

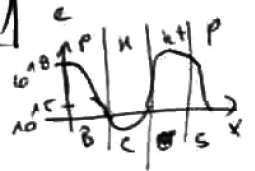
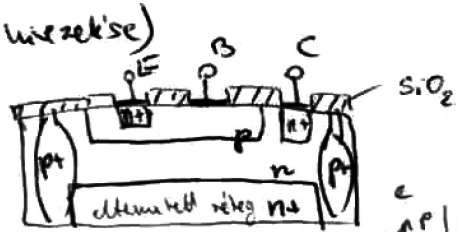
Bipoláris technológia

• 1960-tól alkalmazható (TTL)

• logikai méretekre; laterális méret: $100\mu\text{m}$; vertikális méret: $10\mu\text{m}$

NPN tranzisztor előállítás

- 1) eltemetett réteg kialakítása p-típusú hordozóban (vd-t csökkenteni)
- 2) epitaxiális réteg kialakítása (kollektor)
- 3) szigetelő diffúzió (elkülöníti a különböző tranzisztorokat)
- 4) ablaknyitás és p diffúzió (bázis)
- 5) ablaknyitás és n+ diffúzió (emitter + kollektor vezetése)
- 6) fémablak nyitás (E, C; B részre)
- 7) fémezés



Jellemzői:

- E erősen adalékoltt
- B keskeny
- B-nél van beépített hurok: $E = \frac{\Delta U}{\Delta x} = \frac{U_r \cdot \ln(100)}{\Delta x} = \dots = 120 \text{ kV/cm}$
- n+ réteg vd csökkentésére; vd a pnp parázitranszisztor ellen

Laterális pnp tranzisztor

előnye: az npn tranzisztorral szemben az E-B letörési feszültsége nagy, ahova, mint a B-C letörési feszültsége

- hátrány:
- emitter nem erősen adalékoltt
 - bázis homogén
 - B áramerősítési tényező kicsi
 - nagy rekombinációs centrum az oxidhoz közeli kristályhibák miatt

Vertikális pnp tranzisztor

- substrát = kollektor
- E-B letörési feszültsége nagyobb
- kisebb transzport határfeltétel
- kisebb emitter határfeltétel
- 1 sejtben 1 tranzisztor

Ugyanmóti ellenállás

- $R_s = \frac{1}{q \mu \int_A^{x_{max}} N_A(x) dx} = 10k - 50k \Omega$
- parázitranszisztor JFET

Bázis ellenállás

- csak a bipoláris tranzisztor
- n+ réteg parázitranszisztor ellen vd
- $R = 100\Omega - 1k\Omega$

$$R = \frac{L}{W} \cdot R_{\square}$$

Emitter ellenállás

- kis ellenállás
- átkapcsolást használják
- jó nagytelejesítményű tranzisztorok párhuzamos kötésével nyitófesz. elbővítés

- E-B dióda

- Epitaxiális réteg ellenállás

MOS technológia (Metal-Oxid Semiconductor)

- o nMOS, pMOS: kis helyigény, de van statikus állapotban fogyasztás
- o CMOS: nagyobb helyigény, de kisebb fogyasztás

Klasszikus CMOS inverter előállítás

- 1.) p szubsztrát + SiO_2 vékony tapadási réteg + Si_3N_4 réteg + fotoreziszt réteg 1. mask
- 2.) fotoreziszt előírás
- 3.) Si_3N_4 levaratás
- 4.) maratott fotoreziszt eltávolítás
- 5.) p+ diffúzió (csatorna stop) 2.
- 6.) oxidáció
- 7.) Si_3N_4 levaratás
- 8.) n+ ionimplantáció 3.
- 9.) gate-oxid növesztés
- 10.) poly-Si levalasztás 4.
- 11.) n+ diffúzió (SiD) 5.
- 12.) CVD SiO_2 levalasztás
- 13.) kontaktusablaknyitás 6.
- 14.) fémezés 7.

CMOS inverter előállítás

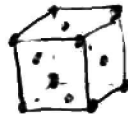
- 1.) n szubsztrát + vékony SiO_2 tapadási réteg + fotoreziszt réteg
- 2.) p++ implantáció 1.
- 3.) oxidálás, p++ behatás
- 4.) oxid levaratás
- 5.) n+ implantáció 2.
- 6.) fotoreziszt eltávolítás; Si_3N_4 felvittele
- 7.) p+ diffúzió 3.
- 8.) gate-oxid kialakítás
- 9.) poly-Si levalasztás 4.
- 10.) n+ implantáció 5.
- 11.) alacsony hőmérsékletű oxidnövesztés
- 12.) oxid levaratása
- 13.) oxidálás
- 14.) n+ implantáció
- 15.) p+ implantáció } 6.
- 16.) LTO
- 17.) kontaktusablak nyitás 7.
- 18.) 1. fémezés 8.
- 19.) vastagoxid levalasztás + fotoreziszt
- 20.) fotoreziszt levaratása
- 21.) SiO_2 védőréteg kialakítása
- 22.) kontaktusablaknyitás 9.
- 23.) fémezés 10.

Advanced bipolar transistor

- bipoláris tranzistor kialakítás MOS technológián
- laterális pnp + npn tranziszlorok
- laterális helyre CMOS \Rightarrow BiCMOS
kis fogyasztás + gyorsaság

Si wafer előállítása

Si kristály: laposkubus - köbös kristály



$a = 0,357 \text{ nm}$ (rácsállandó)
 $a = 3,57 \text{ \AA}$

Wafer-előállítás lépései:

előállítás - tisztítás

- 1.) $\text{SiO}_2 + 2\text{C} \rightarrow \text{Si} + 2\text{CO}$
- 2.) $\text{Si} + 3\text{HCl} \rightleftharpoons \text{SiHCl}_3 + \text{H}_2$
- 3.) $\text{SiHCl}_3 + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{Si} + 3\text{HCl}$

1.) alapanyag (kuorc)

↓ deszilláció, redukció (s. HCl₃...)

2.) polikristályos szilícium (nem megfelelő tisztasági)

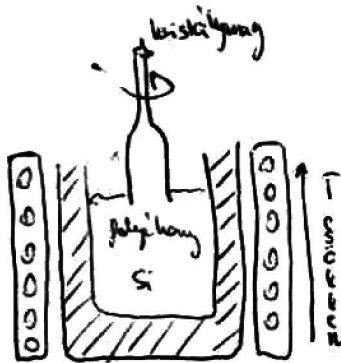
↓ kristálynövesztés (Czochralski, Bridgman, float-zone)

3.) egykristályos szilícium

↓ darabolás, csiszolás, polírozás

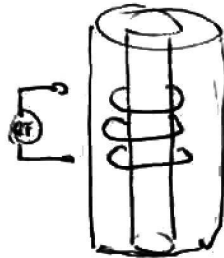
4.) wafer

Czochralski - eljárás



Floatzone (floating zone) eljárás

- polikristályos nyulat lassan melegítő kályhában indukciós módon megolvasztjuk
- a lassú kristályosodás egykristályt alakít ki
- tisztasága is használható



Szilícium - nyul megmunkálása

1.) szelektálás



flat-ek kialakítása (szektortól kezdve információ)

2.) élcsiszolás → repedéseket, vágási nyarok eltávolítása

3.) hőkezelés

4.) csiszolás → szelet vékonyítása; mechanikai feszültség felszabadítása

5.) polírozás

Szilícium elektromos tulajdonságai, Hszelése

$$\rho_{\text{Si}} = 250.000 \frac{\Omega}{\text{cm}} \rightarrow \text{adaktíválás (n, p)}$$

↳ max. $10^{24} \frac{\text{cm}^{-3}}{\text{cm}^3}$

adaktíválás hatására ρ értéke csökken!

1.) mintha lézer + mikrochips

2.) kristálykubák (0-30)

3.) ρ_{Si} mértéke

4.) szeletvastagság mértéke

5.) SPV mértéke

6.) PN Hszelése

Diffúzió

↳ koncentrációgradiens hatására történő anyagáramlás a koncentrációkülönbség kiegyenlítése végett (ahol is, ha nem akadályok)

↓
nagyobb koncentrációjú helyről a kisebb felé halad

Fajtái: 1) intrinziális: rácspothoz kötött, rendszeren mozgással

2) szubsztitúciós: üres helyekben át lép az atomok között, csak akkor lehet, ha az átmozgatható helyre van szabad hely

ugrási sebessége: $v = v_0 \cdot e^{-\frac{E_a}{kT}}$ potenciálgát magassága
atomléptékben ezt tapasztaljuk.

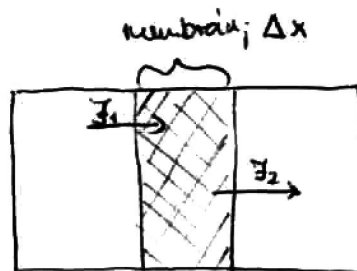
3) komplex

Matematikája

D : diffúziós állandó; $D_0 = \frac{\mu \cdot kT}{q}$

Fick I. $J = -D \cdot \frac{\partial N(x,t)}{\partial x}$

Fick II. $\frac{\partial N}{\partial t} = D \cdot \frac{\partial^2 N}{\partial x^2}$



N : adalék koncentráció
 J : diffúziós áram
 x : távolság
 t : idő

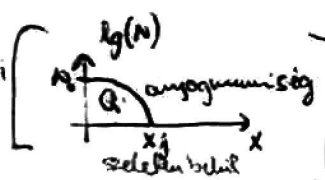
Diffúziós állandó

- diffúzió sebességét jellemzi
- hőfüggő
- kristályhibák miatt nagyobb
- hőzorneműység (gyémántban szaldán)

$D = D_0 \cdot e^{-\frac{E_a}{kT}}$ (szubsztitúciósban és intrinziálisban mások a konstansok)

Diffúzió a gyakorlatban

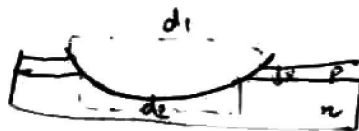
- 1) elődiffúzió (t_i); 900°C ; $\left[\begin{array}{l} \text{amortizáció} \\ \text{selektív beáramlás} \end{array} \right] \rightarrow 30-60 \text{ perc}; \text{ paraméterek: } S_2, F_1, G; x_j \leq 0,5 \mu\text{m}$
- 2) behatás (t_{∞}); $\rightarrow 30 \text{ perc} - 10 \text{ h}; 1000-1500^\circ\text{C}$



megvalósítás: diffúziós kemencében
↳ zárt tű
↳ nyitott tű

Diffúziós réteg minősítése

• x_j mérés görbeszereléssel



$\frac{d_2^2 - d_1^2}{4D} = x_j$

• S_{eff} négyzetes ellenállás mérés Htlis mérésel; $S_{\text{eff}} = \frac{D_0}{d_2} \cdot \frac{V}{S}$

• átlagos pajlagos ellenállás számítás az előző kétből

$R = S_{\text{eff}} \cdot \frac{\rho}{W}$

• N_s meghatározása Iruin görbélrel (felületi koncentráció)

Fick-egyenleték megoldása

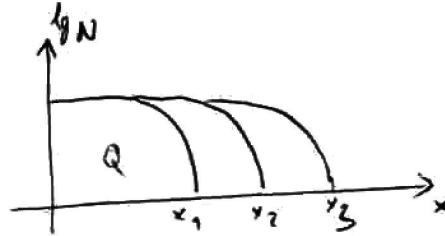
1) állandó felületi koncentráció

kez. felt. ~~NA~~ $N(x=0; t > 0) = N_0 = \text{áll. / felületi koncentráció állandó /}$
 $N(x > 0; t=0) = 0$ / kezdőben nincs anyag /

$$N(x, t) = N_0 \cdot \operatorname{erfc} \left[\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right]$$

Diffúziós források

- 1) szilárd forrás
- 2) folyadék (kristály, bronnit)
- 3) gáz (hővezetés)



2) állandó anyagmennyiség

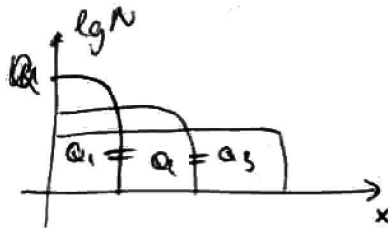
kez. feltételek: ~~NA~~

$Q = \text{áll}$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial x} \Big|_{x=0} &= 0 \\ N(\infty, t) &= 0 \end{aligned} \right\}$$

$$N(x, t) = \frac{Q}{\sqrt{\pi Dt}} \cdot e^{-\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)^2}$$

$$N(x, t) = \frac{Q}{\sqrt{\pi Dt}} \cdot e^{-\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)^2}$$



Einstein-összeállítás

$$\frac{D}{\mu} = \frac{kT}{q}$$

Fick-egyenletek

$$\text{FI} \quad j = -D \cdot \frac{\partial N(x, t)}{\partial x}$$

$$\text{FII} \quad \frac{\partial N(x, t)}{\partial t} = \frac{\partial^2 N(x, t)}{\partial x^2}$$

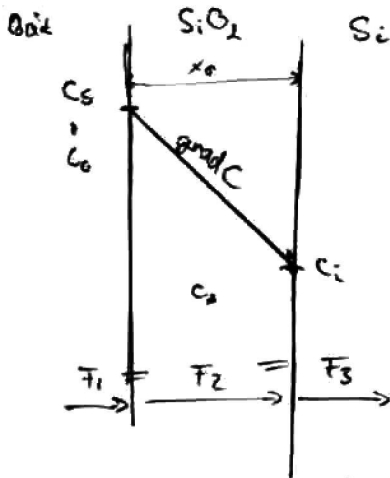
FI: a fluxus a koncentráció gradiensevel egyenlő

FII: a koncentráció időbeli megváltozása arányos a koncentrációgradiens megváltozásának abszolútjával

Oxidáció

Si/SiO₂ határfelület: szinte teljes határatment

↳ itt valójuk meg az oxidáció [átal diffundál SiO₂ réteg]



$$c_s \text{ (surface)} = \frac{p_s}{kT} = H p_s$$

$c_* = H \cdot p_g$ (egyensúly koncentráció az oxidban)

$c_i \Rightarrow$ Si/SiO₂ határfelületen lévő koncentráció

$$F_1 = F_2 = F_3 \Rightarrow F_1 = h_g (p_g - p_s) = \frac{h_g}{2T} (p_s - p_s) = h (c_* - c_o)$$

$$F_2 = \frac{D(c_o - c_i)}{x_0}$$

$$F_3 = k_s \cdot c_i$$

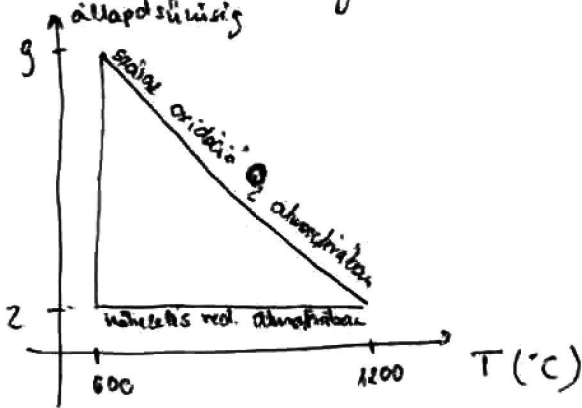
↳ reaktív sebesség

c_o, c_i kifejezhető

↳ vastag oxid: $x \sim \sqrt{t}$

vékony oxid: $x \sim t$

Oxidációs hőmérséklet



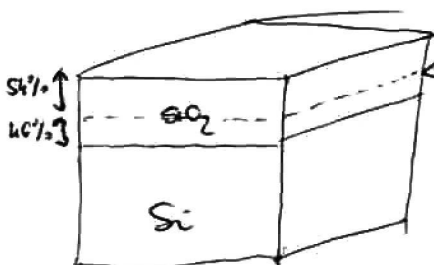
$$F_1 = F_2 \Rightarrow h(c_* - c_o) = \frac{D(c_o - c_i)}{x_0}$$

$$F_1 = F_3 \Rightarrow h(c_* - c_o) = k_s \cdot c_i$$

$$c_o = \dots$$

$$c_i = \dots$$

Si/SiO₂ határfelület: hiányos & hosszabb kötése is kialakulhat



← eredeti Si felület (ez volt képeleméből 60-60%)

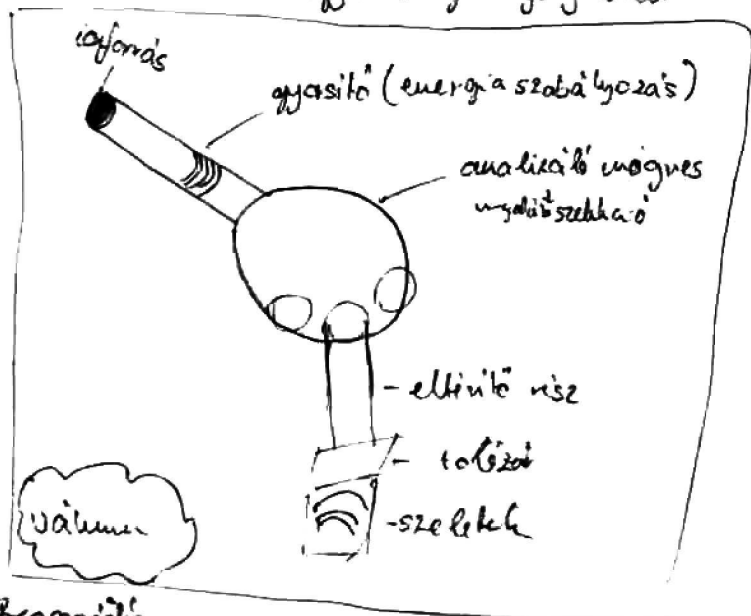
Oxidációs hőmérséklet az orientációtól is függ

- SiO₂ kialakítás: - plazma oxidáció - azidok oxidáció
- CVD - RTP

Ionimplantáció

alapeks: • adalék atomokat felgyorsított ionokként beültetjük a félvezető felszám, felszám közeli rétegeibe

- rétegvastk, réteghatárkító művelet
- vákum technológia
- nem egyensúlyi feltárat



Tömegseparator

$$\frac{m \cdot v^2}{R} = q (\vec{v} \times \vec{B})$$

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = q \cdot V$$

$$\frac{m}{q} = \frac{R^2 B^2}{2V} \text{ gyorsító térsz}$$

Beesepődés

~~Tömegcsökkenés~~ során anyagot vesz le.

Felveződés során:

- elektron felveződés → (elektronok kötésenként, nagy energia, megakadnak) *más részben*
- nukleáris felveződés → (magok közele közele, nagy energiák, részben átadják) *↳ részben átadják is energiát*

1) Összes behatás adalék

$$\frac{1}{A} \int_0^t J(t) dt = q \int_0^{x_i} N(x) dx$$

2) dózis

$$\phi = \frac{J \cdot t}{q \cdot A} = \int_0^{\infty} N(x) dx$$

3) adalék eloszlás

$$N(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \Delta R_p} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - R_p}{\Delta R_p} \right)^2} \text{ ISS elvileg } 0$$

Csatornahatás

↳ egyes adalékanyagok eltérő mélységekig jutnak

- elhelyezés:
- 1) pozicionális (döntés, csatorrás)
 - 2) vékony oxid rétegzés
 - 3) kristály amorfa rétegek

Hőkezeltés (~700-800 °C)

alkalmas az ionimplantációhoz a rácshiba kijavítására

Ionimplantáció

ELŐNY

- pontos
- kis átdalirányú szóródás
- tömegszeparáció
- utólag is kielégíthető
- nincsenek azok a károsító hatások
- alacsony hőmérséklet
- kisebb a vákuum
- nagyobb koncentráció kielégíthető

HÁTRANY

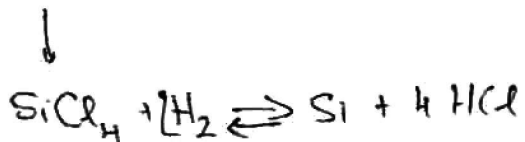
- rombolódik a rácsszerkezet
- alacsony reaktivitás
- drága, bonyolult
- veszélyes üzemeltetés

Maratási technikák

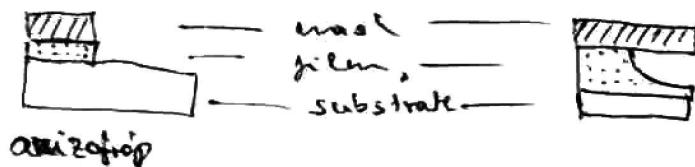
- SiO₂ : - jól tapad
- töellenálló
- ellenáll a maratással szemben

CVD : - híg gáz a szelét felületén lép reakcióba

- PVD : - határoláspontosság
- vákuumban történik



Maratási profilok



Maratási sebesség

- p-n rétegek maratási sebessége különbözik
- átmenet helyén élcsépeső; különböző fémek kiválása

Rétegvesztés

- normál FR technika (ahol nincs FR, ott marad; szelektív maratószert kell)
- inverz FR technika (ahol van FR, ott marad; néhány réteget lehet felbontani)

- 1) rétegvesztés
- 2) rétegtelenítés
- 3) rétegtelenítés

felbontás határ: kristálymint

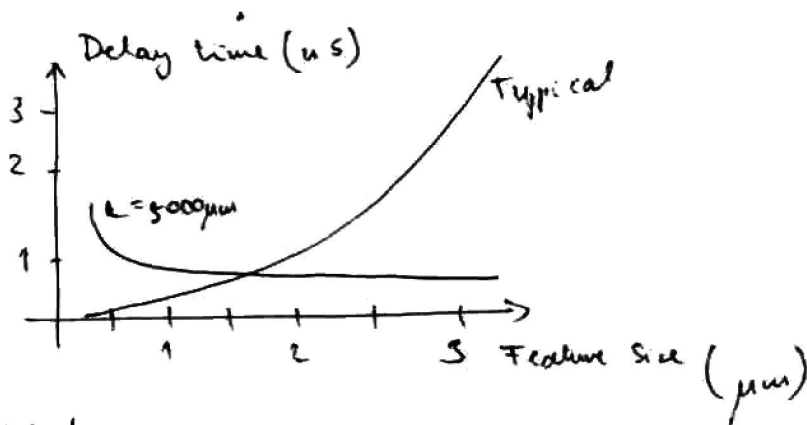
Fémzés - vezetéklokat kialakítása

- ohmikus (ne higgyjék az áramirányt!)
- shottky: fém - félvezető átmenet egyensúly
- belső elemek összekötése
- kapcsolat a külvilággal

Kialakítás lépései

- 1) ablaknyitás (közé kint az alsó rétegekhez v. korodozóhoz)
- 2) réteg felvitel (PVD, CVD)
- 3) mintázat kialakítás (fotoreziszt, maratás, rétegtávolítás)
- 4) hőkezelés

Kiseltetés



Parazita kapacitások

