

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_2 -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

LITOGRÁFIA CÉLJA

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

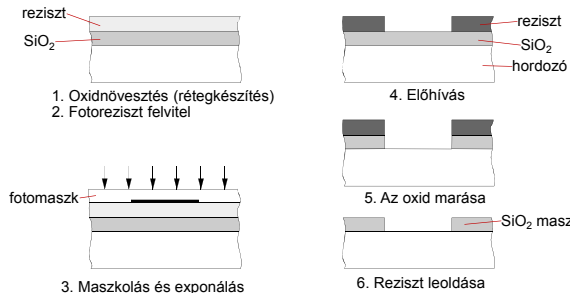


Nyomdászati célú nyomókö

LITOGRÁFIA ÁLTALÁNOS FOLYAMATA

0. Mintázandó anyag felvitele
A mintázandó anyag lehet funkcionális (pl. fém, szigetelő, félvezető), vagy maszk (pl. SiO_2)
Lehetséges, hogy a szubsztrát anyagát mintázzuk. (pl. MEMS eszközök, tömbi mikromechanika).
1. Reziszt felvitele
2. Reziszt „megvilágítása” (pl. fényvel, 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



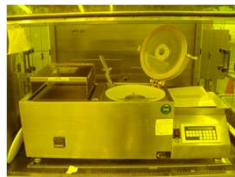
FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

1. SZELETTISZTÍTÁS REZISZTFELVITEL ELŐTT

- RCA eljárás (Radio Corporation of America – itt dolgozták ki a lépéseit):
 - Szerves szennyeződések eltávolítása
Ammónium-hidroxid (NH_4OH), hidrogén-peroxid (H_2O_2) és víz elegyében.
Az eredmény: oxiddal (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 μm vastagságú bevonat.
Finomabb rajzolathoz vékonyabb reziszt szükséges.
- Előfűtés: Az oldószerek eltávoznak.



reziszt „spinner”

1. A REZISZTEK TÍPUSAI

Pozitív működésű reziszt:

Oldhatóvá válik, ahol az exponáló sugárzás érte.

Pozitív reziszt:

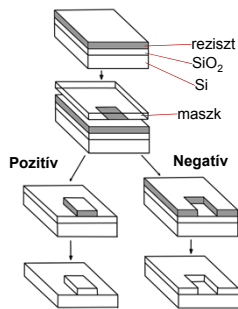
Azért pozitív, mert a maszk és a réteg mintázata megegyezik.

Negatív működésű reziszt:

Oldhatatlanná válik, ahol az exponáló sugárzás érte.

Negatív reziszt:

A maszk és a réteg mintázata egymás komplementere.



Pozitív és negatív reziszt SiO_2 oxidmaszk készítése esetében

FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

2. EXPONÁLÁS

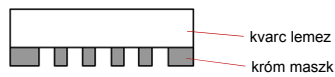
- Tipikusan UV fényvel világítjuk meg a rezisztet.

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

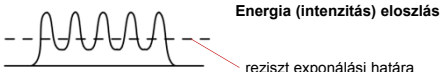


- Az optikai elemek speciális anyagúak, amelyek nem nyelnek el az adott hullámhosszon.
(pl. kalcium-fluorid)
- A lencserendszer és a szelet között immerziós folyadékkal növelhető a felbontás

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

FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

2. EXPONÁLÁS: FÉNYFORRÁSOK ÉS FELBONTÁS

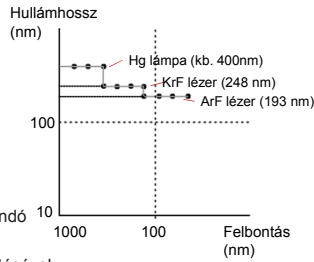
- Az elérhető felbontást a fény diffrakciója korlátozza.
- A felbontás elvi korlátja:

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

λ : 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

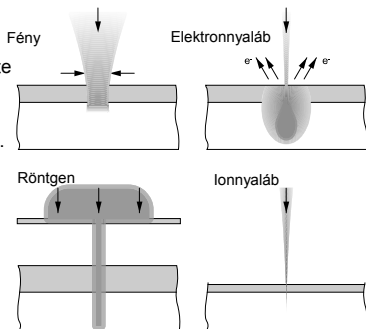
Kihívások:

- 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.

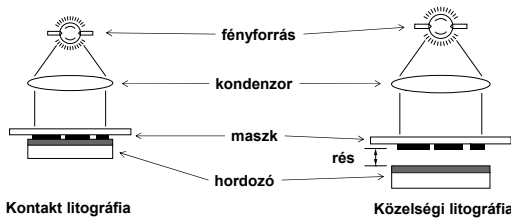


FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

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

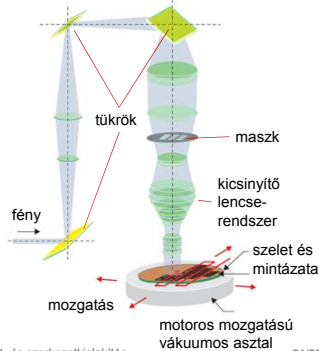
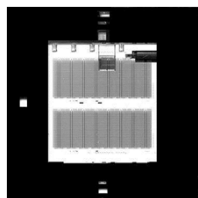


Kontakt litográfia

Közelségi litográfia

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

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



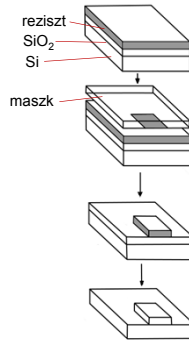
- Maszk: elektronsugárral mintázott krom bevonat kvarcüvegen

FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

3. ELŐHÍVÁS

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

Az előhívó folyadék felvitele forgatva történik.



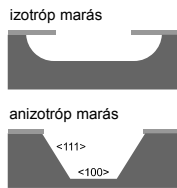
4. A MINTÁZANDÓ ANYAG MARÁSA A MARATÁS TÍPUSAI

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 HNO₃ + 3 ml CH₃COOH (fluorsav + salétromsav + ecetsav) vizes oldata
- Anizotróp maratáshoz KOH (kálium-hidroxid) vizes oldata

SiO₂ oxidmaró:

- 28 ml HF + 113 g NH₄F + 170 ml víz (+ esetleg HNO₃)

Alumínium (Al) (huzalozási célú fémezés) maratószerai:

- NaOH (nátriumhidroxid) vizes oldata
- HCl (sósav) vizes oldata
- H₃PO₄ + HNO₃ (foszforsav + salétromsav) vizes oldata

Arany (Au) (huzalozási célú fémezés) maratószerai:

- Királyvíz: 1 rész konc. HCl + 3 rész konc. HNO₃
- Jodidos marató: 400 g KI + 100 g I₂ + 400 ml víz

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

- Ce^{IV}(SO₄)₂ + HNO₃ (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)

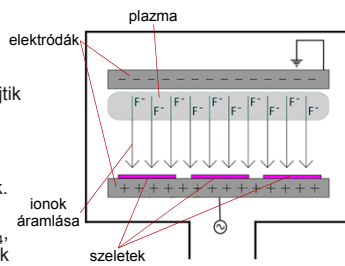
4. A MINTÁZANDÓ ANYAG MARÁSA RIE: REAKTÍV IONMARATÁS

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:

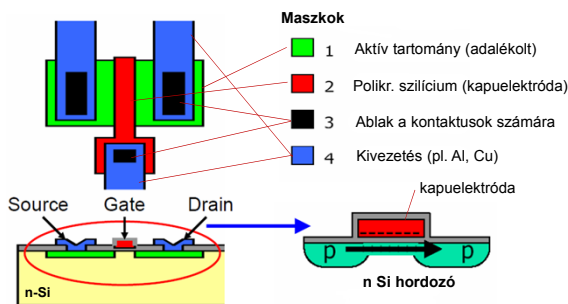
- Kémiai úton, oldószerrel
- Oxidációval (oxigénplazmával – „ashing”)

FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

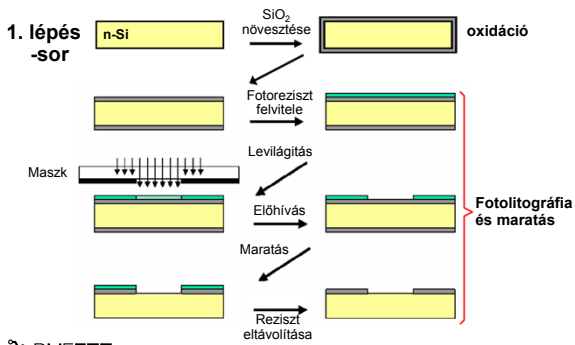
ALKALMAZÁS (EMLÉKEZTETŐ): ADALÉKOLÁS

1. SiO₂ növesztése
 - Száraz, vagy nedves oxidnövesztés
2. Összefüggő SiO₂ 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
