



# Tehnologije mikrosistema

**Prof. dr Vesna Paunović**

# Depozicija

- Depozicija je proces nanošenja tankih slojeva (filmova) na površinu supstrata.
- Pri izradi integrisanog kola ili elektronske komponente, deponuje se više različitih slojeva na površini silicijuma.
- Neki od ovih slojeva ostaju kao sastavni deo kola, dok se drugi skidaju po obavljanju pojedinih procesa izrade integrisanog kola ili komponente.

## Tanki sloj koji se deponuje mora imati sledeće karakteristike:

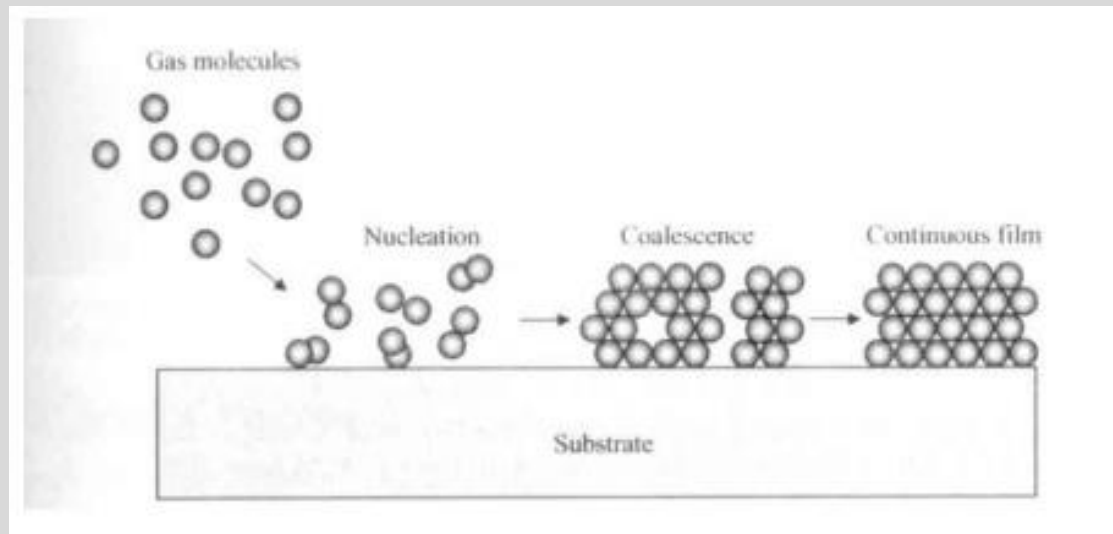
- dobro pokrivanje strmih otvora na površini pločice (konformno pokrivanje),
- pokrivanje otvora koji imaju veliki odnos aspekta (visine i širine);
- uniformnu debljinu;
- visoku čistoću;
- kontrolisan sastav;
- dobru strukturu;
- dobre električne osobine;
- dobro prijanjanje (adheziju) za podlogu.

Sve tehnike depozicije mogu se klasifikovati na:

- tehnike fizičke depozicije (bez hemijskih procesa) -PVD
- • tehnike hemijske depozicije (pomoću hemijskih reakcija ili termičke dekompozicije)- CVD

Postupak depozicije se sastoji iz nekoliko faza:

- 1. nukleacija atoma koji se deponuju, pri čemu se stvaraju klasteri jezgara;
- 2. aglomeracija (sjednjavanje) formiranih klastera, što predstavlja rast ostrva;
- 3. aglomeracija ostrva u kontinualni sloj.

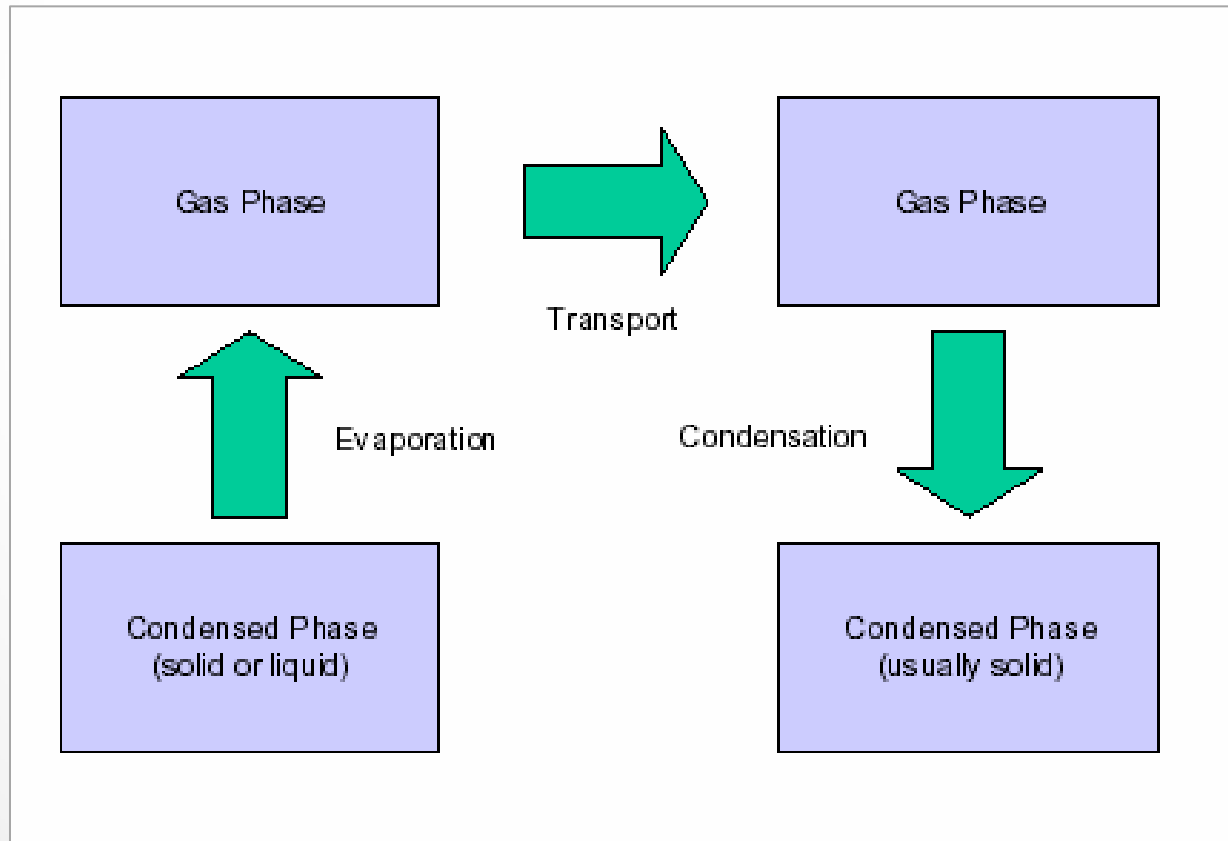


Depozicijom se mogu formirati tanki slojevi dielektrika i metala.



# PVD (Physical Vapor Deposition) procesi

- Vrste PVD procesa:
  - Termičko napačavanje
  - Spaterovanje



# PVD (Physical Vapor Deposition) procesi

- Najčešće metode depozicije fizičkim napaaranjem (PVD) metala su isparavanje, isparavanje elektronskog snopa, depozicija plazmom i spaterovanje (raspršivanje).
- Metale i jedinjenja metala kao što su Ti, Al, Cu, TiN i TaN mogu se deponovati PVD-om.
- Isparavanje se javlja kada se izvorni materijal zagreva iznad tačke topljenja u evakuisanoj komori.
- Ispareni atomi potom putuju sa velikom brzinom u pravim putanjama. Izvor se može otapati otpornim grejanjem, putem rf grejanja ili sa fokusiranim elektronskim zrakom.
- Isparavanje i elektronsko zračenje su korišćene opsežno u ranijim generacijama integriranih kola, ali su ih zamenili spaterovanjem za ULSI strujna kola.



# Termičko naparavanje

- Materijal za depoziciju prevodi se u gasovito stanje grejanjem
- Proces se izvodi u visokom vakuumu ( $\sim 5 \times 10^{-7}$  tor) da bi se izbegla kontaminacija
- Prednosti:
  - Velika brzina depozicije (0.5 mm/min)
  - Atomi niskih energija ( $\sim 0.1$  eV) ne oštećuju površinu supstrata
  - Nije potrebno grejanje supstrata
- Nedostaci:
  - Loše prekrivanje stepenika
  - Varijacije debljine deponovanog materijala kod velikih supstrata
  - Oštećenja izazvana X-zracima



# Termičko napačavanje

- Mehanizmi zagrevanja:
  - **Otporno zagrevanje** ladjice sa materijalom koji treba deponovati



- Najčešći materijali za grejače: W (3410°C), Ta (2996°C) i Mo (2670°C)
  - Potencijalni problem: reakcija sa materijalom ladjice
- **Zagrevanje snopom elektrona**
  - Materijal za depoziciju se bombarduje elektronima
  - Generišu se X-zraci koji oštećuju substrat/komponentu
- **Induktivno zagrevanje** materijala za depoziciju
  - Usled gubitaka vihornih struja





# Termičko napačavanje

- Otporno zagrevanje:
  - Najjednostavniji i široko zastupljen metod
  - Koristi se za temperature do 1800°C
  - Supstrati se izlažu vidljivom i IR zračenju
  - Tipična brzina depozicije 0.1-2 nm/s
  - Materijali koji se mogu deponovati:
    - **Au, Ag, Al, Sn, Cr, Sb, Ge, In, Mg, Ga**
    - **CdS, PbS, CdS, NaCl, KCl, AgCl, MgF<sub>2</sub>, CaF<sub>2</sub>, PbCl<sub>2</sub>**



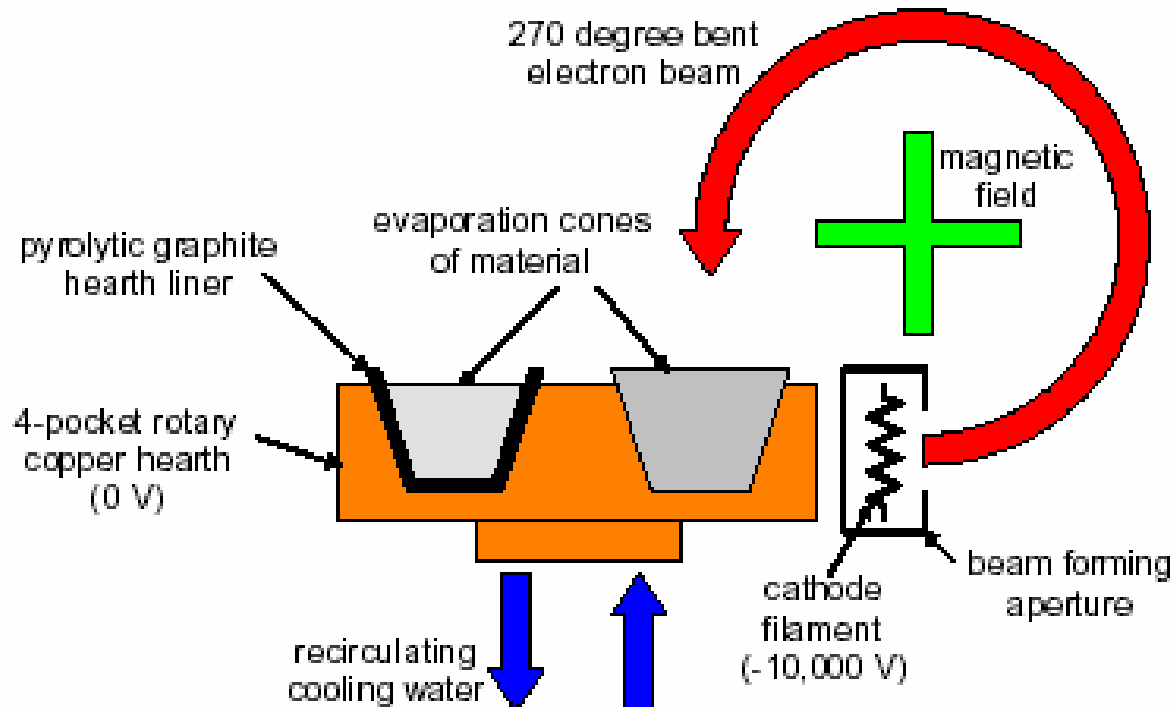
# Termičko napačevanje

- Zagrevanje snopom elektrona:
  - Složeniji metod
  - Koristi se za temperature preko 3000°C
  - Tipični emisijski naponi 8-10 kV
  - Supstrati se izlažju zračenju sekundarnih elektrona i X-zraka
  - Tipična brzina depozicije 1-10 nm/s
  - Materijali koji se mogu deponovati:
    - **Svi koji se deponuju otpornim zagrevanjem**
    - Ni, Pt, Ir, Rh, Ti, V, Zr, W, Ta, Mo
    - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO, SiO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>



# Termičko napačevanje

- Zagrevanje snopom elektrona:





# Termičko naparavanje

- **Adsorpcija:**
  - **Adsorpcija** je proces pričvršćavanja čestica (atoma ili molekula) za supstrat
  - **Fizisorpcija:**
    - Molekul koji udara u substrat gubi kinetičku (toplotnu) energiju. Zbog manje energije molekul ne može da preskoči prag energije potreban za njegovo oslobađanje
  - **Hemisorpcija:**
    - Molekul koji udara u supstrat gubi kinetičku energiju tako što se odvija hemijska reakcija kojom se formira hemijska veza između molekula i drugih atoma supstrata



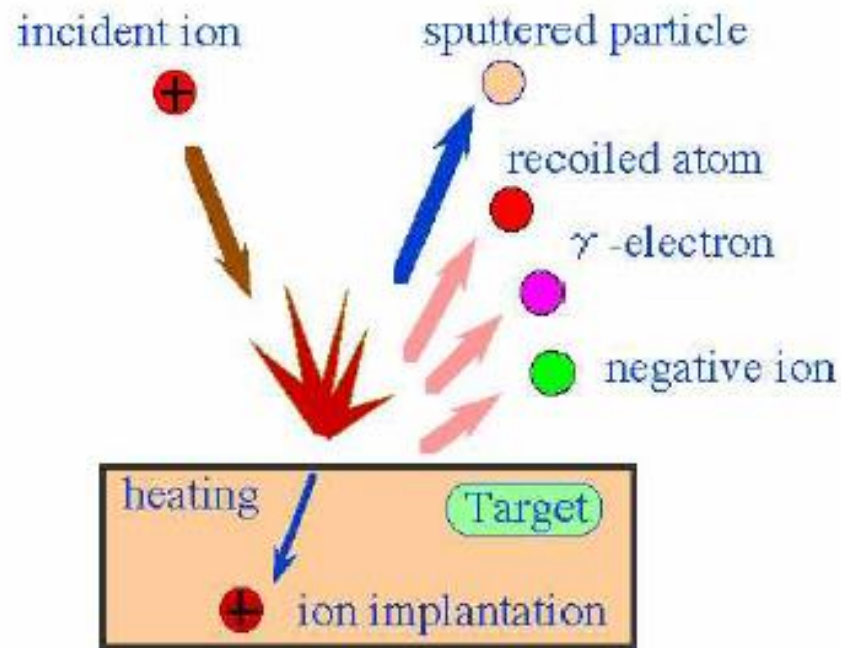
# Spaterovanje

- Za dislokaciju atoma sa površine izvora materijala za deponovanje koriste se joni velikih energija
- Može se deponovati bilo koji materijal
- Proces se izvodi u niskom-srednjem vakuumu (~ 10 tor)
- Prednosti:
  - Uniformna debljina deponovanog filma po celoj površini supstrata čak i kada su oni veliki
  - Laka kontrola debljine filma merenjem vremena
  - Laka depozicija legura
  - Dobro prekrivanje stepenica
  - Bez oštećenja X-zracima

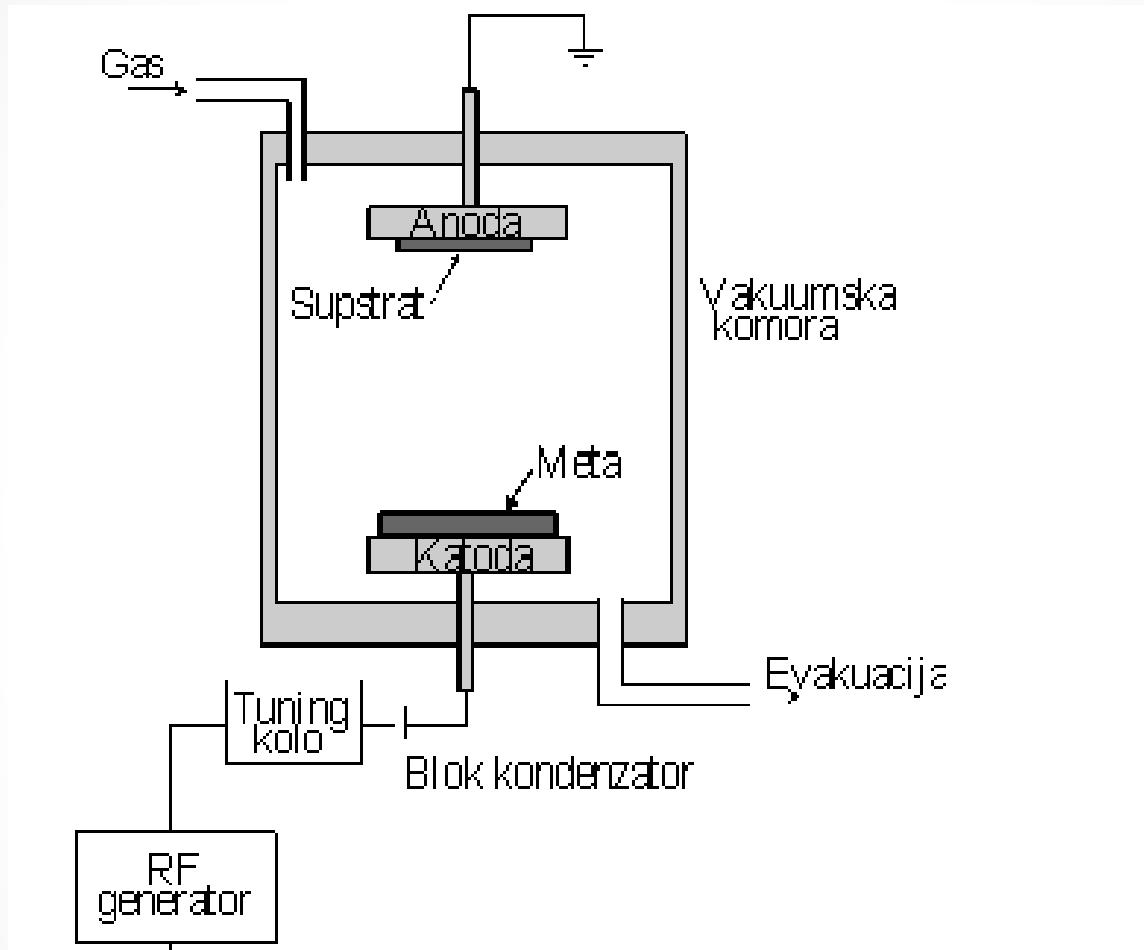


# Spaterovanje

- Šta je spaterovanje?
  - Incidentne jone visokih energija generiše plazma
    - Magnetno polje se koristi za ograničavanje plazme, električno polje za ubrzanje čestica
    - DC plazma za metale
    - Rf plazma za dielektrike



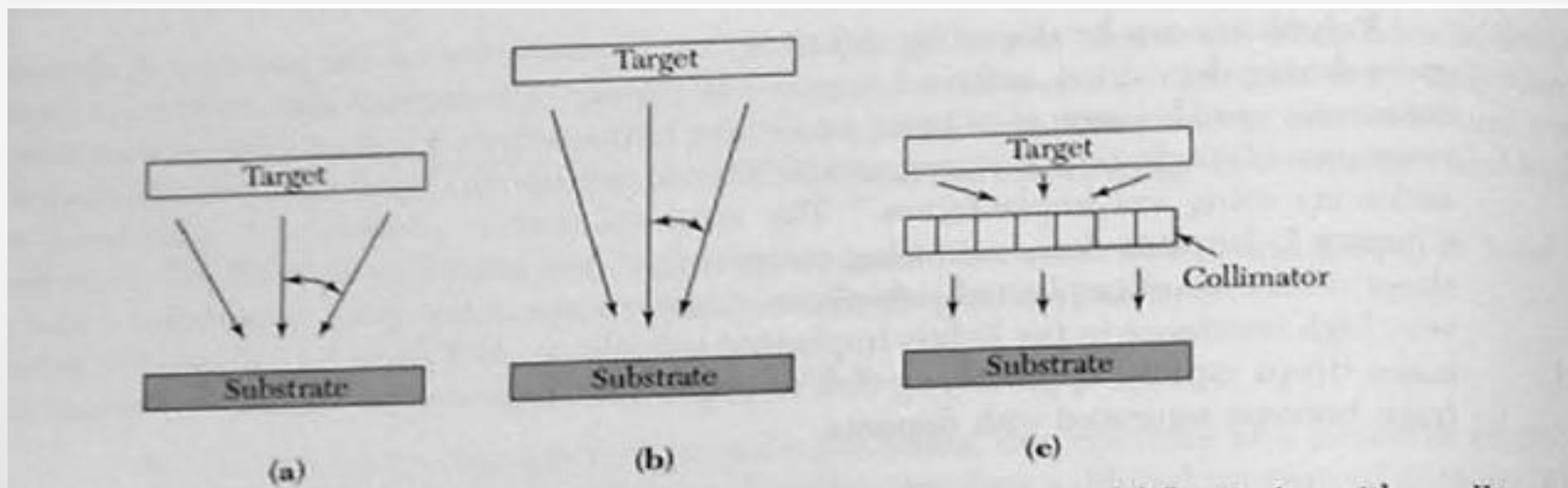
# Spaterovanje (katodno raspršivanje)



Šematski prikaz rf sistema za spaterovanje.

# Spaterovanje

- U raspršivanju jonskog snopa, izvor jona ubrzava se prema meti i udara na njenu površinu.
- Jonska struja i energija se mogu samostalno prilagoditi.
- S obzirom da se meta i vejfer nalaze u komori koja ima niži pritisak, više materijala za ciljanje i manje zagađenje prenose se na vejfer.

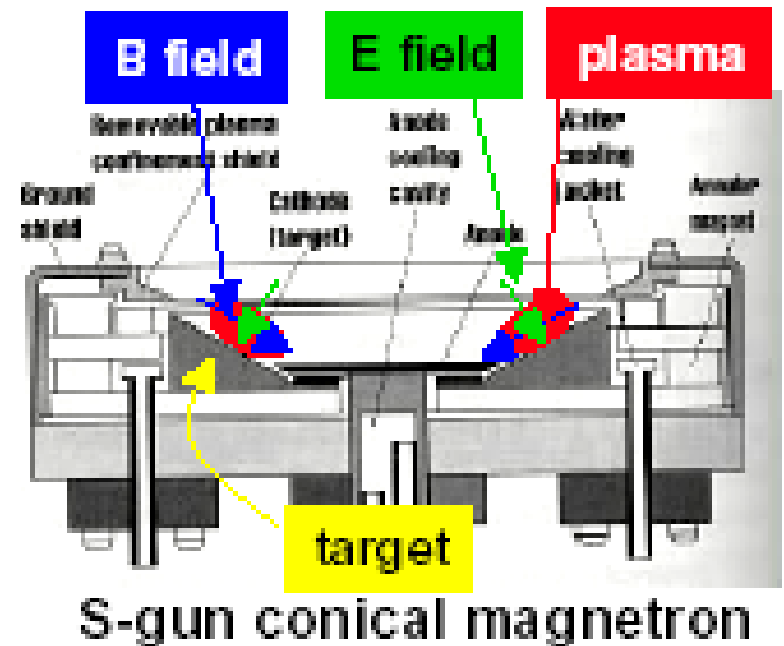
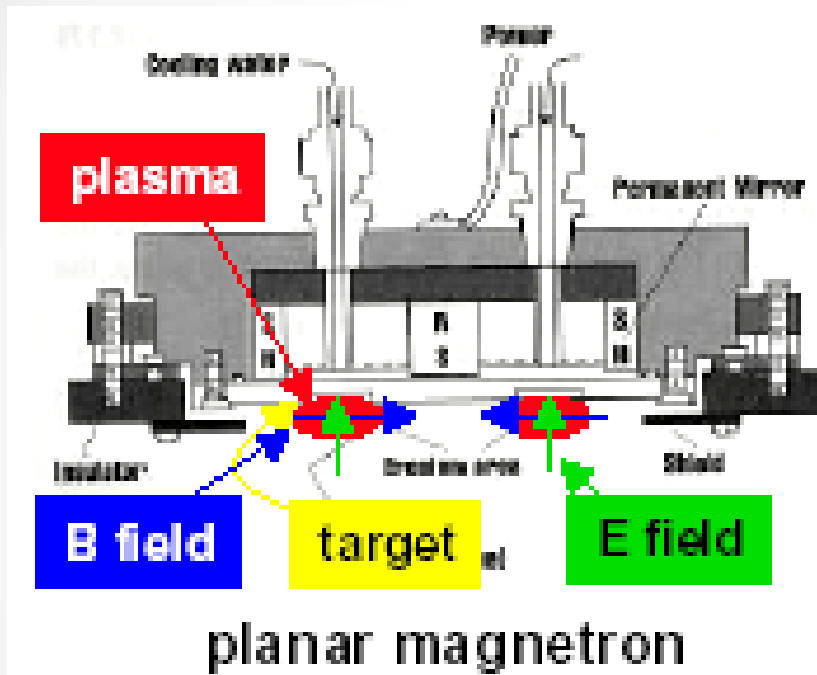


(a) Standardno spaterovanje, (b) Magnetron spaterovanje, (c) Spaterovanje sa kolimatorom





# Spaterovanje



- **Nedostaci:**

- Brzina depozicije nekih materijala je suviše mala
- Organski materijali degradiraju zbog bombardovanja jona
- Laka ugradnja nečistoća zbog niskog-srednjeg vakuuma



# CVD (Chemical Vapor Deposition) procesi

- **Osnovno obeležje:** hemijska reakcija gasovitih reaktanata
  - Pritisak: atmosferski - 50 mTora
  - Pobuda reakcije:
    - Termička: T u opsegu 100 – 1000°C
      - Pri višim temperaturama povećava se migracija i pokretljivost molekula reaktanata na površini supstrata
    - Plazmom
    - Optička
- **Materijali:**
  - SiO<sub>2</sub>
  - Polikristalni Si (poli)
  - Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>
  - Metali
  - Fosfosilikatna, borosilikatna, borofosfosilikatna stakla (PSG, BSG, BPSG)



## Vrste CVD procesa

- **APCVD** - Atmospheric Pressure CVD
- **LPCVD** – Low Pressure CVD
- **PECVD** – Plasma Enhanced CVD

## Koraci CVD procesa

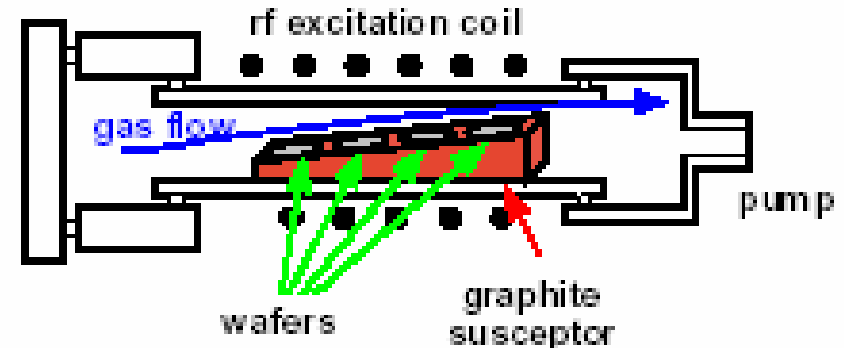
- Uvodjenje gasova u reaktor
- Kretanje molekula gasova ka supstratu
- Adsorpcija reaktanata na supstratu
- Formiranje filma putem hemijske reakcije
- Desorpcija i izvodjenje gasova produkata reakcije



# Osnovne konfiguracije CVD reaktora

- Reaktori sa vrućim zidovima
  - **Zagreva se ceo sistem**
    - Termička pobuda reakcija
    - Pritisak:
      - Atmosferski: veća brzina depozicije
      - Nizak (LPCVD): manja brzina depozicije, bolja uniformnost filma
    - Pobuda reakcija plazmom (PECVD)
- Reaktori sa hladnim zidovima
  - **Zagreva se samo supstrat:**
    - otporno ili induktivno

- **horizontal tube reactor**



- **parallel plate plasma reactor**

