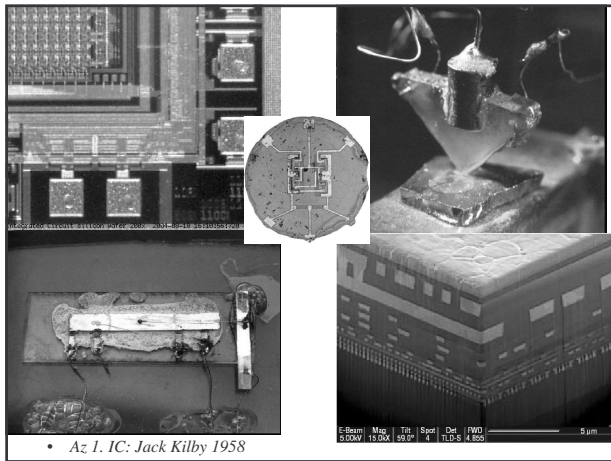




Félvezetők

Félvezető alapanyagok

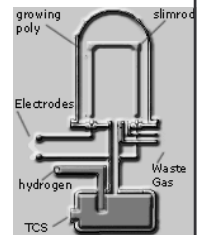
- Nyersanyag: kvarchomok: SiO_2
- Redukció szénnel
 $\text{SiO}_2 + 2\text{C} \Rightarrow \text{Si} + 2\text{CO} \sim 2000^\circ\text{C}$
 99% tisztaságú, (fő felhasználó acélgégyártás)
- Tisztítás: cél: 10^9 -szer tisztább
 - **Triklór-szilán eá.**
 $\text{Si} + 3\text{HCl} \Rightarrow \text{SiHCl}_3 + \text{H}_2$
 forráspont: $31,8^\circ\text{C}$, desztilláció
 Fe, Al, B és szinte minden más szennyező szilárd fázisban marad



• Az 1. IC: Jack Kilby 1958

Polikristályos Si rúd eá.

- $\text{SiHCl}_3 + \text{H}_2 \Rightarrow \text{Si} + 3\text{HCl}$
- fémszennyezés $< 1/100 \text{ ppb}$
 - Adalékolás: B, P, As
 (robbanásveszélyes, mérgező, korrozív anyagok)
 - Kihozatal: kb 1 kg/ó



- **Tiszta alapanyag előállítása**
 - Kohászati minőségű Si
 - Félvezető tisztaságú Si
- **Egykristály húzás**
- **Szelet készítés**
- **Elemgyártás**
 - Fotolitográfia, maszkolás, maratás, adalékolás, epitaxia, fémezés
- **Chip készítés**
 - Darabolás, kivezető készítés, tokozás, csomagolás

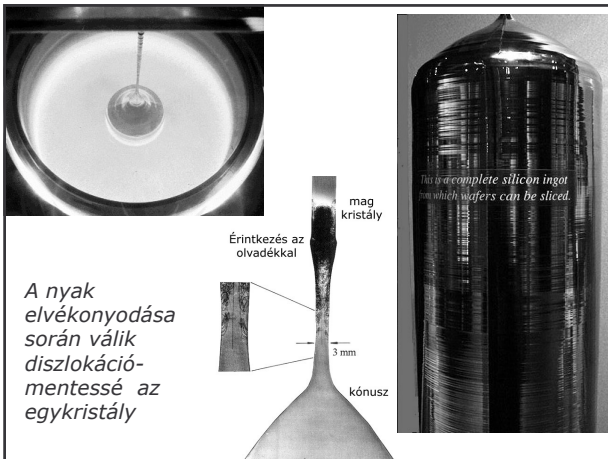
e
i
l
e
m
é
r
ő
r
ő
s
é
s

Egykristály húzás

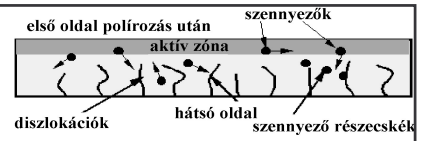
- **Czochralski módszer**
 (anyagism. 1. f.é)
 Kívánt orientáció →
 - magkristály
 Hibátlan egykristály →
 - nagyon lassú,
 - pontos hőmérsékletű húzás (1414°C),
 - rúd és tégely forgatása



Év	1950	1956	1967	1980	1992	1997
Átmérő	½ inch	1 inch	2 inch	100mm	200mm	300mm
Tömeg (kg)	0,05	0,4	2,5	24	110	200



Hátoldali hőkezeléssel az aktív zónából eltávoznak a kristályhibák



• **Si szelet minőségi jellemzői:**

- **Villamos tulajdonságok:**
 - Vezetés típusa
 - Vezetőképesség (ρ)
- **Mechanikai:**
 - Átmérő
 - Vastagság (0,25 - 075mm)

• **Kémiai:**

- adalék koncentráció (db/cm³)
(tiszta Si: $5 \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-3}$
 \Rightarrow 1 ppm: $5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$)
- Szennyezőanyagok: oxigén, szén, stb.

• **Felületi:**

- Laposság
- Érdesség

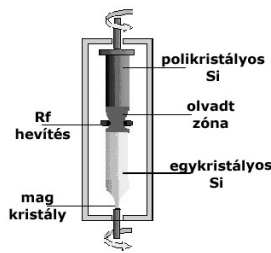
Zónás tisztítás

Polikristályos rúdból:

- Tisztítás
- Átkristályosítás
- Orientáció

Szegregáció: a szennyezőanyagok nagyobb az oldhatósága az olvadékokban, mint a szilárd fázisban \Rightarrow feldúsul a rúd végén (lehet fordított is)

Csak 200 mm-nél vékonyabb rúdnál lehet.



$$K_s = C_{\text{szilárd}} / C_{\text{olvadék}}$$

http://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/elmat_en/index.html

IC elemek technológiája

- Fotolitográfia
- Oxidáció, oxidmarás
- Diffúzió, implantáció
- Epitaxiális rétegnövesztés
- Vákuumtechnikai rétegleválasztások, PVD

• **Szeletelés:**

kb 4 - 600 μm

• **Feszültségcsökkentő hőkezelés**

• **Él lekerekítés, polírozás**

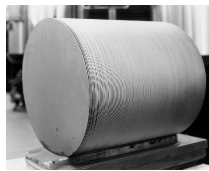
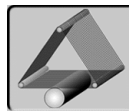
• **Szelet vékonyítás**

• **Szelet polírozás:**

CMP: chemical-mechanical polishing

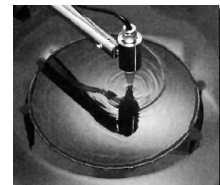
Mechanikai: kvarcpor szuszpenzió

Kémiai: savas (HNO_3 , HF) és lúgos (NaOH) maratás felváltva



Fotolitográfia

- Folyékony reziszt, felvitel centrifugálással
- Maszk: nagyított, króm-dioxid, üveghordozón
- Kettős maszkolás:
Reziszt/SiO₂/Si
Megvilágítás mély UV (step & repeat)



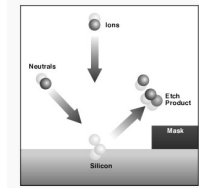
A fotolitográfia használt hullámhosszai

Hullámhossz (nm)	Neve	Fényforrás	Rajzolatfinomság (μm)
436, 405, 365	g, h, i vonal	Hg-gőz lámpa	
248	Mély UV (DUV)	KrF excimer lézer	0,25
193	Mély UV	ArF excimer lézer	0,1
157	Vákuum UV	F ₂ lézer	0,04

Hullámhossz csökken, javul a felbontás, romlik a mélységélesség. Már nem sokat csökkenthető λ, mert nincs optikai anyag és a leképező rendszer precizitása sem fokozható.

Elektronsugaras, ion projekciós, RTG sugaras litográfia

Oxidmarás



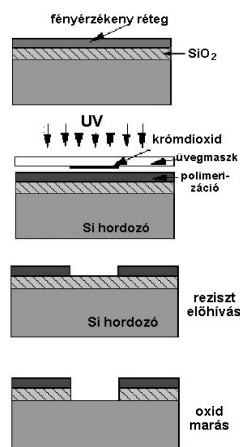
- Ablaknyitás az adalékoláshoz
- HF-os elegyek
- Plazma
- Plazma előállítás:
 - vákuumtérbe vezetve a kiválasztott gáz
 - RF elektromágneses térben koronakisülés
 - nagyon reakcióképes termékek: ionok, szabad gyökök, fotonok, semleges részecskék, molekulák pl. ózon.
- Szabályozás:
 - RF teljesítmény
 - Nyomás

Alkalmazás:

- izotrop marás: (relatív) nagy felületről a felső réteg eltávolítása.
- Pl. tisztítás, fororeziszt eltávolítás.

Ablaknyitás

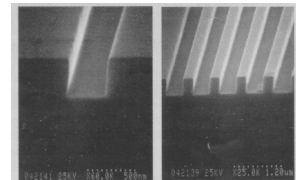
- A rajzolatnak megfelelő területen az Si felszín szabadá tétele
- Reziszt felvitel, exponálás, előhívás az ismert módon
- SiO₂ marása NH₄HF + HF
- A reziszt eltávolítása után a SiO₂ védi a felületet az adalékok bejutásától



Anizotrop marás: maszkon keresztül nagy felbontású, pontos minta készítése. IC, optikai, optoelektronikai elemek, MEMS

- InGaAs/InGaP/InP quantum-well laser (felső korong: elektród, alsó: laser)

» 0.25 mikrométer profilok szilíciumon.



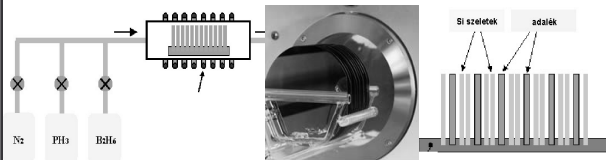
Oxidáció

- A szelet felületén egyenletes, összefüggő oxidréteg (SiO₂) kialakítása
- Nedves (vízgőz jelenlétében) és száraz eljárás
- Kb 1000 °C-on
- Kettős szerep:
 - Technológiai: maszkol
 - Áramköri: szigetel a felületen, MOS tranzistorokban

Maratandó anyag	Maratószer	Összetétel
fotoreziszt, polimid, poliuretán	O ₂ O ₂ + CF ₄	100 % 80 % + 20 %
Szilícium egykristály	CF ₄ CF ₄ + O ₂ SF ₆ SF ₆ + O ₂	100 % (80 - 92)% + (20 - 8)% 100 % (80 - 90)% + (20 - 10)%
SiO ₂	CF ₄ CF ₄ + O ₂ C ₂ F ₆ CF ₃ H	(80 - 92)% + (20 - 8)%
Si ₃ N ₄	CF ₄ CF ₄ + O ₂ SF ₆ NF ₃	100 % (80 - 92)% + (20 - 8)%
Wolfram	CF ₄ + O ₂	(70 - 92)% + (30 - 8)%
GaAs	CH ₄	100 %

Adalékolás: diffúzió

- A **p** és **n** típusadalék bejuttatása a szerkezetbe, meghatározott koncentrációban és mélységi eloszlásban
- A felülethez juttatott diffúziós atomok (B, P) kb 1000 °C-on bediffundálnak a felületi rétegbe
- Forrás lehet gáz, folyadék, szilárd



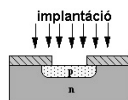
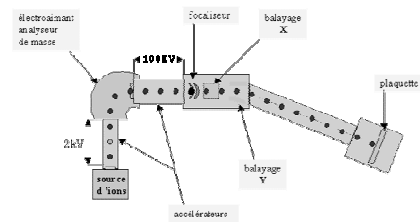
Epitaxiális rétegnövesztés

- Az alaprács egykristályos szerkezetét, orientációját folytatja az új réteg
- Homoepitaxia: azonos anyagból, de pl. más adalékolással
- Heteroepitaxia: más anyag, de nagyon hasonló rácsállandóval pl: GaAlAs réteg GaAs hordozón
- Módszerek:
 - Gázfázisú ~ CVD (Chemical Vapor Deposition)
 - Folyadékfázisú ~
 - Molekulanyaláb ~ MBE

Adalékolás: implantáció

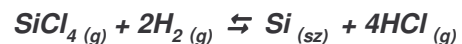
- Gyorsított ionok belövése az anyag felületi rétegébe

Principe d'un implanteur ionique .



CVD leválasztás gőzfázisból kémiai reakcióval

- Általában Si réteg, az alapreakció:



Az egyensúlyi folyamat visszafelé marás, a hibás felületi réteg eltávolítására használható.

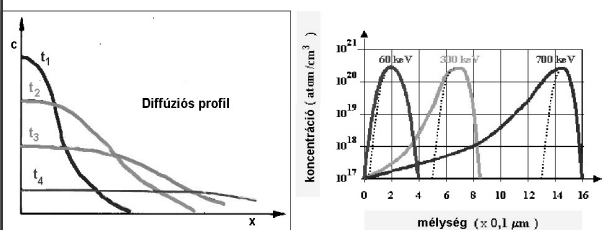
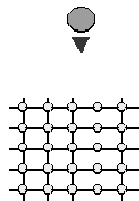
- Más kiindulási anyagok: SiHCl_3 , SiH_2Cl_2 , SiH_4
- ~ 1200 °C

- PECVD: plazma CVD, alacsonyabb hőmérséklet, pontosabb szabályozás



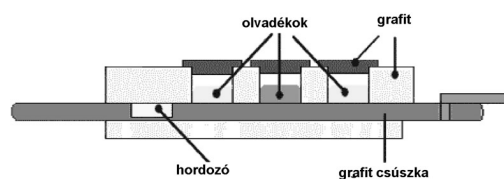
Az implantáció előnyei, hátrányai:

- Pontosabb
- Élesebb oldalirányú kontúr
- Felszín alatti réteg is létrehozható vele
- *Rombolja a szerkezetet*
- *Kevésbé termelékeny*



Folyadékfázisú epitaxia

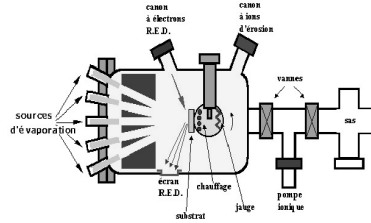
- Olvadékfázisból történik a rétegnövesztés
- Jellemzően heteroepitaxia pl: vegyületfélvezetőkben heteroátmenet kialakítására



MBE molekulasugár epitaxia

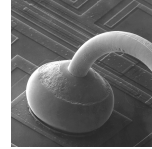
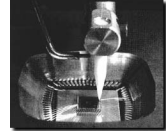
- Több forrás (Knudsen cella), nagyon pontosan szabályozható atom vagy molekulasugár
- Ultrahagy vákuum, $\sim 10^{-10}$ mbar \Rightarrow nagy tisztaság
- Folyamatos ellenőrzés lehetősége rétegépülés közben
- Lassú rétegnövekedés, akár monomolekulás rétegrendszer is előállítható, pl szuperrács lézerdiodához

Lassú eljárás, egyszerre csak egy szelet
Rétegnövekedés
 ~ 1 nm/perc



Kötés, tokozás

- Huzalkötés szerelőlemezre
- Au, Al-Au, Si-Au huzal
- Termokompressziós (ultrahangos) kötés
- Méretkülönbségek áthidalására
chip: ~ 1 μ m, NYHL: 100 μ m

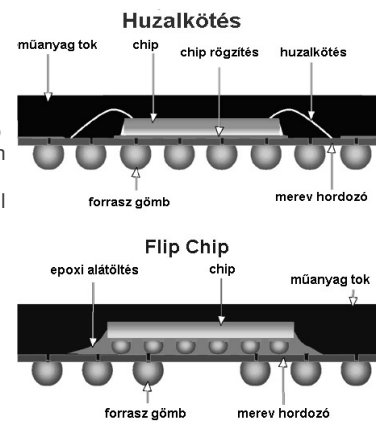


PVD: Physical Vapor Deposition

- „Hagyományos” vákuumtechnikai rétegleválasztások
 - Katódprasztás,
 - Vákuumpárologtatás
 - Elektronsugaras gőzölés
- Főképp a kontaktus fémrétegek kialakítására Al, Cu

Flip Chip

- Kivezetések száma nő chip/tok méret csökken
- Egész terület használata tokon belül és kívül
- Belső kontaktusok kivezetése többretegű NYHL-el
- Forraszgömbök / a kontaktusfelület nagyobb, mint a lábkievezetésnél



Egy példa: fém gate-os MOS tranzisztor

A kialakítandó struktúra:

