



# Tehnologije mikrosistema

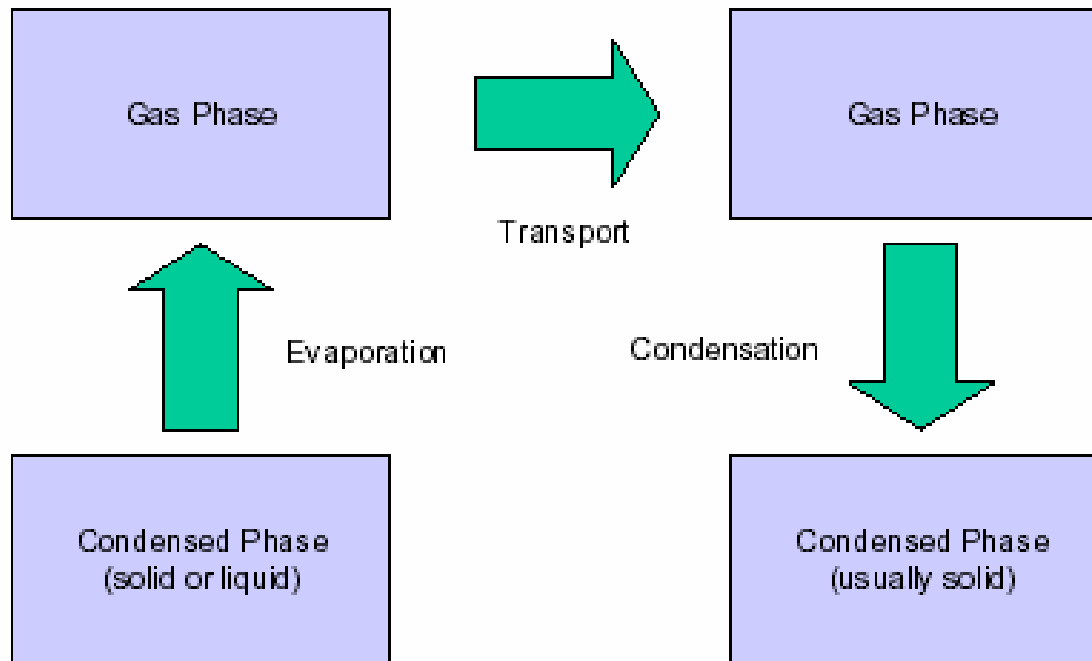
**Prof. dr Biljana Pešić**

**Prof. dr Dragan Pantić**



# PVD (Physical Vapor Deposition) procesi

- **Vrste PVD procesa:**
  - **Termičko napačavanje**
  - **Sputerovanje**





# 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 ( $0.5 \mu\text{m}/\text{min}$ )
  - Atomi niskih energija ( $\sim 0.1 \text{ eV}$ ) ne oštećuju površinu supstrata
  - Nije potrebno grejanje supstrata
- Nedostaci:
  - Loše prekrivanje stepenika
  - Varijacije debljine deponovanog materijala kod velikih supstrata
  - Oštećenja izazvana X-zracima



# Termičko naparavanje

- **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 naparavanje

- **Otporno zagrevanje:**
  - Najednostavnejši 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>**



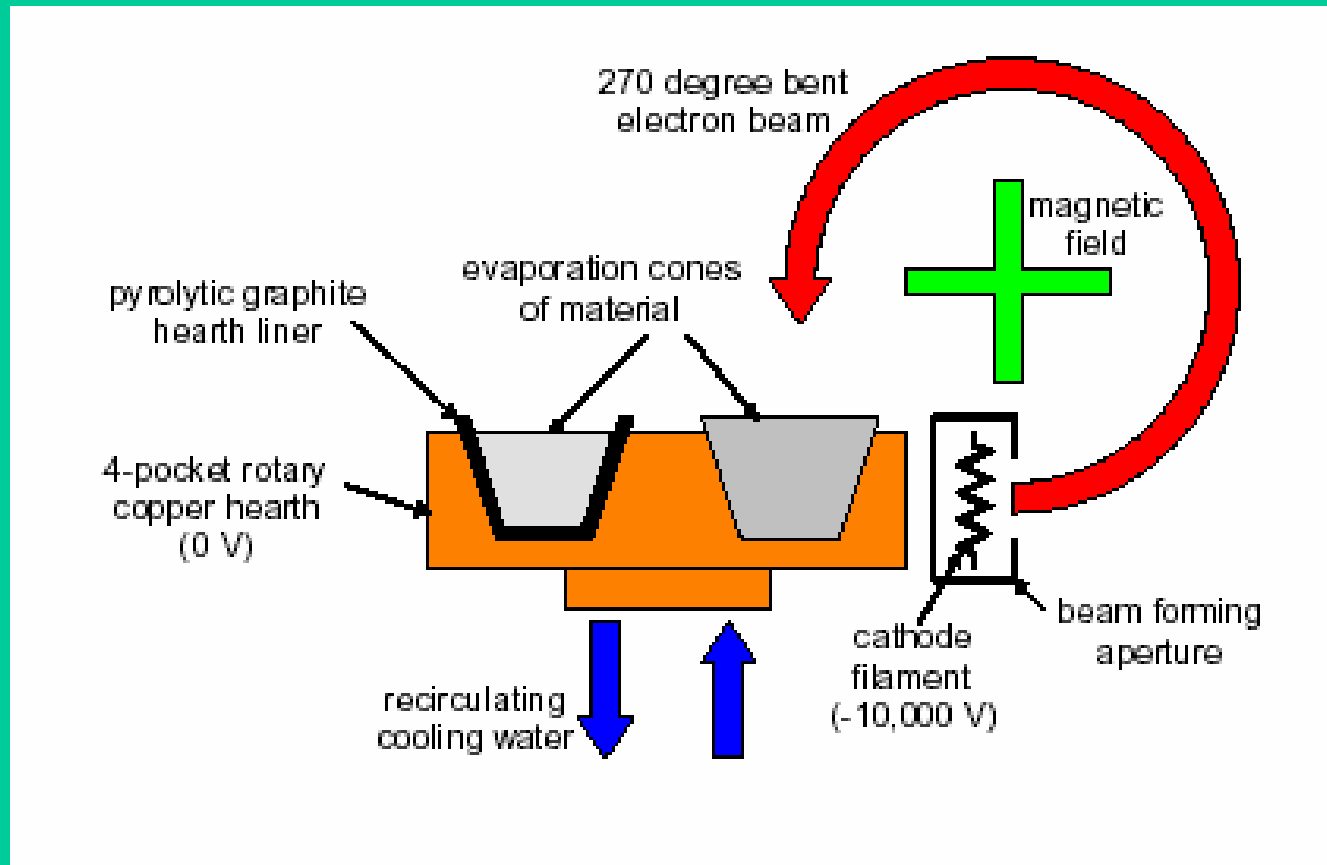
# Termičko naparavanje

- Zagrevanje snopom elektrona:
  - Složeniji metod
  - Koristi se za temperature preko 3000°C
  - Tipični emisijski naponi 8-10 kV
  - Supstrati se izlažajo zračenju sekundarnih elektronov in X-zrakam
  - Tipična brzina depozicije 1-10 nm/s
  - Materijali, ki se lahko deponirajo:
    - Svi, ki se deponirajo s topnim 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 naparavanje

- Zagrevanje snopom elektrona:





# Termičko neparavanje

- **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





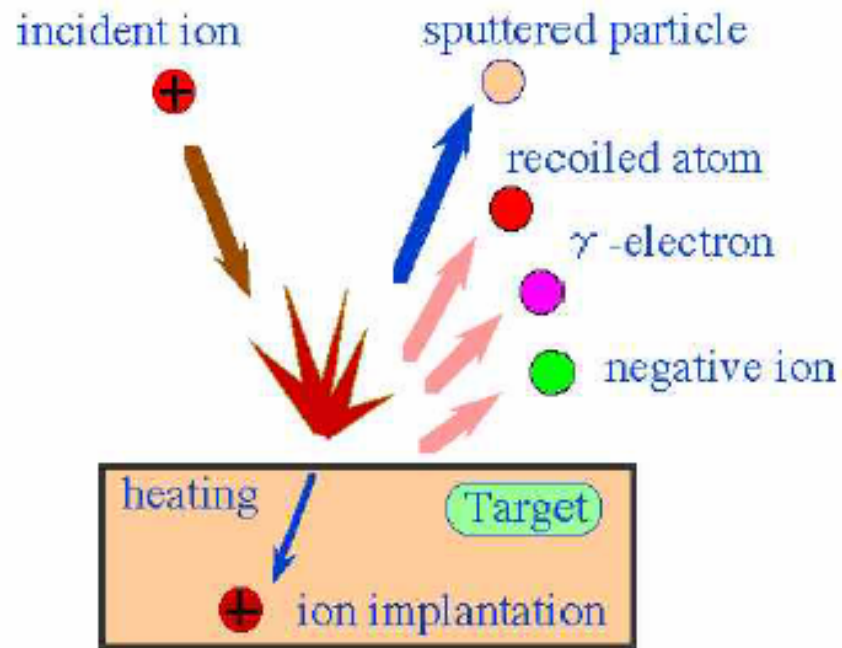
# Spaterovanje

- 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 ( $\sim 10$  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



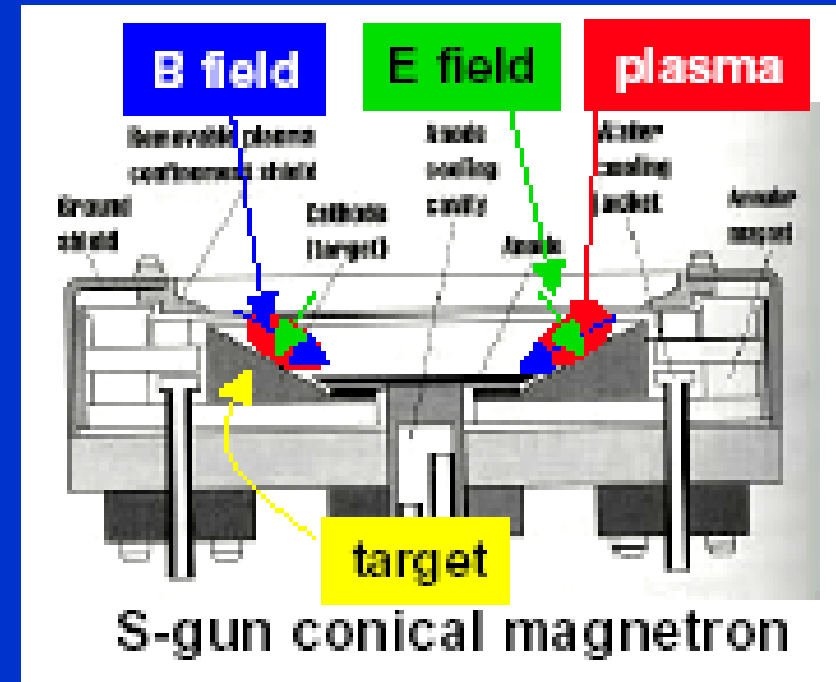
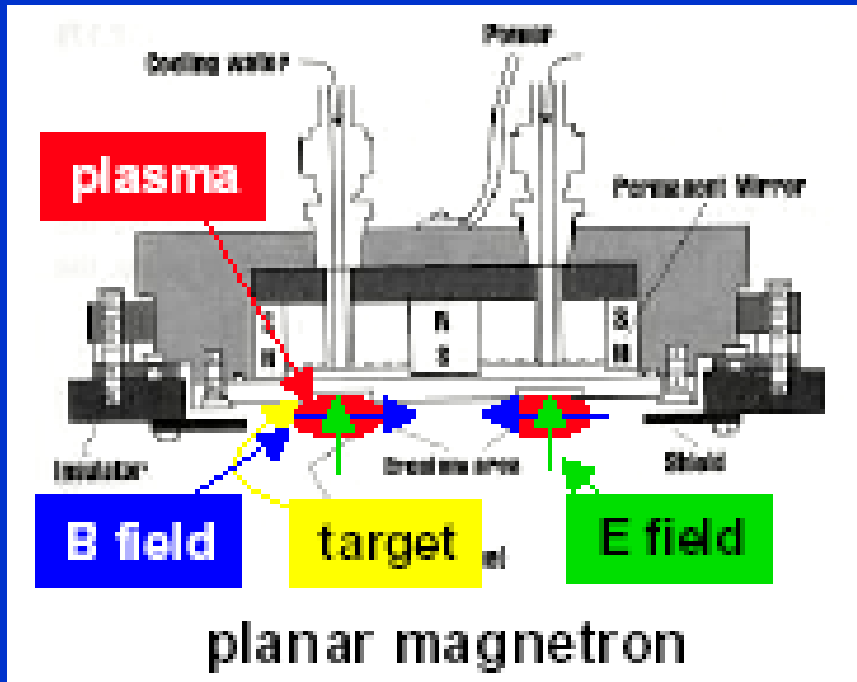
# Spaterovanje

- 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



- Nedostaci:

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