

FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA



5 FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

5-02 RÉTEGLEVÁLASZTÁSI ÉS ADALÉKOLÁSI TECHNOLÓGIÁK

ELEKTRONIKAI TECHNOLÓGIA ÉS ANYAGISMERET
VIETAB00



BUDAPEST UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND ECONOMICS
DEPARTMENT OF ELECTRONICS TECHNOLOGY

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

RÉTEGLEVÁLASZTÁS ÉS EPITAXIA

- **Rétegleválasztás:** olyan eljárás, mely során a hordozóra (szubsztrátra) nagy felületű, de laterális méretéhez viszonyítva nagyságrendekkel kisebb vastagságú, egyenletes réteget viszünk fel.
 - A félvezetők esetében mintázatot is tudunk kialakítani, ha kombináljuk litográfiával és maratással. Így hozzuk létre pl. a Si chipen az átvezetéseket.
 - Speciális eset: epitaxia – egykristályos réteg előállítása egykristályos rétegen



Rétegleválasztási és adalékolási technológiák

2/22

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

PVD – FIZIKAI GŐZFÁZISÚ LEVÁLASZTÁS

- A réteg anyagát (anyagait) energia-befektetéssel gőz vagy gáz fázisba visszük, ami kondenzálódik a hordozón (pl. Si chipen Al fémezése).
- Két alapvető típusa van:
 - vákuumpárolgatás,
 - vákuumporlasztás.(Részletesebben I.: Vékonyrétegek technológiája.)
Fontos! A CVD-vel ellentétben nincs a felületen kémiai reakció, ezért maga az elv is egyszerűbb.



Rétegleválasztási és adalékolási technológiák

3/22

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

CVD – KÉMIAI GŐZFÁZISÚ LEVÁLASZTÁS

- A PVD-vel ellentétben kémiai reakció játszódik le a felszínen
- A kiindulási anyagok (gázok) gyakran veszélyesek (robbanásveszély, mérgező, stb.)

A kiindulási anyagok összefoglaló neve: **prekurzor** gázok.

Példa prekursor gázokra:

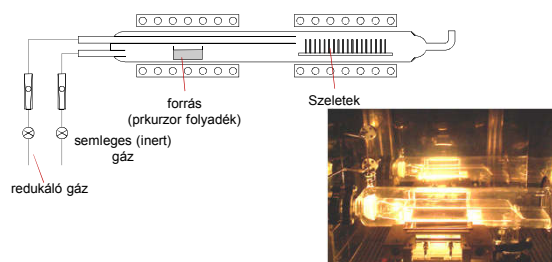
SiH_4 (szilán) – Si leválasztás

PH_3 (foszfin) – N adalékolás(kártevőirtás)

B_2H_4 (diborán) – P adalékolás

A reakciót úgy kell megválasztani, hogy a keletkező melléktermékek ne képezzenek csapadékot és ne támadják meg a szeletet.

A CVD REAKTOR SZERKEZETE



LPCVD: low pressure CVD (alacsony nyomású CVD)

PECVD: plasma enhanced CVD (plazmakisülés közbeni CVD)

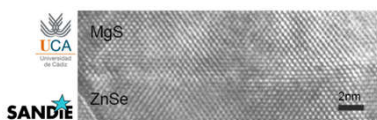
CVD-VEL LEVÁLASZTHATÓ ANYAGOK A FÉLVEZETŐ TECHNOLÓGIÁBAN (példák)

- Egykristály hordozót folytató Si réteg, epitaxia (szilán prekursor bontása)
 SiH_4 (szilán, g) \rightarrow Si (s) + 2 H_2 (g) (1000 °C)
- Egykristályos v. polikristályos Si – epitaxia, kapuelektroda (Si-tetraklorid)
 SiCl_4 (g) + 2 H_2 (g) \rightarrow Si (s) + 4HCl (g) (800-1200 °C)
(Megfordítható folyamat, marás is lehetséges. A reakció sebesség függvénye a kristályszerkezet - egykr. v. polikr.)
- SiO_2 (szilícium-oxid) – dielektrikum (tetraetil-ortoszilikát, 600 °C-on)
 $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ (g) \rightarrow SiO_2 (s) + 2 $\text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ (g)
- Si_3N_4 – szigetelő réteg PECVD-vel (szilán és ammónia keverékből)
 3SiH_4 (g) + 4 NH_3 (g) \rightarrow Si_3N_4 (s) + 12 H_2 (g)

FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

EPITAXIA

- Definíció: egykristályos réteg leválasztása egykristályos hordozóra
- A leválasztás eredménye: a hordozó és a réteg kristályorientációja (közel) megegyezik.
- NEM összetévesztendő a vékonyrétegekkel és a CVD/PVD eljárásokkal! (Bár CVD használható epitaxiás célokra.)



Kristálystruktúra heteroepitaxiával növesztett II-VI félvezetők esetében

EPITAXIA FAJTÁI

Rétegszerkezet szerint:

- A **homoepitaxia**: a felvitt réteg ugyanolyan anyagú, mint a hordozó. Az egykristályos réteg ideális esetben tökéletes, hibahelymentes folytatása a hordozónak. Alkalmazás: eltérő adalékoltságu réteg növesztése a hordozóra (lépcsős adalékoltsági profil)
- A **heteroepitaxia**: olyan epitaxia, ahol a hordozó és a felvitt réteg kémiai összetétele különböző. Lényeges, hogy a rácsállandóban nem lehet nagy különbség. Alkalmazása: vegyületfélvezető rétegrendszerek elsősorban fotonikai célra (kék, UV lézer, lézerciódák, függőleges üregű lézerek), vagy pl. SOS – silicon-on-sapphire: szilícium zafír felületen.

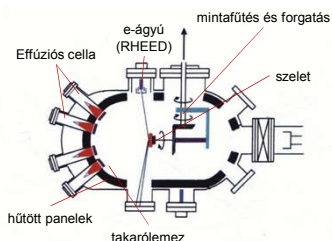
Leválasztási módszer szerint:

- **VPE**: Vapour Phase Epitaxy (Gőz fázisú epitaxia, leginkább CVD)
- **LPE**: Liquid Phase Epitaxy (Folyadék fázisú epitaxia)
- **MBE**: Molecular Beam Epitaxy (Molekulasugaras epitaxia)

MBE – MOLEKULASUGARAS EPITAXIA

Lassan párolgó vagy szublimáló forrásból irányított sugárban viszünk anyagot a hordozóra.

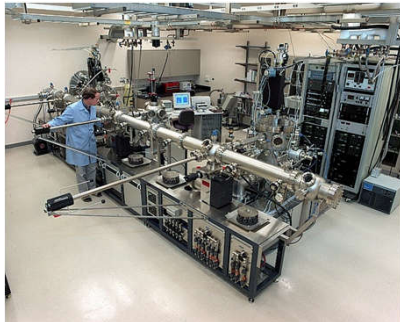
- Ultrahagy vákuum szükséges
- Lassú növekedés mellett jó minőségű réteg nyerhető.
- Alkalmazás: modern lézerciódák rétegszerkezete, nanoszerkezetek



A effúziós (gőzforrás) cellákat cseppfolyós N_2 -el hűtött panelek veszik körül (szennyezők távoltartása, vákuum javítása). A molekulasugarat takarólemezzel (*shutter*) lehet megszakítani. A réteg kialakulását nagyenergiájú elektrondiffrakcióval (reflexió) követik (RHEED). A szubsztátot általában néhány száz °C-on tartják.

FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

MBE – MOLEKULASUGARAS EPITAXIA



FONTOS RÉTEGNÖVESZTÉS: OXIDRÉTEG NÖVESZTÉSE SZILÍCIUMRA

A SiO₂ növesztésének célja lehet:

- dielektrikum réteg létrehozása (pl. kapuelektroda),
- maszkréteg kialakítása diffúzió vagy ionimplantáció előtt.

Növesztése történhet:

- CVD-vel,

- száraz oxidációval: $\text{Si} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SiO}_2$

Pl.: 1000 °C-on 7 nm SiO₂ 15 perc alatt nő (kapuelektroda).

- nedves oxidációval: $\text{Si} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SiO}_2 + 2\text{H}_2$

Pl.: 10x gyorsabb a száraz oxidációnál. 1000 °C-on 700nm SiO₂ nő meg 1,5 óra alatt.

A hőmérséklet tipikusan 900-1200 °C között van. Ekkora hőmérsékleten a H₂O és az O₂ is könnyen diffundál át a szilícium-oxidon, így nem áll le a növekedés.

FONTOS RÉTEGNÖVESZTÉS: OXIDRÉTEG NÖVESZTÉSE SZILÍCIUMRA

szilán + oxigén, TEOS (tetraetil-ortoszilikát), diklór-szilán + dinitrogén-oxid

	PECVD	SiH ₄ + O ₂ (CVD)	Si(OEt) ₄ (CVD)	SiCl ₂ H ₂ + N ₂ O (CVD)	Termikus oxidáció
Hőmérséklet (°C)	200	450	700	900	1000
Összetétel	SiO _{1,9} (H)	SiO ₂ (H)	SiO ₂	SiO ₂ (Cl)	SiO ₂
Fedés	Nem alakkövető	Nem alakkövető	Alakkövető	Alakkövető	Alakkövető
Termikus stabilitás	H-t veszít	tömörödik	stabil	Cl-t veszít	Stabil
Törésmutató	1.47	1.44	1.46	1.46	1.46
Dielektromos állandó	4.9	4.3	4.0	4.0	3.9

FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

AZ ADALÉKOLTSÁG MEGVÁLTOZTATÁSA

Az adalékok koncentrációját utólag (=nem növesztés közben, mint a homoepitaxiánál) is megváltoztathatjuk.

Két alapvető módszer létezik az adalékolásra:

- **Diffúzió:** az adalék vagy szilárd (vékonyréteg) formában, vagy gázként áll rendelkezésre, és diffúzióval hatol be a hordozóba
- **Implantáció:** megfelelő energiára gyorsított ionokkal bombázzuk a hordozót.

Az adalékkoncentráció itt számítással/modellezéssel meghatározható függvényt követ, amely nem lesz „ideális” (lépcsős).

A DIFFÚZIÓ FÜGGÉSE A HŐMÉRSÉKLETTŐL

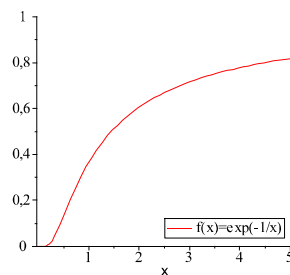
A D diffúziós együttható csak a hőmérséklettől függ:

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{H}{kT}\right)$$

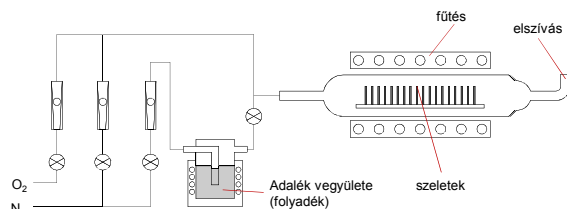
H : aktivációs energia [J]

k : Boltzmann-állandó
 $1,38 \times 10^{-23}$ [J/K]

A függvény a végtelenben D_0 -hoz konvergál. Az x a H/k -ra normált hőmérséklet.
(az ábrán $D_0=1$)



A DIFFÚZIÓS KÁLYHA VÁZLATA



A hőmérséklet értékét $\pm 0,5$ °C pontossággal kell stabilizálni!

FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

A DIFFÚZIÓ MATEMATIKAI LEÍRÁSA

Diffúziós mélységi profil (x koordináta mentén) meghatározzuk két speciális esetben:

- felületi koncentráció állandó, akkor

$$c(x) = c_0 \cdot \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{Dt}}$$

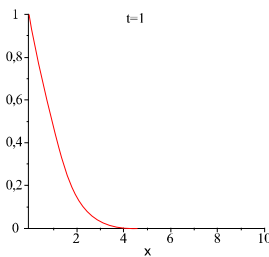
emlékeztető: $\operatorname{erfc} z = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-u^2} du$

- Adott mennyiségű anyag (pl.: vékonyréteg a felületen), akkor

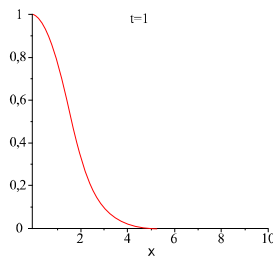
$$c(x) = \frac{n}{\sqrt{\pi Dt}} \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right)$$

A DIFFÚZIÓ MATEMATIKAI LEÍRÁSA

Konstans felületi koncentráció:



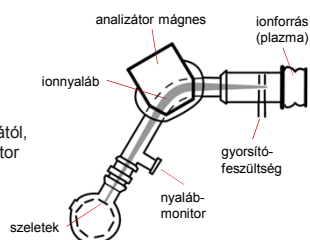
Vékonyréteg „behajtása”
(konstans anyagmennyiség):



AZ (ION)IMPLANTÁCIÓ

Az ionimplantáció során az adalék ionját egy gyorsító elektromos térerővel a felületbe lövik.

A behatolási mélység és a kialakuló adalékoltsági profil erősen függ az ionok energiájától, ezért szükség van egy analizátor mágnesre, ami kiválasztja a kívánt energiájú ionokat.

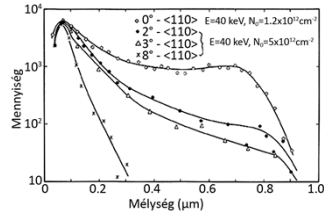
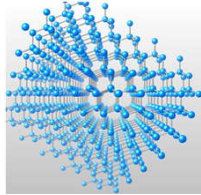


FÉLVEZETŐ ALAPÚ ESZKÖZÖK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

(ION)IMPLANTÁCIÓ – A CSATORNAHATÁS

A csatornahatás akkor alakul ki, ha az ionáram iránya egybeesik a kristály valamelyik alacsony Miller-indexű orientációjával. Ekkor az ionok mozgásának irányában „csatornák” alakulnak ki, ahol az ionok kisebb valószínűséggel ütköznek.

Az implantáció során kerülendő, ezért a kristályt tilos pontosan orientálni!



Az implantáció folyamata során keletkezett kristályhibákat utólagos hőkezeléssel lehet javítani

A DIFFÚZIÓ ÉS AZ IMPLANTÁCIÓ KONCENTRÁCIÓ-PROFILJÁNAK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

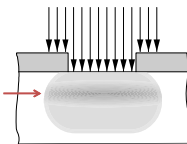
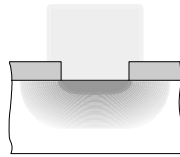
Diffúzió esetében:

A legnagyobb koncentráció a felületen alakul ki.

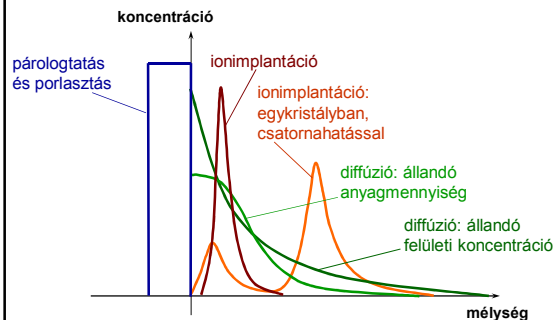
Az implantáció esetében:

Meghatározható mélységben van a legnagyobb koncentráció.

Csatornahatás: megfelelő orientációjú kristályban csatorna alakul ki, amely „vezeti” az adalékokat. Ez általában nem kívánatos, ezért szándékosan félreorientálják néhány fokkal.



A DIFFÚZIÓ ÉS AZ IMPLANTÁCIÓ KONCENTRÁCIÓ-PROFILJÁNAK ÖSSZEHASONLÍTÁSA



TARTALOMJEGYZÉK

- Nyers Si szeletből kiindulva az eszközíg
- Rétegleválasztás
- Vezetési tulajdonságok megváltoztatása (adalékolás)
- Mintázat- és szerkezetkialakítás (következő előadás)
- Rétegleválasztási eljárások célja, eljárásai
 - PVD (Physical vapour deposition): fizikai gőzfázisú leválasztás,
 - CVD (Chemical vapour deposition): kémiai gőzfázisú leválasztás
 - Speciális eset: epitaxia – egykristály réteg növesztése egykristályra
- Adalékolás – diffúzió és implantáció