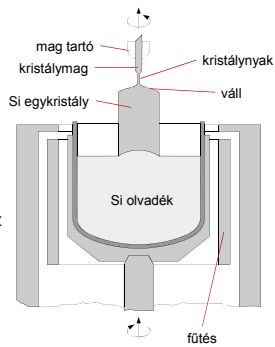
---

---

---

## A CZOCHRALSKI ELJÁRÁS

- A Si olvadékából orientált kristállyal húzzuk a kristályt, forgatás közben.
- Lényeges paraméterek: hőmérséklet (olvadáspont: 1414 °C), forgatás sebessége
- Adalékolás megoldható gáz vagy folyadék fázisból.
- Szennyeződés mértéke alapján osztályozhatók.




---

---

---

---

---

---

---

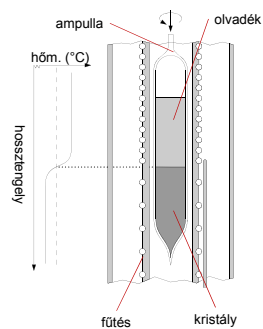
---

---

---

## A BRIDGMAN-STOCKBARGER ELJÁRÁS

- Lezárt ampullát húzunk végig egy csökkenő hőmérsékletű zónán.
- Si esetében kevésbé használatos.




---

---

---

---

---

---

---

---

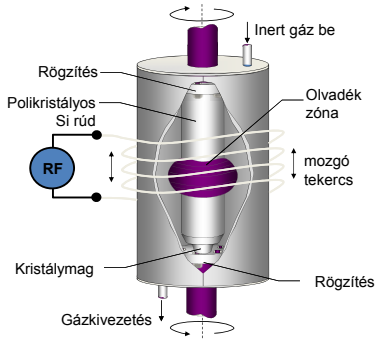
---

---

# FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

## MOZGÓZÓNÁS („FLOATING ZONE” - FZ) ELJÁRÁS

- A polikristályos rudat lassan mozgó tekercsel induktív módon megolvasztunk.
- A lassú kristályosodás egykristályt eredményez.
- Tisztításra is használható. pl.: zónás tisztítás  
A fázisok közötti szegregációt használja ki.




---

---

---

---

---

---

---

---

## TISZTASÁGI KÖVETELMÉNYEK

Többféle szabvány létezik, ezek közül a két leggyakrabban használt:  
**US FED STD 209E**

osztály	Lebegő részecskék száma köblábanként					ISO minősítés
	≥0.1 μm	≥0.2 μm	≥0.3 μm	≥0.5 μm	≥5 μm	
1	35	7	3	1		ISO 3
10	350	75	30	10		ISO 4
100		750	300	100		ISO 5
1,000				1,000	7	ISO 6
10,000				10,000	70	ISO 7
100,000				100,000	700	ISO 8

---

---

---

---

---

---

---

---

## TISZTASÁGI KÖVETELMÉNYEK

ISO 14644-1 szabvány

Osztály	Lebegő részecskék száma / m <sup>3</sup>						FED STD 209E szerint
	≥0.1 μm	≥0.2 μm	≥0.3 μm	≥0.5 μm	≥1 μm	≥5 μm	
ISO 1	10	2					
ISO 2	100	24	10	4			
ISO 3	1,000	237	102	35	8		Class 1
ISO 4	10,000	2,370	1,020	352	83		Class 10
ISO 5	100,000	23,700	10,200	3,520	832	29	Class 100
ISO 6	1,000,000	237,000	102,000	35,200	8,320	293	Class 1000
ISO 7				352,000	83,200	2,930	Class 10,000
ISO 8				3,520,000	832,000	29,300	Class 100,000
ISO 9				35,200,000	8,320,000	293,000	Szobai levegő

---

---

---

---

---

---

---

---

Félvezető szelet előállítás

# FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

## SI EGYKRISTÁLY FELDOLGOZÁSA

1. kvarc kályha poly-Si-vel töltve

Si olvadék

2. kristálynövesztés

3. öntecs formázása

4. méretellenőrzés

**BMEETT** Félvezető szelet előállítása 16/23

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

---

---

---

---

---

---

---

---

## SI EGYKRISTÁLY FELDOLGOZÁSA

5. Szeletelés

6. élcsiszolás

szeletek

7. hőkezelés

8. csiszolás (lapping)

**BMEETT** Félvezető szelet előállítása 17/23

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

---

---

---

---

---

---

---

---

## SI EGYKRISTÁLY FELDOLGOZÁSA

9. maratás

10. polírozás

11. tisztítás

12. elektromos tulajdonságok érintésmentes mérése

**BMEETT** Félvezető szelet előállítása 18/23

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

---

---

---

---

---

---

---

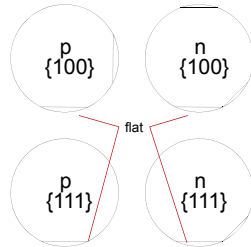
---

Félvezető szelet előállítása

# FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

## SZELETELÉS

- Előtte:  
ún. **flat** beköszörülése,  
amely mutatja  
az **orientációt**



és

- az **adalékolást**.

---

---

---

---

---

---

---

---

## SZELETELÉS, CSISZOLÁS, POLÍROZÁS

- Belső vágóélű gyémánt körfűrészszel kb. 1mm vastag szeleteket vágnak az öntecsből.
- A szeletelés hatására a felület szennyeződik, és repedezik.
- Ennek kiküszöbölésére több lépcsős csiszolást (mechanikai), és kémiai-mechanikai polírozást alkalmaznak.

---

---

---

---

---

---

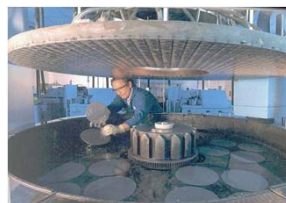
---

---

## CSISZOLÁS (LAPPING)

Feladata:

- Felületi repedések, vágási nyomok eltávolítása,
  - szelet vékonyítása,
  - mechanikai feszültségek felszabadítása
- Eredmény: wafer (szelet)



---

---

---

---

---

---

---

---

# FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

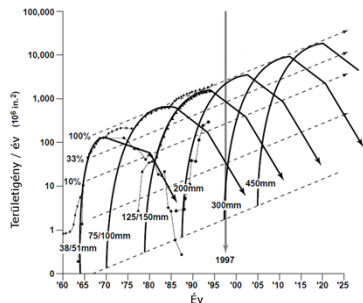
## SI SZELETMÉRET ÉS ÖSSZES GYÁRTOTT SZELETFELÜLET

Jelenleg folyik a 300 mm-es átmérőről való áttérés a 450 mm-re.

Az összes felület exponenciálisan növekszik.

Kihívás:

- nagy szeletméret (nagy, nehéz öntecs)
- kihozatal növelése



---

---

---

---

---

---

---

---

## ÖSSZEFOGLALÁS

- A szilícium alapanyaga a természetben bőséggel áll rendelkezésre.
- A természetből nyert homokot tisztítani kell a félvezetőgyártás számára
- Rendkívüli tisztasági körülmények közt kell gyártani (a szennyezés befolyásolja a félvezető eszköz működését).
- A technológia több (mechanikai, kémiai) lépésből áll, melynek eredménye az eszközgyártásra alkalmas szelet.

---

---

---

---

---

---

---

---