

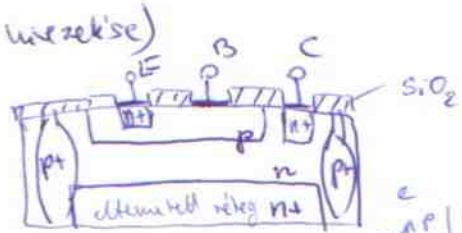
Bipoláris technológia

• 1960-tól alkalmazható (TTL)

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

NPN tranzisztor előállítása

- 1.) eltemetett réteg kialakítása p-típusú hordozóban (rd-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 vezetéke)
- 6.) fémablak nyitás (E, C; B részre)
- 7.) fémezés



Jellemzői: • E erősen adalékolt

• B keskeny

• B-nél van beépített húr: $E = \frac{\Delta U}{\Delta x} = \frac{U_r - U_n(100)}{\Delta x} = \dots = 120 \text{ kV/cm}$

• n+ réteg rd csökkentésére; véd a pnp parazitatranzisztor 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 adalékolt

• 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 szelvény 1 tranzisztor

Megnyomott ellenállás

$$R_s = \frac{1}{q \mu \int_{x_{bc}}^{x_{be}} N_A(x) dx} = 10 \text{ k} - 50 \text{ k} \Omega$$

• parazita JFET

Bázis ellenállás

• csak a bipoláris tranzisztor

• n+ réteg parazita pnp tranzisztor ellen véd

• $R = 100 \Omega - 1 \text{ k} \Omega$

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

Emitter ellenállás

• kis ellenállás

• átviteli tényező magas

• jó nagyteljesítményű tranzisztorok párhuzamos kötésével nyitófesz elbővítése

- E-B átjáró

- 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

Kimentéses technológiánál inverter előállítás

- 1.) p szubsztrát + SiO_2 vékony tapadási réteg + Si_3N_4 réteg + fotoreziszt réteg 1. mosás
- 2.) fotoreziszt előlévadás
- 3.) Si_3N_4 levaratás
- 4.) maradék 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 } 6.
- 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 technológiánál
- laterális pnp + npn tranzisztorok
- 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.) $\text{SiO}_2 + 2\text{C} \rightleftharpoons \text{Si} + 2\text{CO}$
- 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 (kvartz)

↓ desztilláció, redukció (s. HCl₃...)

2.) polikristályos szilícium (nem megfelelő tisztasági)

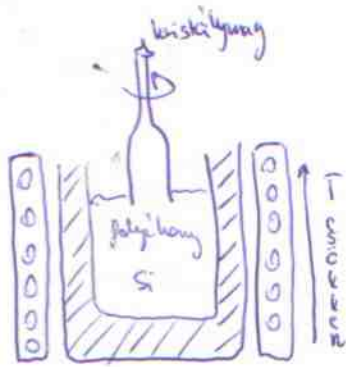
↓ kristálynövesztés (Czochralski, Bridgman, float-zone)

3.) egykristályos szilícium

↓ darabolás, csiszolás, polírozás

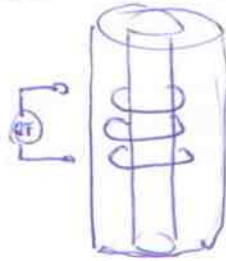
4.) wafer

Czochralski - eljárás



Floatzone (floating zone) eljárás

- polikristályos nyulat lassan mozgó felülettel indukciós módon megolvasztjuk
- a lassú kristályosodás egykristályt alakít ki
- tisztítása is egyszerűbb



Szilícium - nyul megmunkálása

1.) szelektálás



flat-ek kialakítása (szeletről kordax információ) ^{p, n típus; oxidáció}

2.) elcsiszolás → repedéseket, vágási nyarok eltávolítása

3.) hőkezelés

4.) csiszolás → szelet vékonyítása; mechanikai feszültségek felszabadítása

5.) polírozás

Szilícium elektromos tulajdonságai, keszelelése

$$\rho_{\text{Si}} = 250.000 \frac{\Omega}{\text{cm}} \rightarrow \text{adatlátolás} \begin{pmatrix} P \\ n_i \\ p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B \\ \end{pmatrix}$$

↳ max. $10^{21} \frac{\text{db}}{\text{cm}^3}$

adatlátolás hatására ρ értéke csökken!

1.) minta lézer + mikromullán

2.) kristálytubát (0-30)

3.) ρ_{Si} mérés

4.) szeletvastagság mérés

5.) SPV mérés

6.) PN keszelelése

Diffúzió

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

↓
nagyobb koncentrációjú helyről a kisebb felé halad

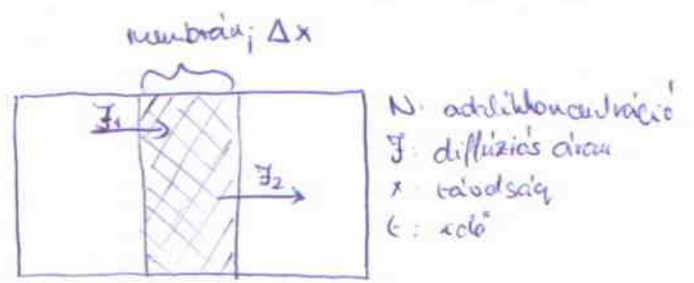
- Fajtái:
- 1.) intersticiális: rácspontok között, rendezetlen mozgással
 - 2.) szubsztitúciós: üres helyekben át mozog az adalékanyag, ugyan ugyan a másik helyre átmozgatásukkal
 - 3.) komplex
- ugrási sebesség: $D = D_0 \cdot e^{-\frac{E_m}{kT}}$ - potenciális energiájának függvénye
 adalékoldatban ezt használjuk.

Matematikája

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

Fick I. $J = -D_0 \cdot \frac{\partial N(x,t)}{\partial x}$

Fick II. $\frac{\partial N}{\partial t} = D_0 \cdot \frac{\partial^2 N}{\partial x^2}$



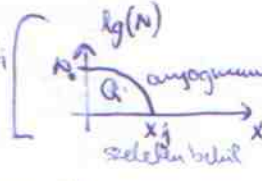
diffúziós állandó:

- diffúzió sebességét jellemzi
- hőfüggő
- kristályhibák mentén nagyobb
- hőzömennyiség (gyémántban szikla)

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

Diffúzió a gyakorlatban

- 1) elődiffúzió ($\dot{\epsilon}$); 900°C ; $\left[\begin{array}{l} \text{anyagmennyiség} \\ \text{selejtelem} \end{array} \right] \rightarrow 30-60 \text{ perc}; \text{ forrás: } S_2; F_1; G; x_j \ll 0,5 \mu\text{m}$
- 2) behatás ($\rightarrow \epsilon$); $\rightarrow 30 \text{ p} - 10 \text{ h}; 1000-1500^\circ\text{C}$



megvalósítás: diffúziós hennében
 - zárt tűz
 - nyílt tűz

Diffúziós réteg minősítése

- x_j mérete görbesívalattal $\frac{d_2^2 - d_1^2}{4D} = x_j$
- S_{\square} négyzetes ellencella mérete A és h méressel; $S_{\square} = \frac{A}{h} \cdot \frac{V}{S}$
- átlagos fajlagos ellencella számítás az előző kétből $R = S_{\square} \cdot \frac{p}{W}$
- N_s meghatározása Iruin görbékkel (felületi koncentráció)

Fick-egyenleték megoldása

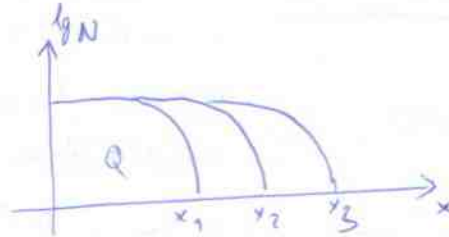
1) állandó felületi koncentráció

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

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

Diffúziós források

- 1) szilárd oxidok
- 2) folyékony (kalcitok, brómok)
- 3) gáz (habok)



e) állandó anyagmennyiség

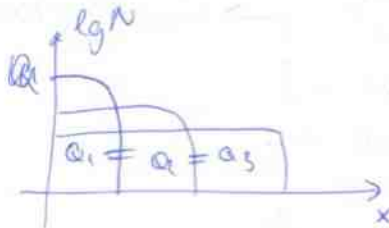
kezdeti feltételek: ~~NAA~~

$Q = \text{áll.}$

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

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

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



Eindstein-összeffüggés

$$\left[\frac{D}{\mu} = \frac{\lambda T}{\rho} \right]$$

Fick-egyenletek

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

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

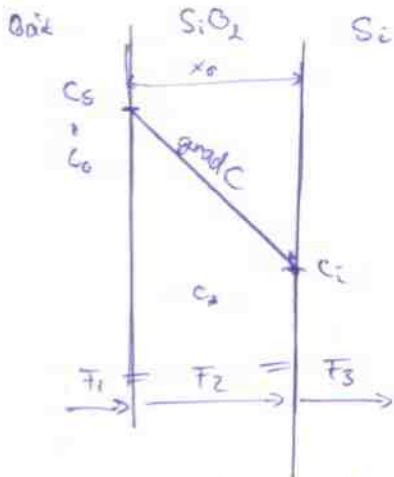
F.I. a fluxus a koncentráció gradiensevel egyenlő

F.II. a koncentráció időbeli megváltozása arányos a koncentrációgradiens megváltozásának sebességével

Oxidáció

Si/SiO₂ határfelület: szinte teljes határatmenet

↳ itt valószínűleg az oxidáció [átal diffúzió SiO₂ rétegben]



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

$c_s = H \cdot p_g$ (egyensúlyi koncentráció az oxidban)

$c_i \Rightarrow$ Si/SiO₂ határfelületen lévő koncentráció

$$\Rightarrow F = h g (c_g - c_s) = \frac{h g}{2T} (p_g - p_s) = h (c_s - c_o)$$

$$F_1 = \frac{D(c_o - c_i)}{x_0}$$

$$F_3 = k_s \cdot c_i$$

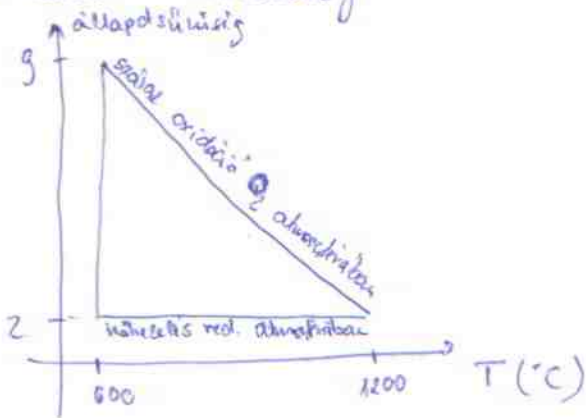
↳ reaktív sebesség

c_o, c_i kifejezhető

↳ vastag oxid: $x \sim \sqrt{t}$

vékony oxid: $x \sim t$

Oxidációs hőmérséklet



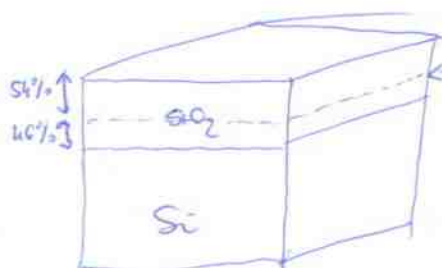
$$F_1 = F_2 \Rightarrow h(c_s - c_o) = \frac{D(c_o - c_i)}{x_0}$$

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

$$c_o = \dots$$

$$c_i = \dots$$

Si/SiO₂ határfelület: hiányos & hosszabb kötés és hiányos



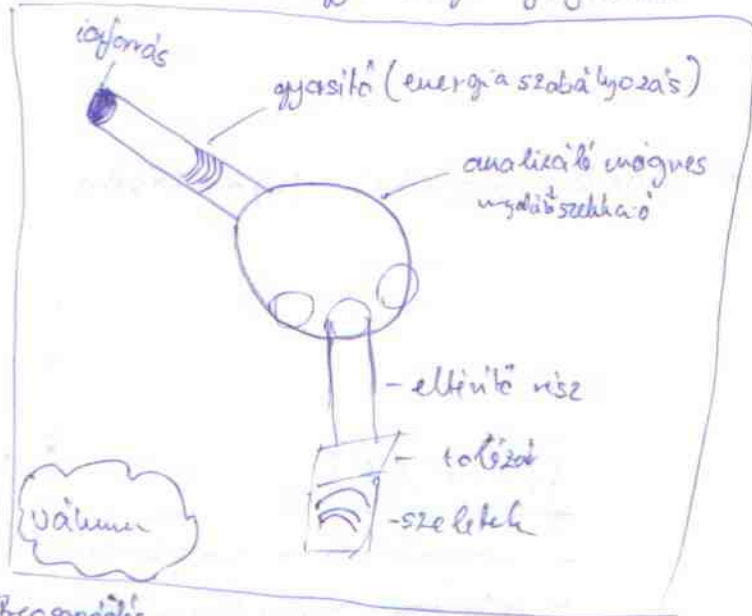
eredeti Si felület (ez volt képeleméből 60-60%)

Oxidációs hőmérséklet az orientációtól is függ

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

Ionimplantáció

- alapek: • adalék atomokat felgyorsított ionokként beültetjük a félvezető felszám, felszám közeli rétegeibe
- rétegváltó, réteghialáló művelet
 - vákum technológia
 - nem egyen súlyú jelyamat



Tömegszeparátor

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

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

$$\frac{m}{q} = \frac{R^2 B^2}{2V} \text{ gyossító/ész}$$

Beesepődés

~~Beesepődés~~ során anyagot parolász le.

Felveződés során:

- elektronfelvezetés → (elektronok hői kölcsönhatás, nagy energia, megakadályoz)
 - nukleáris felvezetés → (magok közötti kölcsönhatás, nagy energia, megakadályoz)
- ↳ rácsatomokat is kint

1) Összes töltés 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

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

Csatornahatás

↳ egyes adalékokat eltérő mélységben juttatnak

- elhelyezése:
- 1) pozicionálás (döntés, csavarás)
 - 2) vékony oxid rétegzése
 - 3) kristály amorffá tétele

Hőkezeltés ($\approx 700-800^\circ\text{C}$)

alkalmas az ionimplantációhoz a rácshiba kijavítására

Ionimplantáció

ELŐNY

- pontos
- kis átdalirányú szóródás
- tömegszeparáció
- utólag is lehetséges
- nincsenek adalékanyagok kétképződés
- alacsony hőmérséklet
- kisebb a vákuum miatt
- nagyobb koncentráció képezhető

HÁTRANYI

- rágálódik a rácshoz
- alacsony termelékenység
- drága, bonyolult
- veszélyes üzemeltetés

Marási technikák

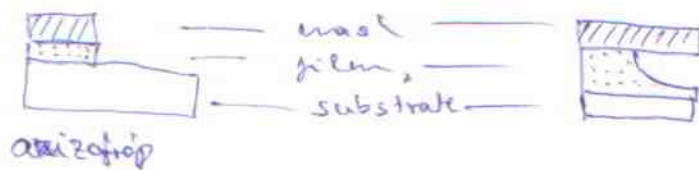
- SiO₂: - jól tapad
- hőellenálló
- ellenáll a maratással szemben

CVD: - híg gáz a szelét felületén lép reakcióba

- PVD: - katódporlasztás
- vákuumgőzölés



Marási profilok



Marási sebesség

- p-n rétegek marási sebessége különbözik
- átmenet helyén élcs lépcső; különböző fémek kiválása

Rétegvesztéskülönböztetés

- normál FR technika (ahol nincs FR, ott maradék; szelektív marásos cell)
- inverz FR technika (ahol van FR, ott maradék; néhány réteget lehet felírni)

- 1) réteglépcsőzetítés
- 2) rétegtér technológia
- 3) rétegtér elválasztás

felbontás határ: kristályminőség

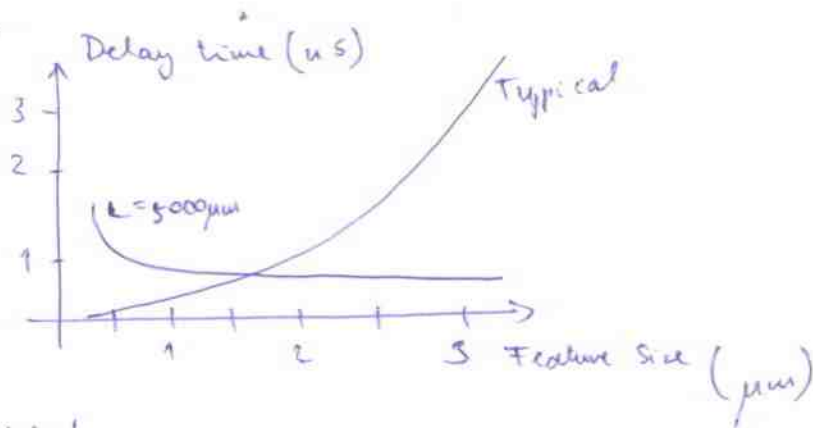
Fémzés - vezetéklozat kialakítása

- olcsóság (ne figyeljünk az áramirányításra)
- stabilitás: fém - vezető alkatrész egységeként
- belső elemek összekötése
- kapcsolat a külvilággal

Kialakítás lépései

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

Miskeltetés



Parazita kapacitások

