

Rétegnövesztés, rétegleválasztás II.

Fizikai rétegleválasztás (Physical Vapor Deposition -VPE)

Vákuumgőzölés

Porlasztás

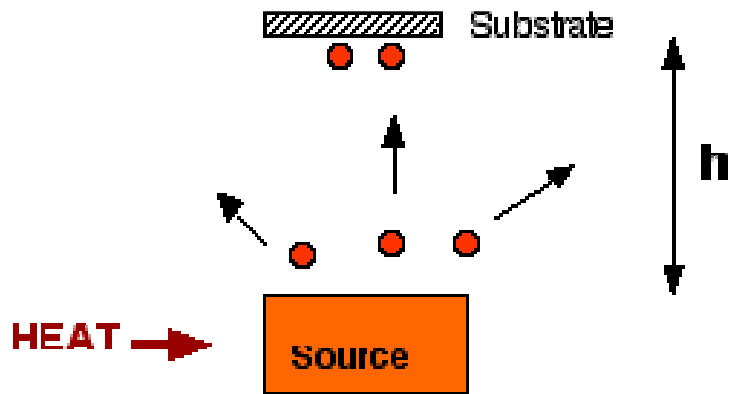
A leválasztás lépései

- Forrásanyag gőzfázisba hozása

- Szabad részecskék transzportja a hordozóig

- Részecskék lecsapódása a hordozóra

Vákuumgőzölés



A gőzölés történhet:

Huzalról

Tégelyből

Csónakból

Elektron sugárral

A tartó anyaga lehet:

Wolfram ($3410\text{ }^{\circ}\text{C}$), Bór-nitrid (BN), Tantál ($2996\text{ }^{\circ}\text{C}$), Molibdén ($2610\text{ }^{\circ}\text{C}$).

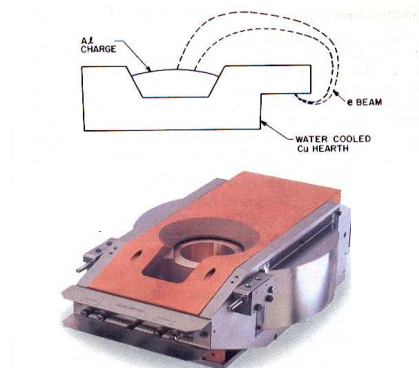
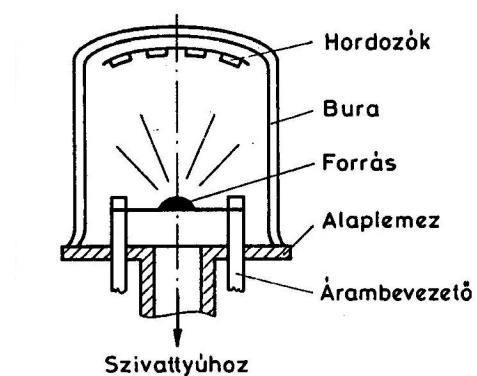
(ötvöződés, kémiai reakció, párolgási tulajdonságok)

Kb. $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig, 10^{-5} - 10^{-4} mbar

Nagyon rossz lépcsőfedés

Elektronágyú - sugárkárosodás

Elvileg vezető és szigetelő réteg is



A forrásanyag gőzfázisba hozása

Forrás fűtése, amíg a gőznyomás $>10^{-4}$ mbar nem lesz.

A forrás lehet szilárd és folyékony

A forrás anyaga felbomolhat

Különböző sztöchiometriájú rétegek előállítása lehetséges: $\text{SiO}_2 \rightarrow \text{SiO}_{2-x}$

Ötvözetekben az összetevők párolgása különböző sebességű lehet

Más összetételű ötvözetet használni forrásként

A párologtatás ideje alatt az ötvözet sztöchiometriája változik

Együttpárologtatás

A szabad részecskék transzportja a hordozóig

A részecskék ütközését el akarjuk kerülni

Nagy szabad úthossz

Jó vákuum

Hordozótávolság helyes megválasztása (pl.: 10-100 cm, $p < 10^{-5}$ mbar)

Az anyageloszlás a forrás geometriájától függ: pontszerű vagy felületi forrás

A részecskék lecsapódása a hordozóra

Az egyenletesség függ a rétegvastagságtól és tisztaságtól

Egyenletesebb réteg kapható:

- A hordozók méretének csökkenésével

- A forrás hordozó távolság növelésével

 - Nagyobb kamra kell

 - Jobb vákuum kell

 - Nagyobb veszteség

- Több forrás használatával

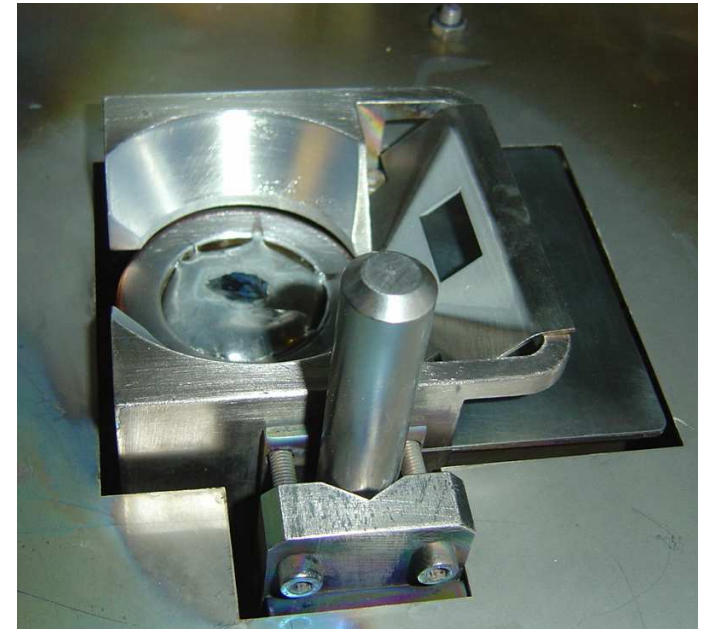
- Hordozó mozgatásával, forgatásával

- Tiszta forrás használatával (99.99999%)

- Alacsony diffúziójú fűtőtégely használatával

Előnyös a jobb vákuum és a nagyobb leválasztási sebesség - a gáztér szennyezettsége kevésbé hat.

Vákuumpárológtató

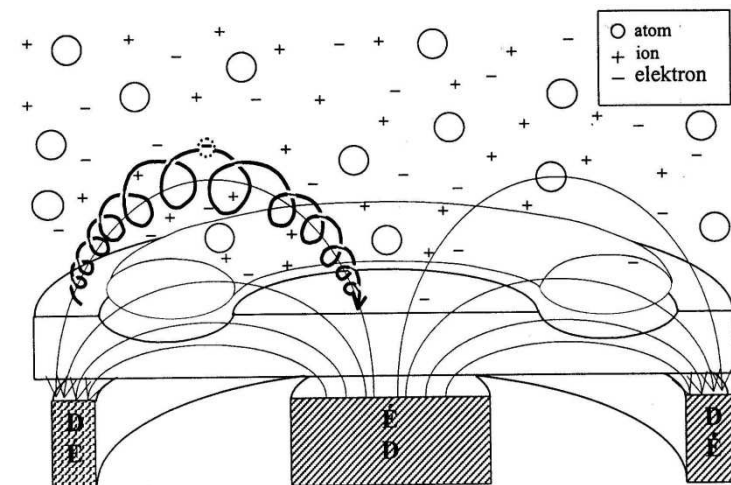
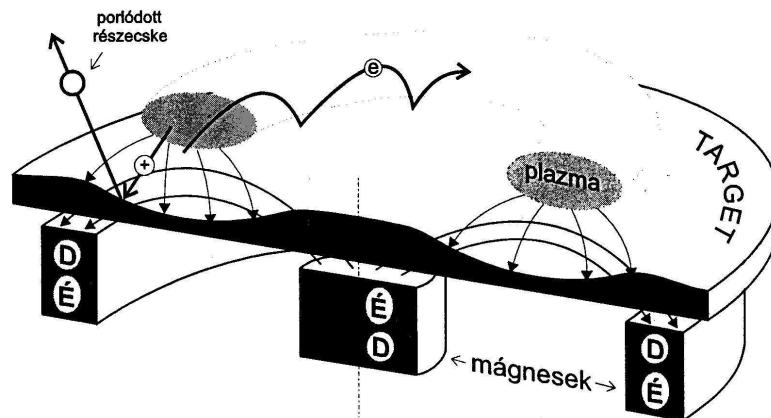
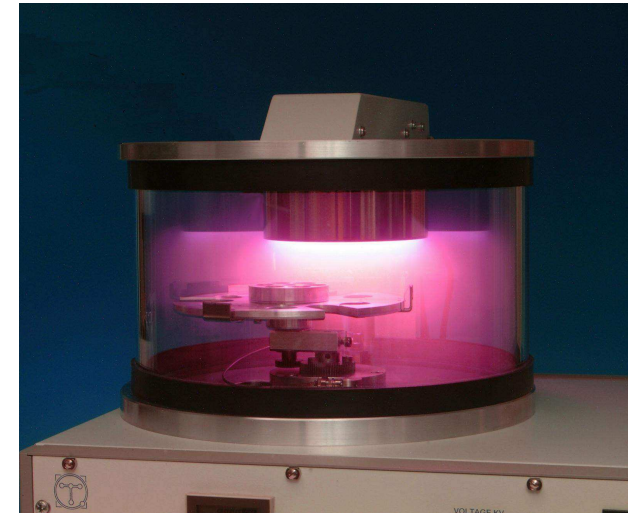
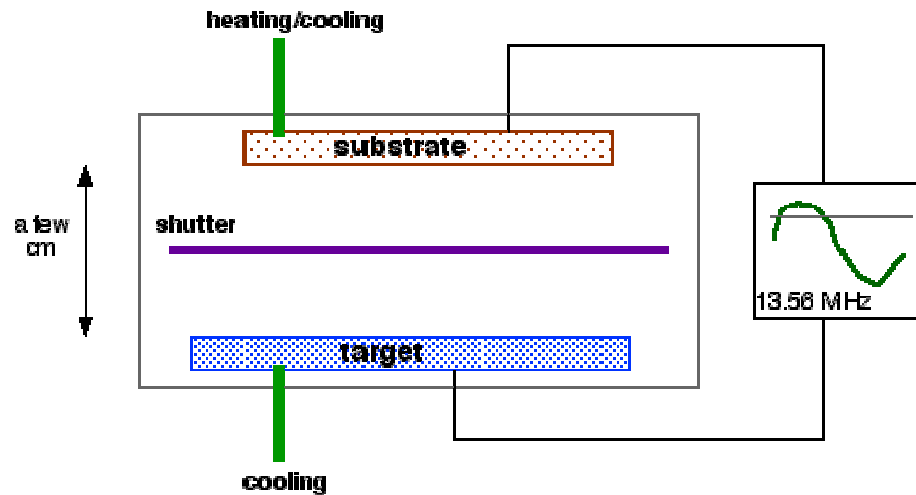


Rezgőkvarcos rétegvastagság mérő



Porlasztás

A leválasztandó anyagot ionbombázással hozzák gőzfázisba - plazma a reaktortérben (Ar).



A forrásanyag gőzfázisba hozása

Targetból kilépő részecskék

Atomok (ez számunkra a leghasznosabb)

Ionok (1-2%)

Elektronok (segítenek a plazma fenntartásában)

Ar⁺ ionok semleges Ar atomként reflektálódnak

Fotonok

A beérkező részecskék energiájának 95%-át a target nyeli el (jó hűtés kell)

5% energiát a target távozó atomjai visznek el

Tipikus energiák 5-100 eV

A target laterálisan nem egyenletesen porlódik.

Különböző targetanyagok különböző sebességgel porlódnak. Függ:

- a target anyagától (kötési energia, atomtömeg)
- a porlasztógáztól (atomtömeg, reakcióképesség, energia)

A porlasztás

- 10 kV környékén a maximális
- A feszültség adott küszöbértékénél „gyullad be” a plazma
- A hozam tipikusan 1-10 beérkező ionra 1 szabad targetatom

Ötvözetből porlasztásnál a párologtatással ellentétben a réteg és a target anyaga megegyezik.

A szabad részecskék transzportja a hordozóig

A targetatomok áthaladnak a plazmán és ütköznek a plazma részecskéivel

- Energiát veszítenek (1-10eV-ig)
- Kémiai reakciók játszódhatnak le a gázban (reaktív porlasztás – a reakciótermékek leválasztása, pl. TiN)
- Mivel nem egyenes vonalon mozognak az atomok, az árnyékolás kevésbé érvényesül

A részecskék lecsapódása a hordozóra

Target atomok és ionok hatása

Beépülnek a kristályrácsba

Hibahelyeket hoznak létre

Ar atomok és ionok hatása

Ar képes abszorbeálódni

Elektronok hatása

Visszaporlódás lehetséges

Hordozófűtés

100-200 °C általában

Vákuumban rossz a hőátadás

Fajtái

DC katódporlasztás (diódás)

RF (rádiófrekvenciás) katódporlasztás

Magnetronos porlasztás

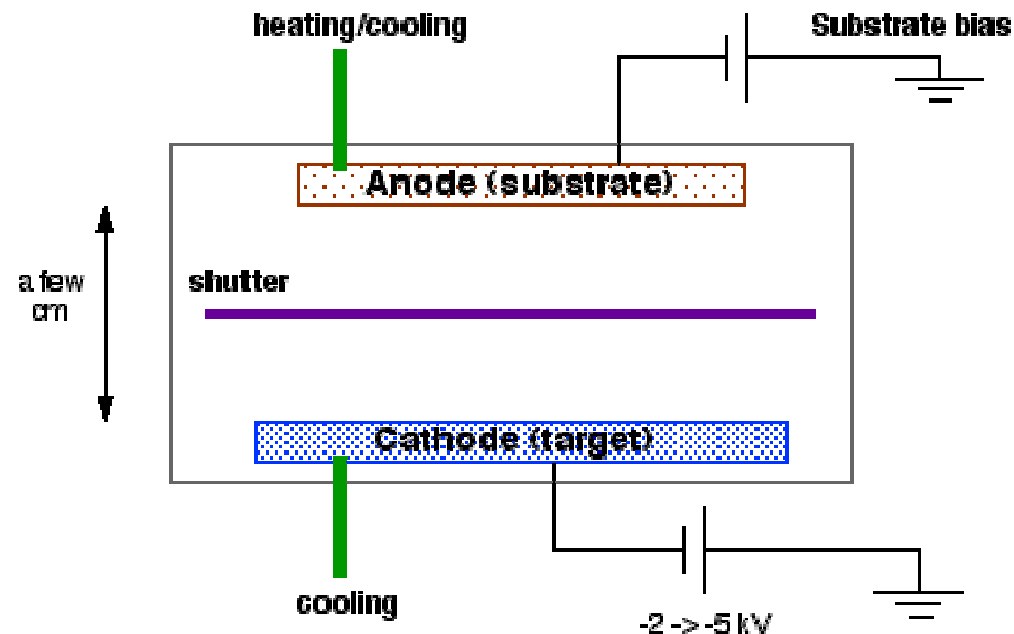
DC katódporlasztás

A targetet az egyenáramú katódra helyezik.

Csak fémek porlasztására alkalmas

Szigetelő anyag feltöltődne, ezzel lehetetlenné téve a további porlasztást

Reaktív porlasztás lehetséges (reaktív gázokkal a plazmában)



RF (rádiófrekvenciás) katódporlasztás

Váltakozó feszültség az anód és katód között.

Alkalmas szigetelők porlasztására is

Váltakozó feszültség nem engedi a target töltődését

Akkor porlódik, amikor a target negatív potenciálon van

A hordozó és a kamra porlódása nem jelentős, mert nagy a felületük
50 kHz alatt használható. Efölött az ionok és elektronok nem képesek követni a feszültség változást.

Előnyei

A plazma fenntartása egyszerűbb

Alacsonyabb nyomáson is üzemel

Kevesebb ütközés, a porlasztott részecskék szabadabban jutnak el a hordozóig

Magnetronos porlasztás

Az ionokat mágneses térrel vezetik a targethez

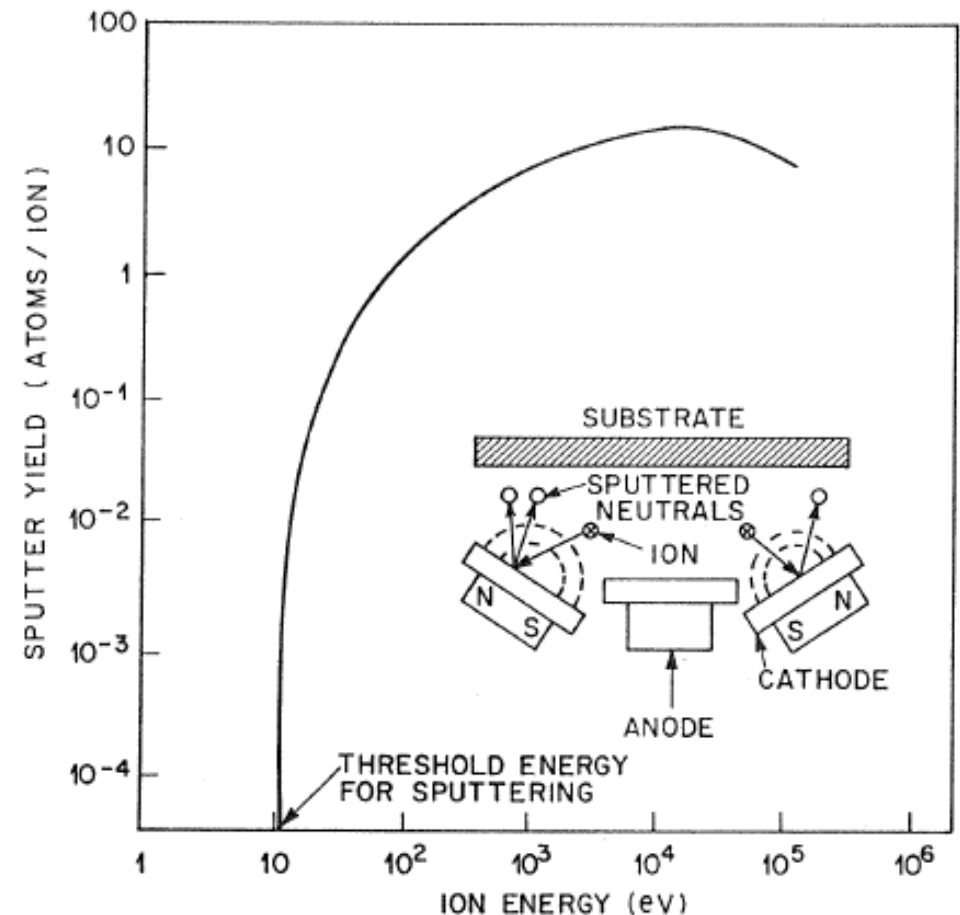
DC és RF porlasztásnál is használható

Cél: jobb hatásfokkal ionizálni az Ar gázt

- Kisebb nyomás
- Porlasztott atomok kevesebb ütközése

Alapelv

- Elektronok és ionok plazmában megtett útját megnövelni (nagyobb az ionizálás valószínűsége)
- Egymásra merőleges elektromos és mágneses teret alkalmaznak
- Hatékonyabb ionizáció → 1-2 nagyságrenddel nagyobb (porlasztó) ionáram
- Gyors rétegépülési sebesség ($\mu\text{m}/\text{percig}$)
- Kisebb a szennyezés is



Porlasztás és párologtatás összehasonlítása

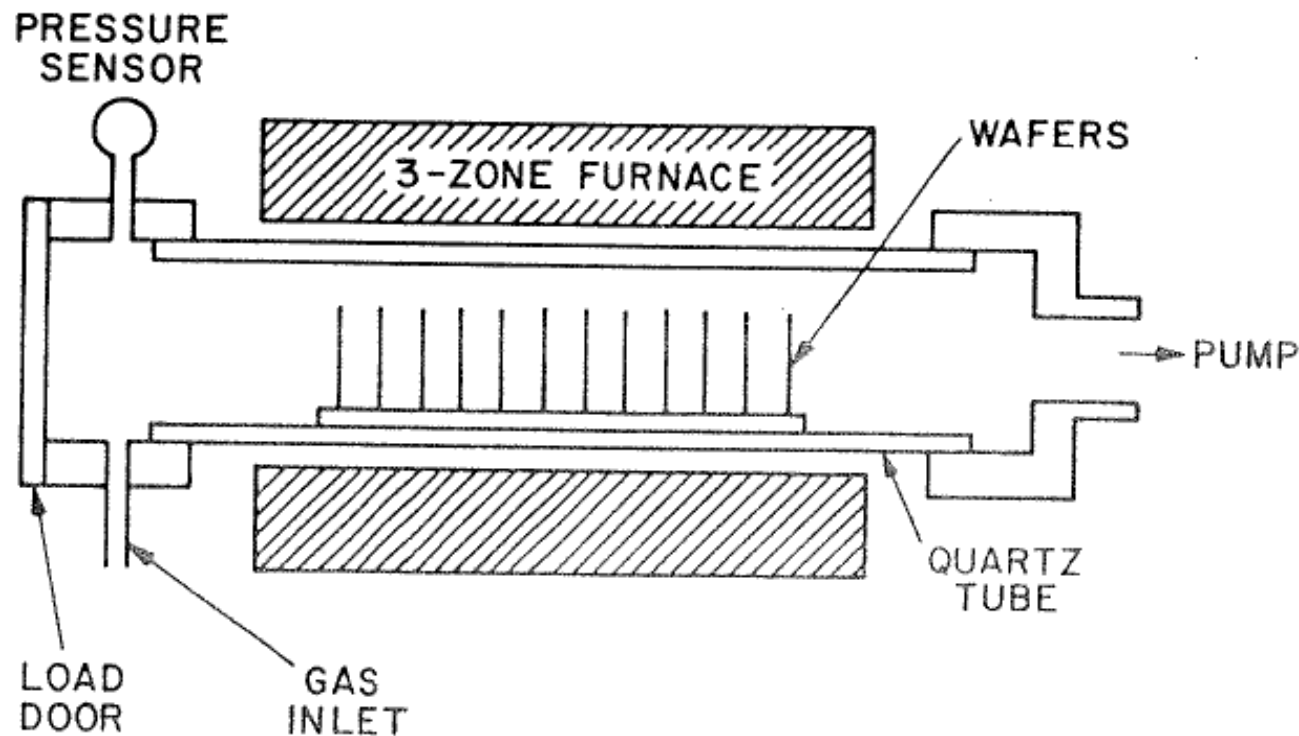
Porlasztás	Párologtatás
Nagy energiájú atomok	Kis energiájú atomok
Kis vákuum és szabad úthossz <ul style="list-style-type: none">– Sok ütközés– Kevés targetatom jut el egyenes vonalon a hordozóig– Gáz abszorbeálódik a rétegbe	Nagy vákuum és szabad úthossz <ul style="list-style-type: none">– Kevés ütközés– Sok forrástatom jut el egyenes vonalon a hordozóig– Kevés gáz abszorbeálódik a rétegbe
Kisebb szemcseméret	Nagyobb szemcseméret
Sokféle kristálytani irány	Kevés kristálytani irány
Jobb tapadás	Kevésbé jó tapadás

Kémiai módszerek (Chemical Vapour Deposition - CVD)

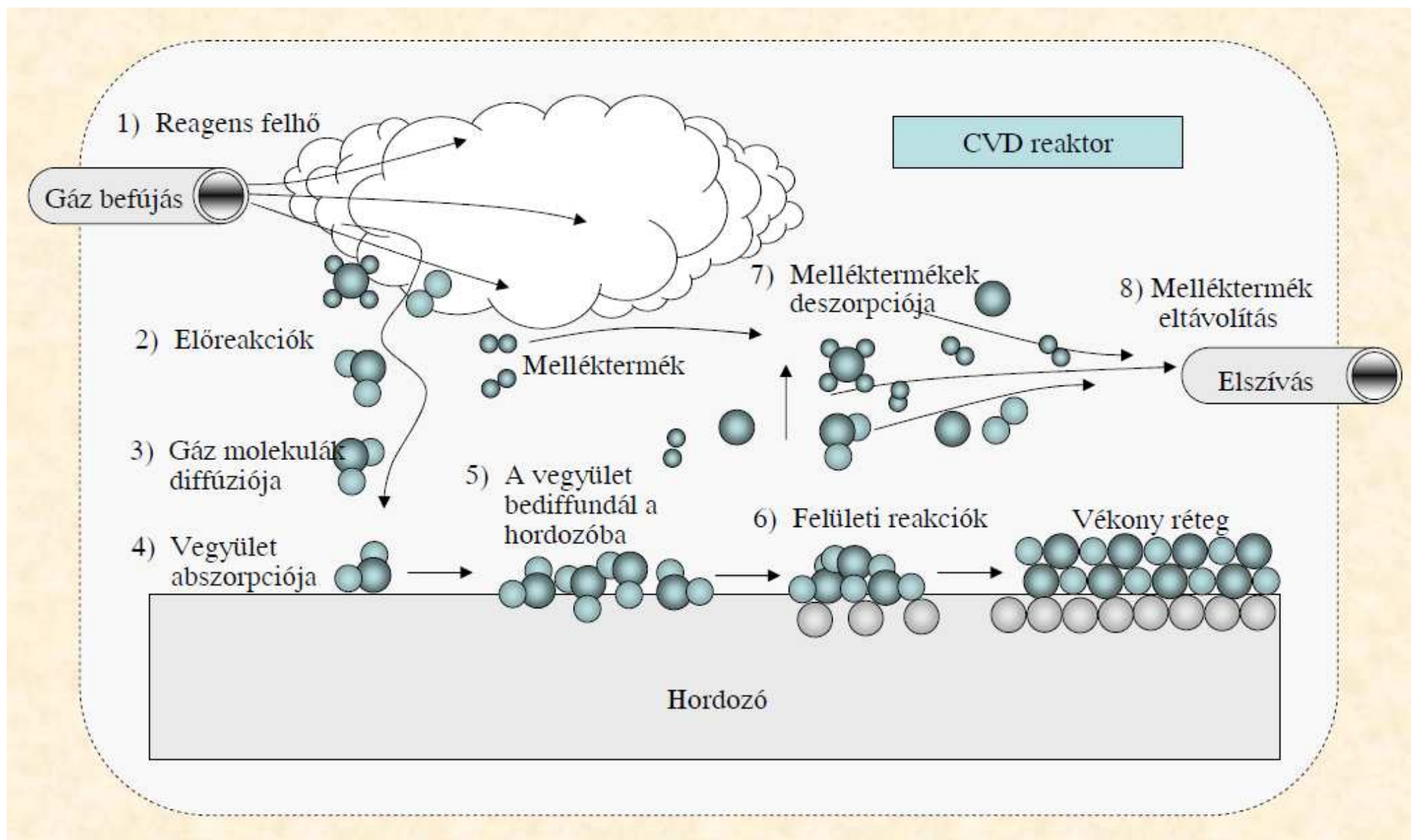
Kémiai gőzfázisú leválasztás (CVD)

Hasonló a gőzfázisú epitaxiához: vegyi reakció, de amorf vagy polikristályos réteg keletkezik.

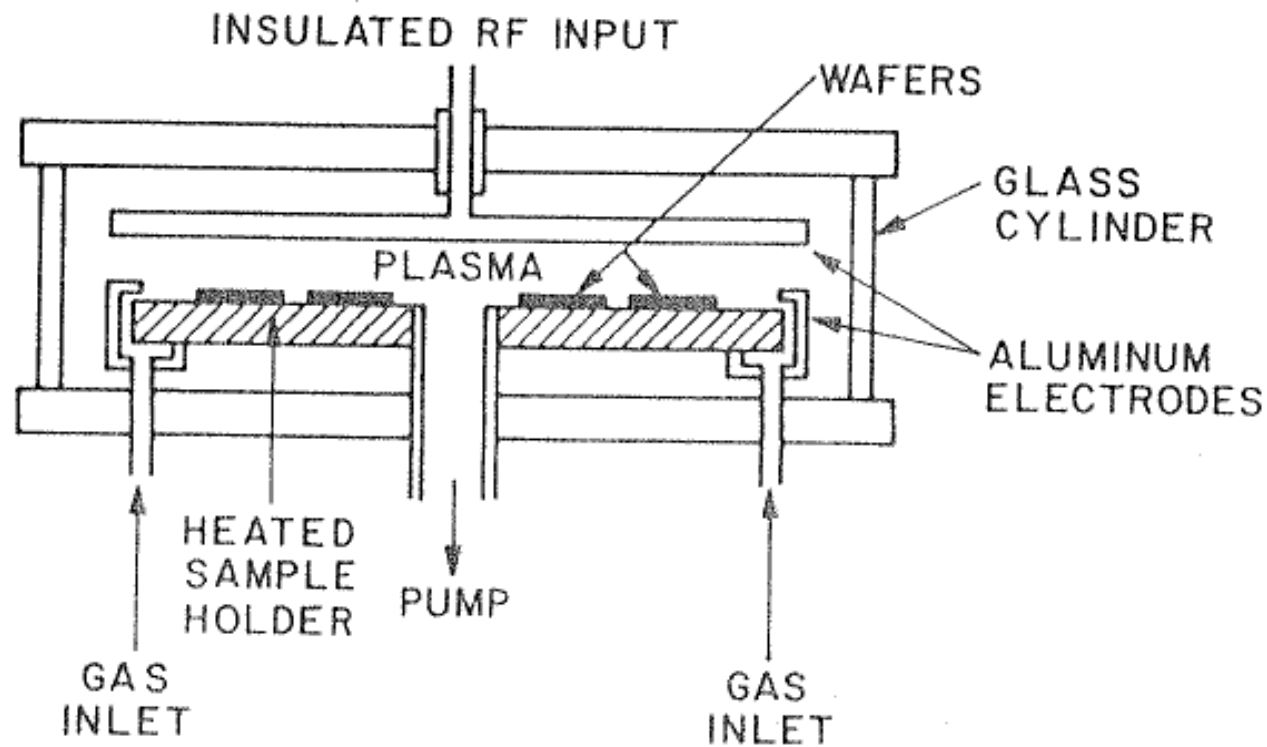
Szigetelő rétegek (SiO_2 , Si_3N_4 , TiN , stb.), fémrétegek, polikristályos félvezetők (Si), szilicidek, stb.



Leválasztás folyamata



Plazma CVD (Plasma Enhanced CVD - PECVD)



RF meghajtás

Plazma hatására könnyebb disszociáció, alacsonyabb leválasztási hőmérséklet

Szilicidok növesztése

Néhány szilicidnek (pl. TiSi_2 , TaSi_2) kicsi a fajlagos ellenállása, ezért fémezés helyett használják. Léteznek félvezető szilicidok is, pl. Fe_2Si .

A szilicidok az alábbi módokon állíthatók elő:

- a fém leválasztása a Si felületre + szinterelés,
- a fém és a Si együttes leválasztása + szinterelés
- reaktív leválasztás: a fém leválasztása forró Si felületre, és
- szilicid leválasztás CVD technikával.

Ellenőrző kérdések

Mire használják a vákuumgőzölést?

Milyen gerjesztő feszültség kell a szigetelő anyagok porlasztásához?

Mi az előnye a rádiófrekvenciás katódporlasztásnak?

Mi az előnye a magnetronos porlasztásnak?

Mi a különbség a gőzfázisú epitaxia és a gőzfázisú kémiai leválasztás között?

Mi az előnye a plazma CVD-nek?

Mire használják a szilicideket a félvezető áramkörökben?

Mi a különbség a vákuumpárológatás és a porlasztás között?

Mi az elektronsugaras vákuumpárológatás?

Hogy működik a rezgőkvarcos rétegvastagság mérő?