

# FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

  
MŰEGYETEM 1782

## 2 FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

### 2-05 MINTÁZAT- ÉS SZERKEZET-KIALAKÍTÁS FÉLVEZETŐ SZELETEN

ELEKTRONIKAI TECHNOLÓGIA ÉS ANYAGISMERET  
VIETAB00

 **BMEETT**  
ELEKTRONIKAI TECHNOLÓGIA TANTÁRSZÉK

BUDAPEST UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND ECONOMICS  
DEPARTMENT OF ELECTRONICS TECHNOLOGY

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

---

---

---

---

---

---


---

---

## BEVEZETÉS

- Mintázatkialakítás félvezetőn
  - Litográfia technológiája az integrált áramkörök esetében
  - Összehasonlítás a NYHL litográfiájával

Kiindulás tehát:  
(Si) chip – az előadásban Si esetére tárgyaljuk a folyamatot.

 **BMEETT**

Mintázat- és szerkezetkialakítás

2/36

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

---

---

---

---

---

---


---

---

## BEVEZETÉS

A mintázat kialakítása irányulhat:

- a vezetési tulajdonságok lokális megváltoztatására  
Pl. adalékolás diffúzióval vagy ionimplantációval; litográfiával maszkot készítünk SiO<sub>2</sub>-ből a felületre, a maszkolatlan területen végezzük az adalékok bejuttatását.
- felületi vagy tömbi struktúrák kialakítására  
Pl. anizotróp marás MEMS-ek esetében, vagy összeköttetés-rendszer kialakítására az IC-ben.

 **BMEETT**

Mintázat- és szerkezetkialakítás

3/36

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

---

---

---

---

---

---

---

---

Mintázat- és szerkezetkialakítás

# FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

## LITOGRAFIA CÉLJA

- Litográfia jelentése: kőrajz
- Síkbeli alakzatok létrehozása a félvezető szelet felületén
  - Többszöri alkalmazásával több rétegben építközhetünk

A bonyolult elektronikus félvezető eszközökben a litográfias lépések száma megközelíti a 100-at!
- Később tárgyaljuk a nyomtatott huzalozású lemezek litográfiáját. Az IC esetében használt litográfia a NYHL-éhez alapelveiben hasonló, néhány különbséggel, amelyek a felbontást és precizitást növelik.



Nyomdászati célú nyomókö

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## LITOGRAFIA ÁLTALÁNOS FOLYAMATA

0. Mintázandó anyag felvitele  
A mintázandó anyag lehet funkcionális (pl. fém, szigetelő, félvezető), vagy maszk (pl. SiO<sub>2</sub>)  
Lehetséges, hogy a szubsztrát anyagát mintázzuk. (pl. MEMS eszközök, tömbi mikromechanika).
1. Reziszt felvitele
2. Reziszt „megvilágítása” (pl. fénnel, elektronsugárral...) „árnyékoló” maszkon keresztül
3. Előhívás (reziszt leoldása)
4. Mintázandó anyag marása  
Lehet nedves vagy száraz maratással.
5. Maradék reziszt leoldása

---

---

---

---

---

---

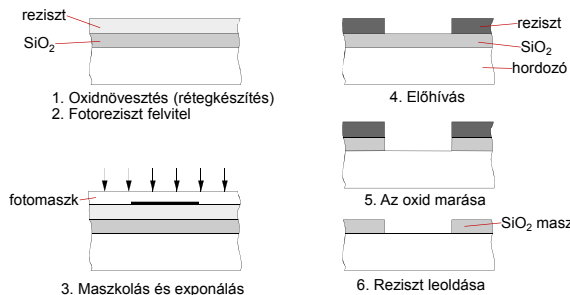
---

---

---

---

## PÉLDA: OXIDMASZK KÉSZÍTÉSE ADALÉKOLÁSHOZ




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

# FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

## 1. SZELETTISZTÍTÁS REZISZTFELVITEL ELŐTT

- RCA eljárás (Radio Corporation of America – itt dolgozták ki a lépéseit):
  - Szerves szennyeződések eltávolítása  
Ammónium-hidroxid ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ), hidrogén-peroxid ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) és víz elegyében.  
Az eredmény: oxiddal ( $\text{SiO}_2$ ) borított szeletfelszín.
  - Oxidréteg eltávolítása  
A felületi oxid redukciója savval: hidrogén-fluorid (HF) vizes oldatában.
  - Fémes (ionos) szennyeződések eltávolítása  
Sósav (HCl), hidrogén-peroxid és víz elegyévelA víz minden esetben nagy tisztaságú ioncserélt víz!

---

---

---

---

---

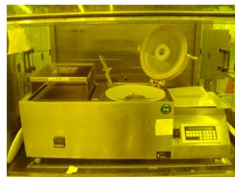
---

---

---

## 1. FOTOREZISZT FELVITELE

- Ún. **spin-coating**  
A folyadék halmazállapotú rezisztet felcseppentjük, és a szeletet a középpontján áthaladó tengely körül forgatjuk.  
(Fordulatszám: 1200-4800 1/min)  
Az eredmény: egyenletes, 0,5-2,5  $\mu\text{m}$  vastagságú bevonat.  
Finomabb rajzolathoz vékonyabb reziszt szükséges.
- Előfűtés: Az oldószerek eltávoloznak.



reziszt „spinner”

---

---

---

---

---

---

---

---

## 1. A REZISZTEK TÍPUSAI

### Pozitív működésű reziszt:

Oldhatóvá válik, ahol az exponáló sugárzás érte.

### Pozitív reziszt:

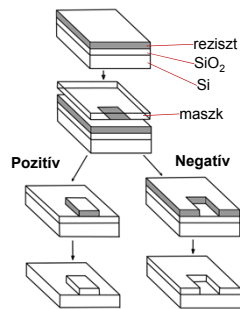
Azért pozitív, mert a maszk és a réteg mintázata megegyezik.

### Negatív működésű reziszt:

Oldhatatlanná válik, ahol az exponáló sugárzás érte.

### Negatív reziszt:

A maszk és a réteg mintázata egymás komplementere.



Pozitív és negatív reziszt  $\text{SiO}_2$  oxidmaszk készítése esetében

---

---

---

---

---

---

---

---

# FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

## 2. EXPONÁLÁS

- Tipikusan UV fényvel világítjuk meg a rezisztet.

Fényforrások: higanygőzlámpa  
UV vonala (kb. 400 nm),  
excimer lézerek  
(KrF: 248 nm, ArF: 193 nm)



- Az optikai elemek speciális anyagúak, amelyek nem nyelnek el az adott hullámhosszon.  
(pl. kalcium-fluorid)
- A lencserendszer és a szelet között immerziós folyadékkal növelhető a felbontás

---

---

---

---

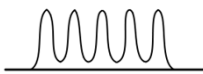
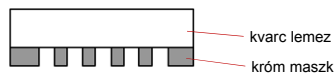
---

---

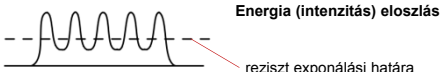
---

---

## 2. RAJZOLAT KIALAKÍTÁSA – HAGYOMÁNYOS MASZKOK



Térerősség



Energia (intenzitás) eloszlás



reziszt előhívás után

---

---

---

---

---

---

---

---

## 2. RAJZOLAT KIALAKÍTÁSA – HAGYOMÁNYOS MASZKOK

Jellemzői:

- A fény útjába kerülő króm maszknak két állapota van, vagy átérészt, vagy nem.
- A kvarc lemez minden pontján azonos az áthaladó fény fázisváltozása.
- Előhívás után a reziszt fala nem függőleges a fellépő részleges exponálás miatt.
- Nagyon nagy felbontás (<50nm) esetén „trükköket” kell alkalmazni a maszkokon: fázisváltó maszk.  
A változtatás célja a kontrasztarány javítása.

---

---

---

---

---

---

---

---

# FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

## 2. RAJZOLAT KIALAKÍTÁSA – SPECIÁLIS MASZKOK

13/36

---

---

---

---

---

---

---

---

## 2. RAJZOLAT KIALAKÍTÁSA – SPECIÁLIS MASZKOK

Jellemzői:

- A fény útjába kerülő króm maszknak két állapota van, vagy átereszt, vagy nem.
- A kvarc lemezbe felületi struktúrát vannak olyan tartományok, amelyek 180°-os fázistolást végeznek a fény hullámában. (lépcsős fázistolás-alternating phase shifting)

VAGY

- Egy mintázott, alacsonyabb áteresztésű fázistoló réteget szükséges beiktatni. (csillapított fázistolás – attenuated phase shift)
- Előhívás után a reziszt fala jobban közelíti a függőlegest.
- Bonyolult technológia

14/36

---

---

---

---

---

---

---

---

## 2. RAJZOLAT KIALAKÍTÁSA – MASZKOK PIACA A VILÁGON

- 45nm-es technológiához szükséges maszk gyártására képes gyártósor költsége 200-500 millió USD.
- Egy fotomaszk darabára 1.000-40.000 USD, IC gyártásához szükséges kb. 30 darab maszk.
- A vezető chipgyártóknak (Intel, IBM, NEC, TSMC, Samsung, Micron Technology, etc.) saját maszkkészítő gyáregységük van.

15/36

---

---

---

---

---

---

---

---

Mintázat- és szerkezetkialakítás

# FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

## 2. EXPONÁLÁS: FÉNYFORRÁSOK ÉS FELBONTÁS

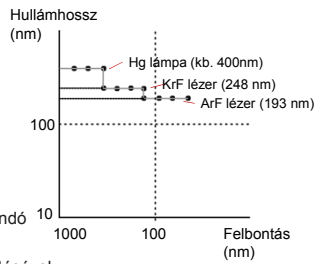
- Az elérhető felbontást a fény diffrakciója korlátozza.
- A felbontás elvi korlátja:

$$d = k_1 \frac{\lambda}{NA}$$

$\lambda$ : hullámhossz,  
NA: numerikus apertúra,

$k_1$ : elrendezéstől függő állandó

- Javítani lehet:
  - a hullámhossz csökkentésével
  - az NA növelésével (folyadék alatt)
  - $k_1$  növelésével (fázismaszkok, egyéb trükkök)




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 2. EXPONÁLÁS: A JÖVŐ LEHETŐSÉGEI

Az EUV (extrém UV) tartományban: 13,5 nm-es hullámhossz

Kihívások:

- Ezen a hullámhosszon az optikai anyagok elnyelnek, lencsékkel nem készíthető optika
- Nagy energiájú fotonok roncsolhatják az alapanyagot
- Vékonyabb rezisztet kell alkalmazni

---

---

---

---

---

---

---

---

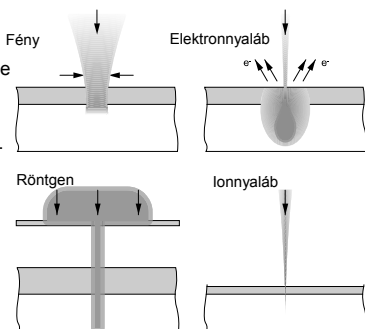
---

---

## 2. MASZK KÉSZÍTÉSE LITOGRÁFIÁVAL

A maszkkészítés menete ugyanúgy litográfia, de (általában) speciális sugárral történik az írás.

- fényvel (VIS->EUV, egyre alacsonyabb hullámhosszakkal),
- **elektronsugárral,**
- röntgensugárral,
- ionsugárral.




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

# FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

## 2. MASZK KÉSZÍTÉSE LITOGRÁFIÁVAL

- fényvel,
  - előny: hagyományos lencsékkel, tükrökkel fókuszálható
  - hátrány: diffrakció a 100 nm alatti mérettartományban
- elektronsugárral,
  - előny: nagyon jó felbontás érhető el,
  - hátrány: elektromágneses optika szükséges, vákuumot igényel, kizárólag egyedi gyártásra alkalmas
- röntgensugárral,
  - előny: nagyon jó felbontás érhető el,
  - hátrány: csak reflektív optika építhető, körülményes a nyálábformálás
- ionsugárral,
  - előny: nagyon jó felbontás érhető el,
  - hátrány: elektromágneses optika szükséges, vákuumot igényel, kizárólag egyedi gyártásra alkalmas, roncsolást okoz a felületen.

---

---

---

---

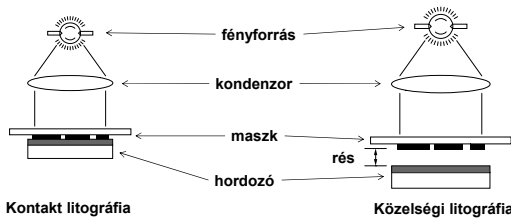
---

---

---

---

## 2. EXPONÁLÁS – VETÍTÉS TÍPUSAI: AZ 1:1 ARÁNYÚ LITOGRÁFIA



- Rés alkalmazásának előnye: nem sérül a maszk
- Hátránya: a fény szóródással behatol nem kívánt területekre is

---

---

---

---

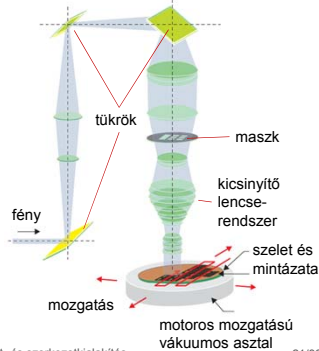
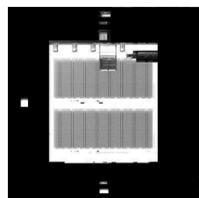
---

---

---

---

## 2. EXPONÁLÁS – VETÍTÉS TÍPUSAI: MINTÁZAT VETÍTÉSE LÉPTETÉssel („STEP-AND-REPEAT”)



- Maszk: elektronsugárral mintázott krom bevonat kvarcüvegen

---

---

---

---

---

---

---

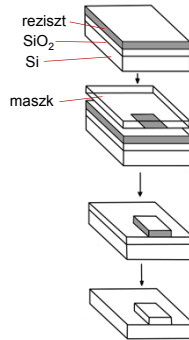
---

# FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

## 3. ELŐHÍVÁS

Általában pozitív működésű rezisztet alkalmaznak, vagyis oldhatóvá válik, ahol megvilágítás érte.

Az előhívó folyadék felvitele forgatva történik.



---

---

---

---

---

---

---

---

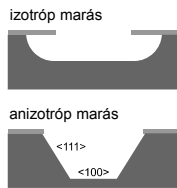
## 4. A MINTÁZANDÓ ANYAG MARÁSA A MARATÁS TÍPUSAI

A marás lehet iránykarakterisztika alapján:

- izotróp: a hordozó minden irányában (közel) azonos a marási sebesség
- anizotróp: egy kitüntetett irányban nagyságrendekkel lassabb a marás, mint más irányokban.

Marószer anyaga alapján:

- nedves maratás – általában izotróp, de Si-hoz léteznek anizotróp nedves marószer
- száraz maratás – általában anizotróp



---

---

---

---

---

---

---

---

## 4. A MINTÁZANDÓ ANYAG MARÁSA NEDVES MARÁS

**Szilícium (Si)** maratószerai:

- Izotróp maratáshoz 3 ml HF + 5 ml HNO<sub>3</sub> + 3 ml CH<sub>3</sub>COOH (fluorsav + salétromsav + ecetsav) vizes oldata
- Anizotróp maratáshoz KOH (kálium-hidroxid) vizes oldata

**SiO<sub>2</sub>** oxidmaró:

- 28 ml HF + 113 g NH<sub>4</sub>F + 170 ml víz (+ esetleg HNO<sub>3</sub>)

**Alumínium (Al)** (huzalozási célú fémezés) maratószerai:

- NaOH (nátriumhidroxid) vizes oldata
- HCl (sósav) vizes oldata
- H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> + HNO<sub>3</sub> (foszforsav + salétromsav) vizes oldata

**Arany (Au)** (huzalozási célú fémezés) maratószerai:

- Királyvíz: 1 rész konc. HCl + 3 rész konc. HNO<sub>3</sub>
- Jodidos marató: 400 g KI + 100 g I<sub>2</sub> + 400 ml víz

**Nikkel-króm (Ni-Cr)** (ellenállásréteg) maratószerai:

- Ce<sup>IV</sup>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> + HNO<sub>3</sub> (cérium(IV) szulfát + salétromsav) + víz

---

---

---

---

---

---

---

---



# FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

## 4. A MINTÁZANDÓ ANYAG MARÁSA SZÁRAZ MARÁS: PLAZMA MARATÁS

### Plazma maratás:

gerjesztéssel **plazmát** állítanak elő, amelyben ionok vannak. Ezek a megfelelő potenciálon lévő hordozó felé **gyorsulnak**, elérik a felszínét, így fejtik ki maró hatásukat.

A készülék felépítése igen hasonló az ionos porlasztóhoz (később, a vékonyrétegeknél).

A három plazmaképződésen alapuló folyamat között a gázok nyomása a különbség:

- plazmamaratás: 0,1-5 Torr (néhány 100 Pa)
- reaktív ionmaratás:  $10^{-3}$ - $10^{-1}$  Torr (nagyságrendileg Pa)
- porlasztás:  $10^{-4}$  Torr (mPa)

---

---

---

---

---

---

---

---

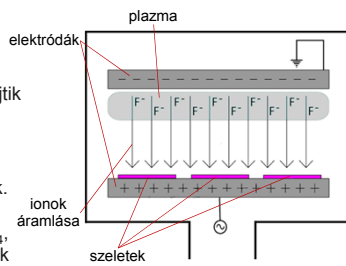
## 4. A MINTÁZANDÓ ANYAG MARÁSA RIE: REAKTÍV IONMARATÁS

### Reaktív ionmaratás:

A plazmamaratás speciális formája, az ionok **kémiai reakció** segítségével kifejtik maró hatásukat.

A maratást kiváltó anyag leggyakrabban kis rendszámú, negatív ionok. (pl. F, Cl). Ezeket vegyületeik (pl.:  $CF_4$ ,  $CCl_4$ ,  $SiCl_4$ ) felbontásával állítják elő.

(A porlasztásnál más:  $Ar^+$ )



---

---

---

---

---

---

---

---

## 5. REZISZT ELTÁVOLÍTÁSA

Angol elnevezés: resist stripping

Lehet:

- Kémiai úton, oldószerrel
- Oxidációval (oxigénplazmával – „ashing”)

---

---

---

---

---

---

---

---

# FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

## ALKALMAZÁS (EMLÉKEZTETŐ): ADALÉKOLÁS

1. SiO<sub>2</sub> növesztése
  - Száraz, vagy nedves oxidnövesztés
2. Összefüggő SiO<sub>2</sub> réteg mintázása fotolitográfiával
  - Reziszt felvitele, exponálás, előhívás, oxid lokális maratása, reziszt eltávolítása (előző dia)
  - Eredmény: oxidmaszk
3. Adalékolás
  - Implantáció vagy diffúzió. Az oxidmaszkban az adalékok diffúziója nagyságrendekkel kisebb, mint a hordozóban.

---

---

---

---

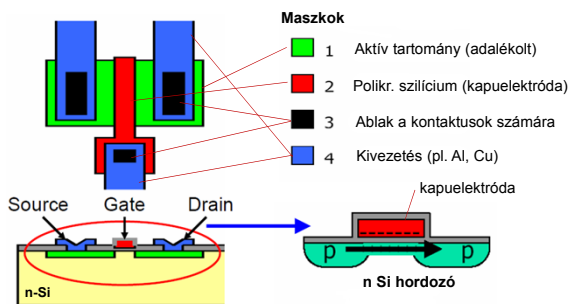
---

---

---

---

## pMOS TRANZISZTOR ELŐÁLLÍTÁSÁNAK FOLYAMATA




---

---

---

---

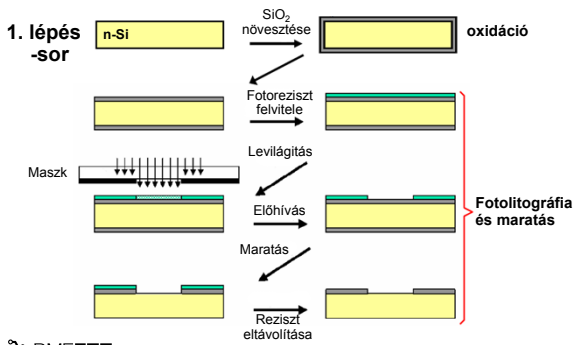
---

---

---

---

## pMOS TRANZISZTOR ELŐÁLLÍTÁSÁNAK FOLYAMATA




---

---

---

---

---

---

---

---

# FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

## pMOS TRANZISZTOR ELŐÁLLÍTÁSÁNAK FOLYAMATA

**2. lépés**

Kapuelektroda oxidrétegének növesztés („vékony oxid”) **oxidáció**

polikr. Si

polikr. Si réteg készítése LPCVD-vel **leválasztás**

BMEETT Mintázat- és szerkezetkialakítás 31/36

---

---

---

---

---

---

---

---

## pMOS TRANZISZTOR ELŐÁLLÍTÁSÁNAK FOLYAMATA

**3. lépés**

2. (piros) maszk

polikr. Si rajzolat kialakítása

gate oxid maratása

BMEETT Mintázat- és szerkezetkialakítás 32/36

---

---

---

---

---

---

---

---

## pMOS TRANZISZTOR ELŐÁLLÍTÁSÁNAK FOLYAMATA

**4. lépés**

Ionimplantáció

1. (zöld) maszk

Adalék behajtása diffúzióval

Hátoldali polikr. Si és az oxid maratása

BMEETT Mintázat- és szerkezetkialakítás 33/36

---

---

---

---

---

---

---

---

Mintázat- és szerkezetkialakítás

# FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

## pMOS TRANZISZTOR ELŐÁLLÍTÁSÁNAK FOLYAMATA

5. lépés

3. (fekete) maszk Oxid maratása

fém (pl. Al, Cu) leválasztása

BMEETT Mintázat- és szerkezetkialakítás 34/36

---

---

---

---

---

---

---

---

## A FOLYAMAT ÖSSZEFOGLALVA: pMOS TRANZISZTOR

6. lépés

4. (kék) maszk

Fém maratása

Hőkezelés

Tesztelés

BMEETT Mintázat- és szerkezetkialakítás 35/36

---

---

---

---

---

---

---

---

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az előadáson elhangzott:

- A szelet előkészítése a litográfiához
- A litográfia lépései
- Litográfia alkalmazásai a félvezető technológiában:
  - oxid mintázása,
  - adalékolás,
  - fém átvezetések kialakítása.

Ezen lépések ciklikus ismétlésével legyártható a modern integrált áramkör.

BMEETT Mintázat- és szerkezetkialakítás 36/36

---

---

---

---

---

---

---

---