

# FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA



**5 FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK  
GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA**

**5-03 MINTÁZAT- ÉS SZERKEZET-KIALAKÍTÁS  
FÉLVEZETŐ SZELETEN**

**ELEKTRONIKAI TECHNOLÓGIA ÉS ANYAGISMERET**

**VIETAB00**

**A háttérszín jelentése: IMSc anyag**

 **BMEETT**  
ELEKTRONIKAI TECHNOLÓGIA TANSZÉK

BUDAPEST UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND ECONOMICS  
DEPARTMENT OF ELECTRONICS TECHNOLOGY

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

1

---

---

---

---

---

---

---

---

**LITOGRAFIA CÉLJA**

- Litográfia jelentése: körrajz
- Síkbeli alakzatok létrehozása a félvezető szelet felületén
  - Többszöri alkalmazásával több rétegben építkезhetünkA bonyolult elektronikus félvezető eszközökben a litográfias lépések száma megközelíti a 100-at!
- Az IC-k esetében használt litográfia a NYHL-éhez alapelveiben hasonló, néhány különbséggel, amelyek a felbontást és precizitást növelik.



**Nyomdászati célú nyomókő**

 **BMEETT**

Mintázat- és szerkezetkialakítás

2/38

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

2

---

---

---

---

---

---

---

---


**LITOGRAFIA ÁLTALÁNOS FOLYAMATA**

0. Mintázandó anyag felvitele

A mintázandó anyag lehet funkcionális (pl. fém, szigetelő, félvezető), vagy maszk (pl.  $\text{SiO}_2$ )

Lehetséges, hogy a szubsztrát anyagát mintázzuk. (pl. MEMS eszközök, tömbi mikromechanika).
1. Reziszt (maratásálló réteg) felvitele
2. Reziszt „megvilágítása” (pl. fénnel, elektronsugárral...) „árnyékoló” maszkon keresztül
3. Előhívás (reziszt leoldása a mintázatnak megfelelően)
4. Mintázandó anyag marása

Lehet nedves vagy száraz maratással.
5. Maradék reziszt leoldása

 **BMEETT**

Mintázat- és szerkezetkialakítás

3/38

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

3

---

---

---

---

---

---

---

---

### PÉLDA: OXIDMASZK KÉSZÍTÉSE ADALÉKOLÁSHOZ

reziszt

SiO<sub>2</sub>

1. Oxidnövesztés (rétegkészítés)

2. Fotoreziszt felvitel

fotomaszk

3. Maszkolás és exponálás

reziszt

SiO<sub>2</sub>

hordozó

4. Előhívás

5. Az oxid marása

SiO<sub>2</sub> maszk

6. Reziszt leoldása

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

Mintázat- és szerkezetkialakítás

4/38

4

---

---

---

---

---

---

---

---

### 1. FOTOREZISZT FELVITELE

- Centrifugálás: ún. **spin-coating**  
A folyadék halmazállapotú rezisztet felcseppentjük a tisztított szeletre, és azt a középpontján áthaladó tengely körül forgatjuk. (Fordulatszám: 1200-4800 1/min)  
Az eredmény: egyenletes, 0,5-2,5 µm vastagságú bevonat. Finomabb rajzolathoz vékonyabb reziszt szükséges.
- Előfűtés: Az oldószerek eltávoznak.

reziszt „spinner”

Mintázat- és szerkezetkialakítás

5/38

5

---

---

---

---

---

---

---

---

### 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

Negatív

Pozitív és negatív reziszt SiO<sub>2</sub> oxidmaszk készítése esetében

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

Mintázat- és szerkezetkialakítás

6/38

6

---

---

---

---

---

---

---

---

2. EXPONÁLÁS

- Tipikusan UV fénnel 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



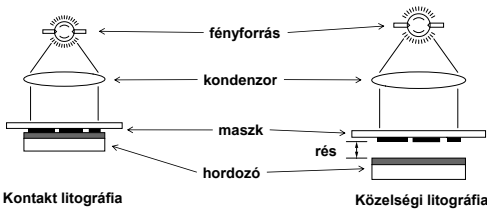
BMEETT

Mintázat- és szerkezetkialakítás

7/38

7

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

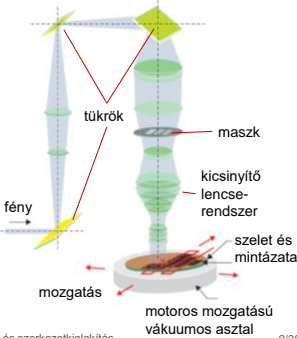
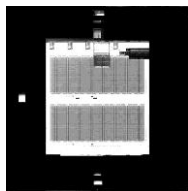
BMEETT

Mintázat- és szerkezetkialakítás

8/38

8

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



- Maszk: elektronsugárral mintázott króm bevonat kvarcüvegen

BMEETT

Mintázat- és szerkezetkialakítás

9/38

9

### 2. RAJZOLAT KIALAKÍTÁSA – HAGYOMÁNYOS MASZKOK

kvarc lemez (átlátszó)  
króm maszk (nem átlátszó)

Fényhullám térerősség

Energia (intenzitás) eloszlás

Reziszt exponálási határa

Reziszt előhívás után (fala nem függőleges, limitált a felbontás, max 50nm)

BMEETT Mintázat- és szerkezetkialakítás 10/38

---

---

---

---

---

---

---

---

10

### 2. RAJZOLAT KIALAKÍTÁSA – FLEBONTÁS JAVÍTÁSA FÁZISTOLÁSSAL

Glass

Air

$\Delta\phi = 2\pi(n-1)d/\lambda$   
 $n$  = glass index of refraction  
 $d$  = shifter thickness

180°-os fázistolásnál a  
térerősség előjelet vált

Conventional Mask

Mask

Phase Shifting Mask

Field Amplitude

Superposition

Intensity

BMEETT Mintázat- és szerkezetkialakítás 11/38

---

---

---

---

---

---

---

---

11

### FÁZISTOLÓ MASZKOK

Hagyományos bináris

Alternáló fázistoló

Csillapított fázistoló

Kvarc

Króm

Csillapító réteg

Térerősség a maszkon

Térerősség a szeleten

Exponálási küszöb

Reziszt a szeleten

BMEETT Mintázat- és szerkezetkialakítás 12/38

---

---

---

---

---

---

---

---

12

## 2. RAJZOLAT KIALAKÍTÁSA – SPECIÁLIS FÁZISTOLÓ MASZKOK

Jellemzők:

- A fény útjában a kvarc átereszt, a króm nem.
- Alternáló fázistolás: a kvarc lemezbe felületi struktúrát marnak, melyben vannak olyan tartományok, amelyek 180°-os fázistolást végeznek a fény hullámában (alternating phase shifting).
- Csillapított fázistolás: egy mintázott, alacsonyabb áteresztésű fázistoló réteget is beiktatnak (attenuated phase shift)
- Nagyobb felbontás biztosítható.
- Előhívás után a reziszt fala jobban közelíti a függőlegest.
- Bonyolult technológia, a maszkot is litografálni kell!!!

BMEETT

Mintázat- és szerkezetkialakítás

13/38

13

---

---

---

---

---

---

---

---

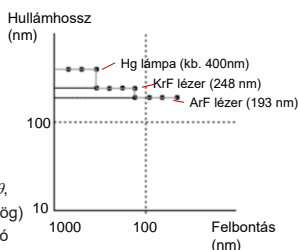
## 2. EXPONÁLÁS: FÉNYFORRÁSOK ÉS FELBONTÁS

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

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

$\lambda$ : hullámhossz,  
NA: numerikus apertúra= $n \sin \theta$ ,  
(n-törésmutató,  $\theta$  – fénylásszög)  
 $k_1$ : elrendezéstől függő állandó

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



BMEETT

Mintázat- és szerkezetkialakítás

14/38

14

---

---

---

---

---

---

---

---

## 2. EXPONÁLÁS NANOTAROMÁNYBAN:

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
- Az 5nm-es technológia még EUV-val működik (pl. Samsung)

BMEETT

Mintázat- és szerkezetkialakítás

15/38

15

---

---

---

---

---

---

---

---

### 2. NANOMÉRETŰ MASZK ÉS SZELET LITOGRÁFIA

Sugárzások alkalmazása:

- fény (VIS->EUV, egyre alacsonyabb hullámhosszakkal),
- elektronsugár,
- röntgensugár,
- ionsugár.

Mintázat- és szerkezetkialakítás

16/38

16

---

---

---

---

---

---

---

---

### 2. LITOGRÁFIÁK

- Fénnyel:
  - előny: hagyományos lencsékkel, tükrökkel fókuszálható
  - hátrány: diffrakció a 100 nm alatti mérettartományban
- Spec. megoldás 2020-ban EUV (13,5 nm)
- Elektronsugárral:
  - előny: nagyon jó felbontás érhető el (<10nm), maszk nélküli eljárás
  - hátrány: elektromágneses optika szükséges, vákuumot igényel, tömeggyártásra nehezen alkalmazható
- Röntgensugárral:
  - előny: nagyon jó felbontás érhető el nagy mélységben is (<10nm)
  - hátrány: kollimátoros (maszkolt) v. refraktív nyalábformálás
- Ionsugárral:
  - előny: nagyon jó felbontás érhető el (<10nm), közvetlen rétegmegmunkálás lehetséges
  - hátrány: elektromágneses optika szükséges, vákuumot igényel, egyedi gyártásra alkalmas, roncsolást okozhat a felületen.
- Egyéb nano-litográfiák (Részletesebben I. Nanotudomány)

Mintázat- és szerkezetkialakítás

17/38

17

---

---

---

---

---

---

---

---

### What is EUV Lithography

- Uses light with a very small wavelength (13.5 nm, or  $1.3 \times 10^{-6}$  cm) -from the Extreme Ultra Violet region of the light spectrum - to transfer images from a mask onto a silicon wafer

Mintázat- és szerkezetkialakítás

18/38

18

---

---

---

---

---

---

---

---

### 2. RÖNTGENSUGARAS LITOGRÁFIA

- Rtg. foton hullámhossza:  $\lambda < 1\text{ nm}$ ,
- Klasszikus megoldás: kollimált levilágítás maszkon keresztül
- Rezsizt: PMMA
- Szinkrotron (nagyenergiájú párhuzamos) sugárzással nagy pontossággal nagy mélységű megvilágítás
- Nagy oldalarány (vastagság/szélesség) valósítható meg
- Laterális felbontás javítása diffraktív optikával (Fresnel zónás) lehetséges (Részletesebben I. Nanotudomány)

Röntgen levilágítás maszkon keresztül

Hordozó

PMMA (polimetil-metakrilát)

Előhívás

Hordozó

PMMA (polimetil-metakrilát)

Mintázat- és szerkezetkialakítás

19/38

19

---

---

---

---

---

---

---

---

### 2. ELEKTRONSUGARAS LITOGRÁFIA (ELECTRON BEAM LITHOGRAPHY, EBL)

Az elektronsugaras litográfia felbontóképessége:

Az elektronok ekvivalens hullámhossza DeBroglie alapján:  $\lambda = mv/h$   
ahol  $h$  a Planck állandó,  $m$  az elektron tömege.

A sebesség ( $v$ ) kifejezhető a gyorsítófeszültséggel:  $v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$

Innen 1 kV gyorsító feszültséggel ez  $\approx 0.0387\text{ nm}$ .

Az elvi felbontóképesség a pm-es nagyságrendbe esik, de technikai limitek miatt ez nagyságrendekkel rosszabb, mégis a a nm tartományba hozható.

A mintára eső elektronsugár által keltett visszaszórt elektronokat detektálva a minta pásztázó elektronmikroszkópos képe is megjeleníthető (I. SEM)

A minta helyzetét igen lézer interferométer segítségével.

Termelékenysége általában kisebb, mint a fotolitográfiáé, gyakran a két módszer kombinációját használják

Mintázat- és szerkezetkialakítás

20/38

20

---

---

---

---

---

---

---

---

### 2. ELEKTRONSUGARAS LITOGRÁFIA (ELECTRON BEAM LITHOGRAPHY, EBL)

Mintázat- és szerkezetkialakítás

21/38

21

---

---

---

---

---

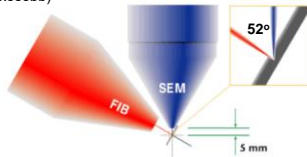
---

---

---

### 2. IONSUGARAS LITOGRAFIA

- Ionsugaras expozíció (pl. He+).
- A fókuszált ionsugár (Ga+) litográfia (focused ion beam lithography) elvében hasonló az elektronlitográfiahoz.
- A reziszt anyagok az ionokra érzékenyebbek.
- Az ionok energiája nagyobb, ezért az érzékenység egy-két nagyságrenddel megnőhet.
- Az anyagokba behatoló ionok szórt elektront keltenek, ez javítja az exponálás minőségét.
- A behatolási mélység állítható az ionok energiájának változtatásával.
- A litográfias célra kialakított ionforrás használható ionimplantálásra is.
- Közvetlen ionos megmunkálásra szolgáló fókuszált ionsugár (FIB) és pásztázó elektronmikroszkóp (l. később) (SEM) építhető össze egy készülékben.



Mintázat- és szerkezetkialakítás 22/38

22

---

---

---

---

---

---

---

---

### 3-4. ELŐHÍVÁS UTÁN A MINTÁZANDÓ ANYAG MARÁSA: A MARATÁS TÍPUSAI

A marás lehet iránykarakterisztika alapján:

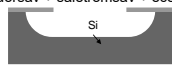
- izotróp: a hordozó minden irányában (közel) azonos a marási sebesség
- anizotróp: egy kitüntetett irányban nagyságrendekkel lassabb a marás, mint más irányokban. Az anizotrópia mértéke Si-ban (111):(110):(100) ~ 1:600:400

Marószerszer anyaga alapján:

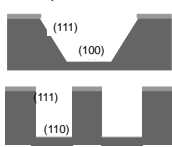
- nedves maratás – általában izotróp, de Si-hoz léteznek anizotróp nedves marószerek
- száraz maratás – általában anizotróp

**Szilícium (Si) maratószerai:**

Izotróp maratáshoz:  
 $\text{HF} + \text{HNO}_3 + \text{CH}_3\text{COOH}$   
(fluorsav + salétomsav + ecetsav)  $\rightarrow \text{SiO}_2$



Anizotróp maratáshoz: KOH



Mintázat- és szerkezetkialakítás 23/38

23

---

---

---

---

---

---

---

---

### 4. A MINTÁZANDÓ ANYAG MARÁSA: SZÁRAZ MARÁS TÍPUSOK

**Plazma maratás** (PE = Plasma Etching): RF gerjesztéssel alacsony nyomáson (0,1-5 Torr, néhány 100 Pa) **plazmát** állítanak elő - a plazmában keletkező szabad gyökökkel bíró semleges gázrészecskékkal (F, CF<sub>3</sub>, O) kémiai reakció megy végbe a hordozón illékony terméket eredményezve. A marási profil izotróp v. (mélységi) anizotróp.

**Ionmaratás** (IE = Ion Etching, Sputter Etching): 10<sup>-4</sup> Torr (mPa) fizikai maratás (porlasztás) nemesgáz ionokkal (pl. Ar<sup>+</sup>), anizotróp.

**Ionsugaras maratás** (IBE = Ion Beam Etching): fizikai maratás ionágyúval, igen anizotróp. (FIBE=Focused Ion Beam Etching)

Mintázat- és szerkezetkialakítás 24/38

24

---

---

---

---

---

---

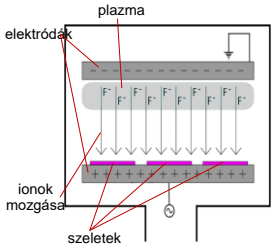
---

---



4. A MINTÁZANDÓ ANYAG MARÁSA  
SZÁRAZ MARÁS TÍPUSOK

**Reaktív ionmaratás (RIE =**  
Reactive Ion Etching): a  
plazmamarás ionokkal segített  
változata  $10^{-3}$ - $10^{-1}$  Torr  
nyomáson, ahol vegyületeikből  
elbontott reaktív ionok  $F^-$ ,  $Cl^-$   
bombázzák a hordozó felületét.  
Nagy anizotrópia érhető el:  
**DRIE = Deep RIE** 10-nél  
nagyobb oldalarányal.

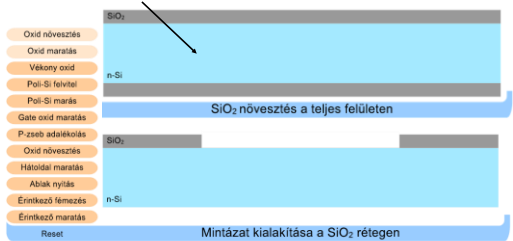


ALKALMAZÁS 1: IC TECHNOLOGIA

1.  $SiO_2$  növesztése
  - Száraz, vagy nedves oxidnövesztés
2. Összefüggő  $SiO_2$  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.

ALKALMAZÁS 1: PMOS TRANZISZTOR  
ELŐÁLLÍTÁSÁNAK FOLYAMATA

Kiindulás: n-Si hordozó



pMOS technológia

Oxid növesztés  
Oxid maratás  
Vékony oxid  
Poli-Si felvitel  
Poli-Si marás  
Vékony SiO<sub>2</sub> réteg (gate oxid) növesztése a teljes felületen  
Gate oxid maratás  
P-zseb adalékolás  
Oxid növesztés  
Háttérrel maratás  
Ablak nyitás  
Érintkező fémzés  
Érintkező maratás  
Reset

Polikristályos Si feltele LPCVD eljárással

BMEETT Mintázat- és szerkezetkialakítás 28/38

28

---

---

---

---

---

---

---

---

pMOS

Oxid növesztés  
Oxid maratás  
Vékony oxid  
Poli-Si felvitel  
Poli-Si marás  
Gate oxid maratás  
P-zseb adalékolás  
Oxid növesztés  
Háttérrel maratás  
Ablak nyitás  
Érintkező fémzés  
Érintkező maratás  
Reset

Polikristályos Si gate elektród rajzolat kialakítása

Gate oxid maratása

BMEETT Mintázat- és szerkezetkialakítás 29/38

29

---

---

---

---

---

---

---

---

pMOS technológia

Oxid növesztés  
Oxid maratás  
Vékony oxid  
Poli-Si felvitel  
Poli-Si marás  
Gate oxid maratás  
P-zseb adalékolás  
Oxid növesztés  
Háttérrel maratás  
Ablak nyitás  
Érintkező fémzés  
Érintkező maratás  
Reset

P-zseb adalékolása ion-implantáció és diffúzió segítségével

BMEETT Mintázat- és szerkezetkialakítás 30/38

30

---

---

---

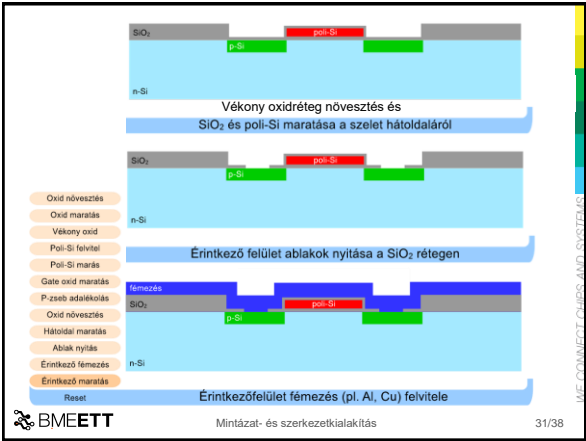
---

---

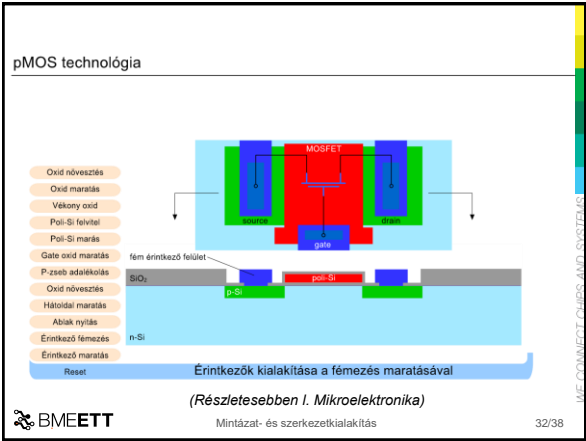
---

---

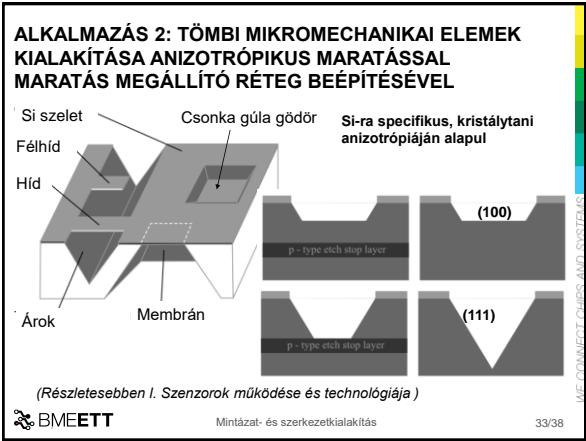
---



31



32



33

ALKALMAZÁS 3: FELÜLETI MIKROMECHANIKAI ELEMEEK KIALAKÍTÁSA SZELEKTÍV MARATÁSSAL ÁLDOZATI RÉTEG BEÉPÍTÉSÉVEL

A Si esete példa, más anyagokkal is realizálható

poly-Si réteg

Áldozati réteg (pl. SiO<sub>2</sub>)

Si hordozó

poly-Si réteg

Si hordozó

Mintázat- és szerkezetkialakítás

34/38

---

---

---

---

---

---

---

---

34

ALKALMAZÁS 4: LIGA (Lithographie, Galvanoformung, Abformung) NAGY OLDALARÁNYÚ FELÜLETI MIKROMECHANIKAI ELEMEEK KIALAKÍTÁSA RTG LITOGRÁFIÁVAL, ÁLDOZATI RÉTEG BEÉPÍTÉSÉVEL

X-ray illumination through mask

1

PMMA

Galván Alap (GA)

Áldozati réteg

Előhívás

PMMA

GA

2

3

Ni

GA

4

GA

5

Ni

GA

Mintázat- és szerkezetkialakítás

35/38

---

---

---

---

---

---

---

---

35

ALKALMAZÁS 5: FELÜLETI MIKROMECHANIKAI ELEMEEK KIALAKÍTÁSA SZELEKTÍV PLAZMA MARATÁSSAL

SIMPLE (Silicon Micromachining by single step Plasma Etching)

SiO<sub>2</sub> megmunkálás

Plazma maratás

Reset

A teljes felület SiO<sub>2</sub>-al fedett

SiO<sub>2</sub>

n adalékolt Si

SiO<sub>2</sub>

SiO<sub>2</sub> megmunkálás

Plazma maratás

Reset

Maszk mintzat kialakítása a SiO<sub>2</sub> rétegen

SiO<sub>2</sub>

n adalékolt Si

Mintázat- és szerkezetkialakítás

36/38

---

---

---

---

---

---

---

---

36

Mintázat- és szerkezetkialakítás

ALKALMAZÁS 5: MIKROMECHANIKAI ELEMEEK  
KIALAKÍTÁSA SZELEKTÍV PLAZMA MARATÁSSAL

SIMPLE (Silicon Micromachining by single step Plasma Etching)

Az adalékolás mértéke befolyásolja a plazma marás anizotrop jellegét: n rétegben erősen mélységi irányú, míg n+ rétegben izotróp.

SiO<sub>2</sub> megminta

Plazma maratás

Reset

Plazma maratás (anizotróp az n-Si-ban, izotróp az n<sup>+</sup>-Si-ban)  
(Részletesebben I. Szensorok működése és technológiája)

n<sup>+</sup> adalékolt Si

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

BMEETT

Mintázat- és szerkezetkialakítás

37/38

37

---

---

---

---

---

---

---

---

TARTALOMJEGYZÉK

- A litográfia lényege
- A litográfia lépései
- Fotoreziszt típusok, reziszt felvitel
- Exponálás: elrendezések, maszkolás, EUV
- Nanotechnológiát célzó litográfiák: EUV, RTG, EBL, IBL, FIB
- Maratási típusok: izotróp, anizotróp, nedves, plazma
- Technológiai műveletsorok: PMOS, Si tömbi mikromechanika, felületi mikromechanika, LIGA, SIMPLE

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

BMEETT

Mintázat- és szerkezetkialakítás

38/38

38

---

---

---

---

---

---

---

---

Mintázat- és szerkezetkialakítás