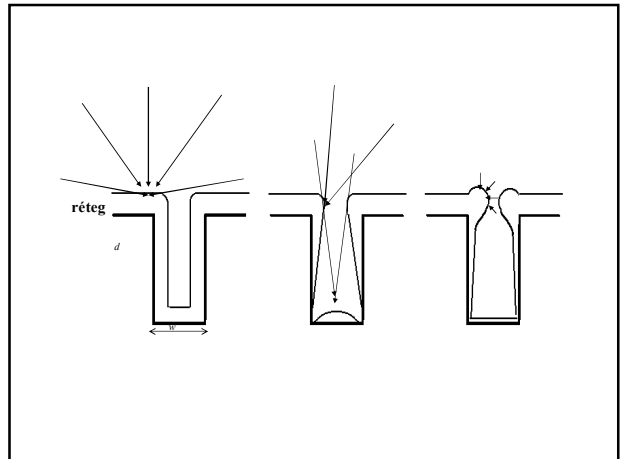
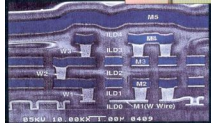


### Vékonyrétegek - általános követelmények

- egyenletes vastagság a teljes szubsztráton
- azonos összetétel
- azonos szerkezet (amorf, polikristályos, epitaxiális)
- azonos fizikai és kémiai tulajdonságok
- tömörség (szivacs vs. réteg, tülyuk)
- tapadás
- kis termomechanikai feszültség
- speciális követelmények (sűrűlódás, nedvesítés, biokompatibilitás, stb..)
- gazdaságosság
  - leválási sebesség
  - berendezés karbantartási igénye
- lépcsőfedés



### A vékonyrétegek felhasználása:

- Mikroelektronika, félvezető gyártástechnológia
- Mikro-elektromechanikai rendszerek (érzékelők, beavatkozók, MEMS)
- hővezető bevonatok (BeO, AlN, gyémánt)
- Fotovoltaikus eszközök (napelemek)
  - üveg és műanyaghordozóra leválasztott amorf és mikrokristályos Si
  - vegyület-félvezetők (CuInGaSe, CdTe)
  - Si egy- és multikristályos napelemek, (HIT)
- optikai alkalmazások (szűrők, rácsok, antireflexiós rétegek, tükrök stb..)
- kopásálló bevonatok
  - optikai elemek védelme (pl. leválasztott gyémántréteggel)
  - szerszámok kemény bevonata (TiN, WC, B<sub>4</sub>C, gyémánt, DLC)
  - humán protézisek bevonata
- korrózióálló bevonatok
- dekorációs bevonatok

### Vékonyréteg leválasztások

#### Fizikai módszerek (PVD, Physical Vapour Deposition)

- szilárd forrásból:** párologtatás  
porlasztás  
dc, rf  
magnetron  
MBE (Molecular Beam Epitaxy)  
LPE (Liquid Phase Epitaxy)  
(egykristály húzása, Czochralsky, Floating zone)
- olvadékból:**

#### Kémiai módszerek

- elektrolitból:** galvanizálás  
(oldatból, szuszpenzióból: lecsapatás, szol-gél technika)
- gázfázisból:**  
CVD (Chemical Vapour Deposition)  
VPE (Vapour Phase Epitaxy)  
MOCVD (Metal Organic ...)  
LPCVD (Low pressure...)  
PECVD (Plasma enhanced...)  
MWCVD (MicroWave...)  
PACVD (Photon assisted..., néha plazma assisted)  
ALCVD (Atomic Layer.. ALD(ep..), ALEpitaxy)

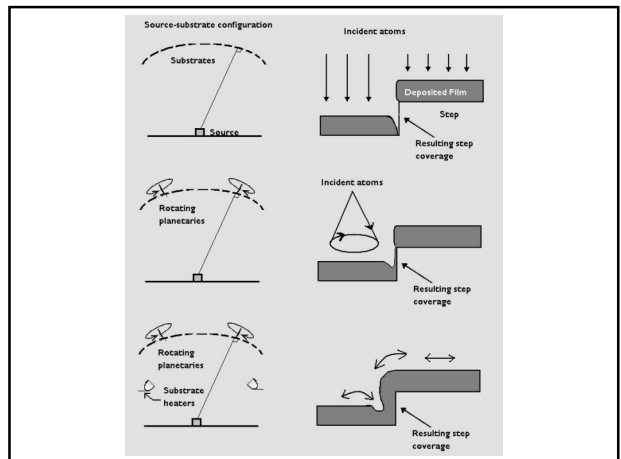
### Fizikai rétegleválasztások

- nagyvákuum tartomány
- végvákuum:  $10^{-6}$  mbar
- leválasztás közben:  $10^{-5}$  -  $10^{-3}$  mbar
- közepes szabad úthossz: ~10cm- mm

#### Fűtéssel: párologtatás (lovas, csónak, e-ágyú)

$T_{\text{forrás}}$  ~2000°C-ig W (3410°C), Mo (2610°C), Ta (2996°C) csónak, (ötvöződés, kémiai reakció, párologási tulajdonságok)

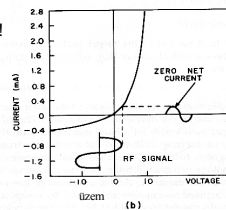
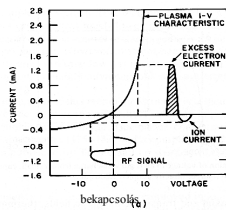
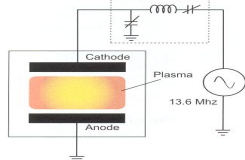
- $10^{-5}$ -  $10^{-4}$  mbar → nagyon rossz lépcsőfedés
- e-ágyú sugárkárosodás
- elvilleg vezető és szigetelő réteg is



### Porlasztással - RF katódporlasztás

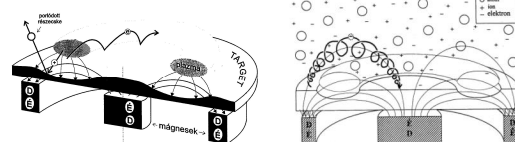
- párhuzamos elektródok ( $a_{\text{katód}} < a_{\text{anód}}$ )
- a porlasztandó (target) kapacitíván csatolt
- rf gerjesztés 13,56, 27, 12 MHz
- e- és ion mozgékonyasága
- kis plazmasűrűség lassú  $v_{\text{réteg}}$
- $< 0.1 \mu\text{m}/\text{percig}$  → esély a szennyezésre!
- Ar- O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> gázkeverék (reaktív porl.)
- 0,1-1mbar Ar, vagy jobb lépcsőfedés

• vezető és szigetelőrétegek leválasztása is!

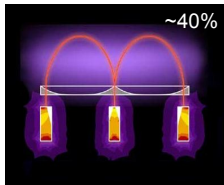


### Porlasztással - DC planar magnetron

- Target - katód, -(300-700)V, kör v. téglalap alakú
- Egymásra merőleges mágneses (permanens mágnesek) és elektromos tér
- Lorentz erő:  $F=qv \times B \rightarrow e^-$  spirális - íves pályán sokkal hosszabb úton → hatékonyabb ionizáció → 1-2 nagyságrenddel nagyobb (porlasztó) ionáram
- Gyors rétegépítési sebesség ( $\sim \mu\text{m}/\text{percig}$ ) (kiseb a szennyezés is!)
- 1-10 mbar Ar, vagy gázkeverék (reaktív porl.)
- Nagyobb nyomás, egy kicsit jobb lépcsőfedés.
- Vezető rétegek leválasztására
- Anyag kihasználás  $\sim 20\%$



mozgatott mágnes



MEMS  
4-6" kristály

Ugyanez a technológia kicsit nagyobb hordozóra:

- Flat panel
- Thin Film Solar



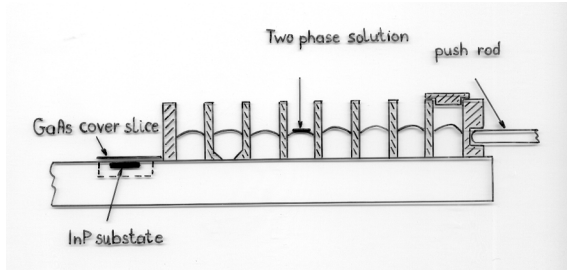
### Molekulasugaras epitaxia

- epitaxiális mono- és multirétegek leválasztása
- ultranagy vákuum, in-situ felülettisztítás és analitika
- költségek, termelékenység
- konkurencia (ALD)



### Folyadékfázisú epitaxia

elsősorban III-V félvezető multiréteg szerkezetek felépítésére



### Kémiai módszerek

- elektrokémiai leválasztás
- sol-gel technika
- CVD

**ALAP: a szilárd terméket eredményező kémiai reakció csak a felületen legyen**

### Kinetika:

- 1/ transport a felületre
- 2/ adszorpció
- 3/ migráció (vándorlás a felületen: adszorpció-deszorpció)
- 4/ kemisorpció
- 5/ kémiai reakció
- 6/ deszorpció
- 7/ transport a felületről

### Sebességmeghatározó lépés

- transport (reagens, ill termék), - makroszkopikus vagy diffúzió - APCVD
- kémiai reakció - LPCVD, PECVD
- kemisorpció - ALD

### Sebességmeghatározó lépés

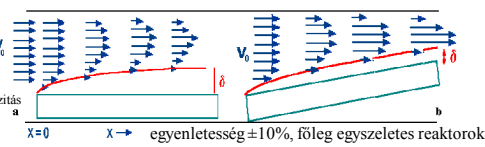
APCVD: transport  
LP, PE, MO, MW: a kémiai reakció (is lehet)

(AP)CVD

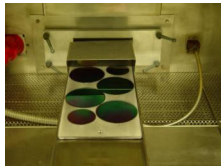
$$\delta(x) = (\mu x / \rho v_0)^{1/2}$$

$\mu$  kinematikai viszkozitás

$\rho$  a sűrűség

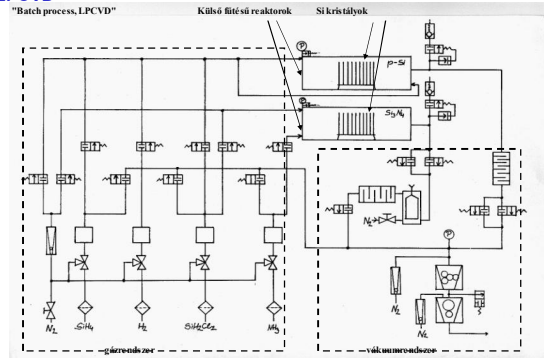


egyenletesség  $\pm 10\%$ , főleg egyszerűes reaktorok

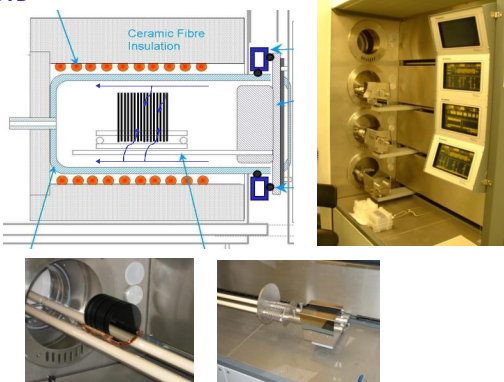


### LPCVD

"Batch process, LPCVD"



### LPCVD



egyenletesség  $\pm 2-6\%$ , batch és egyszerűes reaktorok is

### LPCVD



**PACVD ( $T_{PACVD} < T_{LPCVD}$ )**

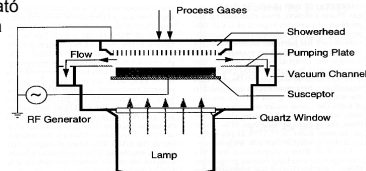
- 400kHz - 13,56MHz, 2,5GHz
- Jó lépcsőfedés feltétele: kis P és nagy T
- de: szelektív leválasztás, ill. leválasztás marás kombinója

**PA: „photon assisted”**

- szelektív gerjesztés  $\rightarrow v \propto \Phi$
- lokális fűtés  $\rightarrow v \propto e^{\Phi}$

**Egyszeres műveletek (APCVD, LPCVD, PECVD, PA)**

- nagy átmérőjű hordozó
- könnyebben automatizálható
- több művelet kombinója



**Szelektív leválasztás vs. leválasztás + CMP (chemical-mechanical polishing)**

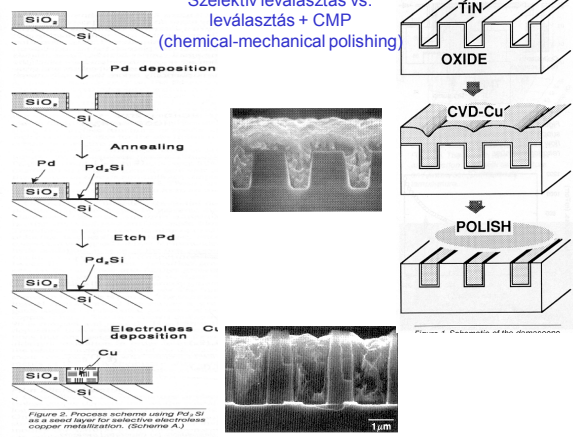
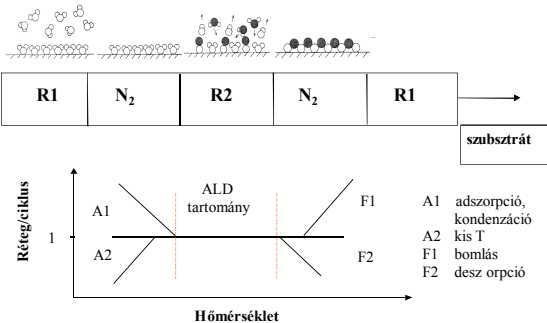


Figure 3. Process scheme using Pd<sub>2</sub>Si as a seed layer for selective electroless copper metallization. (Scheme A.)

**Atomi réteg leválasztás (ALD, lásd még ALCVD, ALE) kemiszorpció kontrollált rétegleválasztás**



- SiO<sub>2</sub>**  $SiH_4 + O_2 \rightarrow SiO_2 + H_2$  (410-430°C)  
TEOS ( $C_2H_5O_4Si$ ) hőbontása  $\rightarrow SiO_2 + 2H_2O + 4C_2H_4$  (PECVD, LPCVD, 350-700°C)
- Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>**  $3SiH_2Cl_2 + 4NH_3 \rightarrow Si_3N_4 + 6HCl + 6H_2$  (LPCVD 760-830°C)
- Si**  $SiH_2Cl_{4-x}$ ,  $x = 0..4$  hőbontása (LPCVD)  
(technika, T és szubsztrát függően epitaxia, polikristályos, ill. amorf)
- W**  $WF_6 + 3Si \rightarrow 2W + 3SiF_4$  (300°C) (szelektív, csak a Si-ra)  
 $WF_6 + 3H_2 \rightarrow W + 6HF$  (T>300°C, fémre)
- Al** TIBA  $[(CH_3)_2-CH-CH_2]_3Al \rightarrow Al + 3(CH_3)_2C=CH_2 + 1,5H_2$  (LPCVD, ALD, 250°C)
- C(DLC, gyémánt)**  
 $CH_4 + H_2 \rightarrow C, DLC$  (uWPECVD, kb. 100:1 H<sub>2</sub>:CH<sub>4</sub> arány, 700-800°C)
- TiC**  $TiCl_4 + CH_4 \rightarrow TiC + 4HCl$  (PECVD, LPCVD, 400-700°C)
- SnO<sub>2</sub>**  $SnCl_4 + 2H_2O \rightarrow SnO_2 + 4HCl$  (CVD v. ALD, 350-500°C)
- GaAs**  $Ga(CH_3)_3 + AsH_3 \rightarrow GaAs + 3CH_4$  (CVD v. ALD)

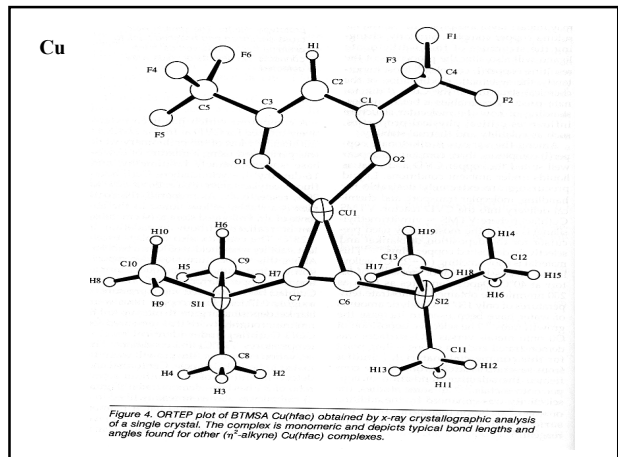
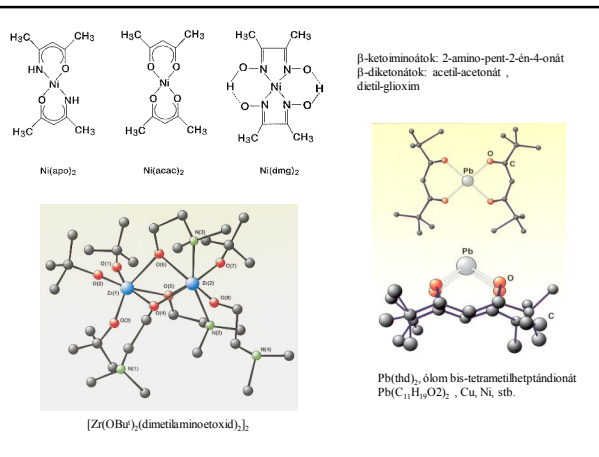
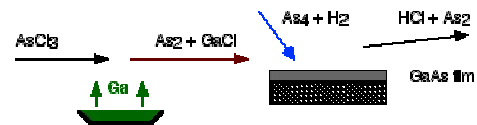
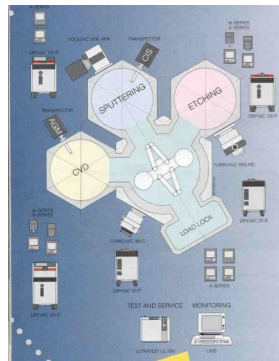
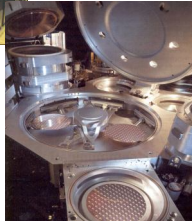
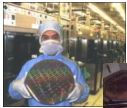


Figure 4. ORTEP plot of BTMSA Cu(thac) obtained by x-ray crystallographic analysis of a single crystal. The complex is monomeric and depicts typical bond lengths and angles found for other  $\eta^2$ -alkyne Cu(thac) complexes.

**Integrált szeletmegmunkáló berendezés - „cluster tool” c-Si**

- Tisztítás (plazma)
- CVD ( bármelyik)
- PVD
- Automata töltés(zsilipkamra)



**Kicsit nagyobb:  
Integrált panel megmunkáló berendezés - „cluster tool”  
thin film: Flat Panel Display, TFPV**

