

# PVD (Physical Vapor Deposition)

1차시

Evaporator 원리 및 기초

대전대학교 에너지신소재공학과  
**김경남** 교수



# 학습 내용

- ✓ PVD (Physical Vapor Deposition)
- ✓ Evaporator



# 01 | PVD (Physical Vapor Deposition)

## » 진공증착이란?

- 진공중에서 물질을 가열하여 증발시킴으로써 그 증기를 기판 위에 응축시켜 박막을 제작하는 방법임.  
→ 포화증기압을 이용하는 것. 온도가 올라가면 포화증기압은 증가하고, 압력이 커지면 감소함.

## » 포화증기압이란?

- Saturation vapor pressure라고 하며 포화상태의 수증기압을 말함. 이 상태에서는 액체가 증기로 되는 속도와 증기가 액체로 되는 속도가 같아서 액체 상태와 증기 상태가 동적 평형을 이루게 됨.



## » Hertz

- **measured the vaporization (evaporation) rate of Hg(mercury) at various pressures**
  - evaporation rate was proportional to the differences between equilibrium vapor pressure  $P_e$  of the evaporant at a given T and hydrostatic pressure  $P_h$  applied to the evaporant.

## » 증발원의 단위면적, 단위시간당 증발속도

- **mass evaporation rate :**

$$\Gamma_e = 5.8 \times 10^{-2} \sqrt{\frac{M}{T}} P_e \frac{g}{cm^2 \cdot sec}$$

the key variable affecting the evaporation rate is "**Temperature**"

- ✓ 진공증착
- ✓ PVD – Thermal Evaporator

# PVD (Physical Vapor Deposition)

2차시

Evaporator System

대전대학교 / 에너지신소재공학과  
**김경남** 교수



# 학습 내용

- ✓ PVD (Physical Vapor Deposition)
- ✓ Evaporator 원리
- ✓ Evaporator 증착 특성 및 특징



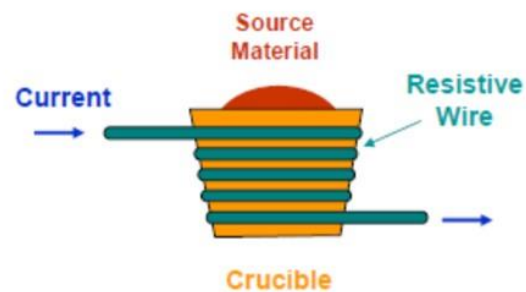
# 01 | PVD (Physical Vapor Deposition)

## » Physical methods

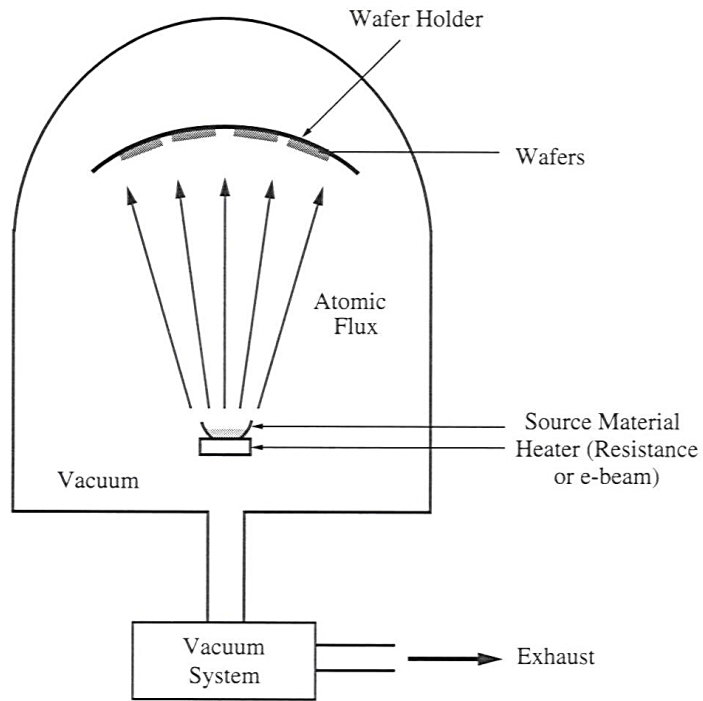
- **Physical methods produce the atoms that deposit on the substrate**
  - Evaporation
  - Sputtering
- **Sometimes called vacuum deposition because the process is usually done in an evacuated chamber**
  - PVD is used for metals.
  - Dielectrics can be deposited using specialized equipment



- Rely on thermal energy supplied to the crucible or boat to evaporate atoms
- Evaporated atoms travel through the evacuated space between the source and the sample and stick to the sample
  - Few, if any, chemical reactions occur due to low pressure
  - Can force a reaction by flowing a gas near the crucible
- Surface reactions usually occur very rapidly and there is very little rearrangement of the surface atoms after sticking
  - Thickness uniformity and shadowing by surface topography, and step coverage are issues

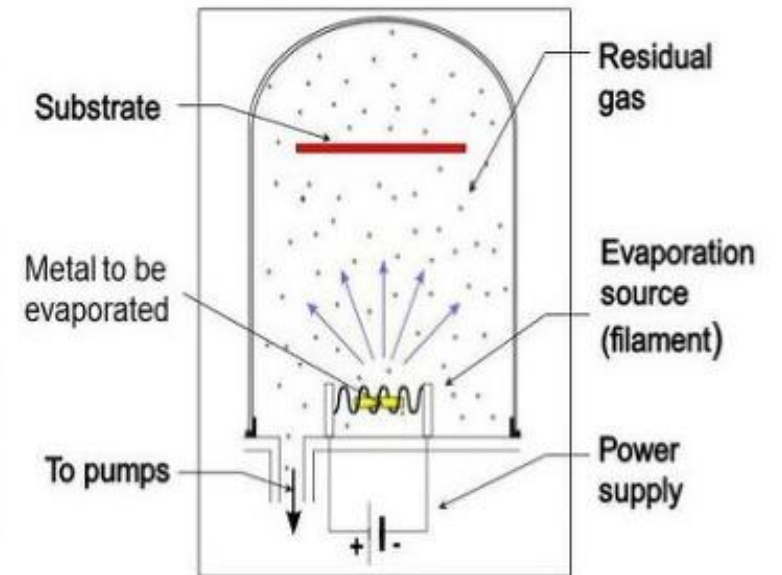


## 02 | PVD : Evaporation

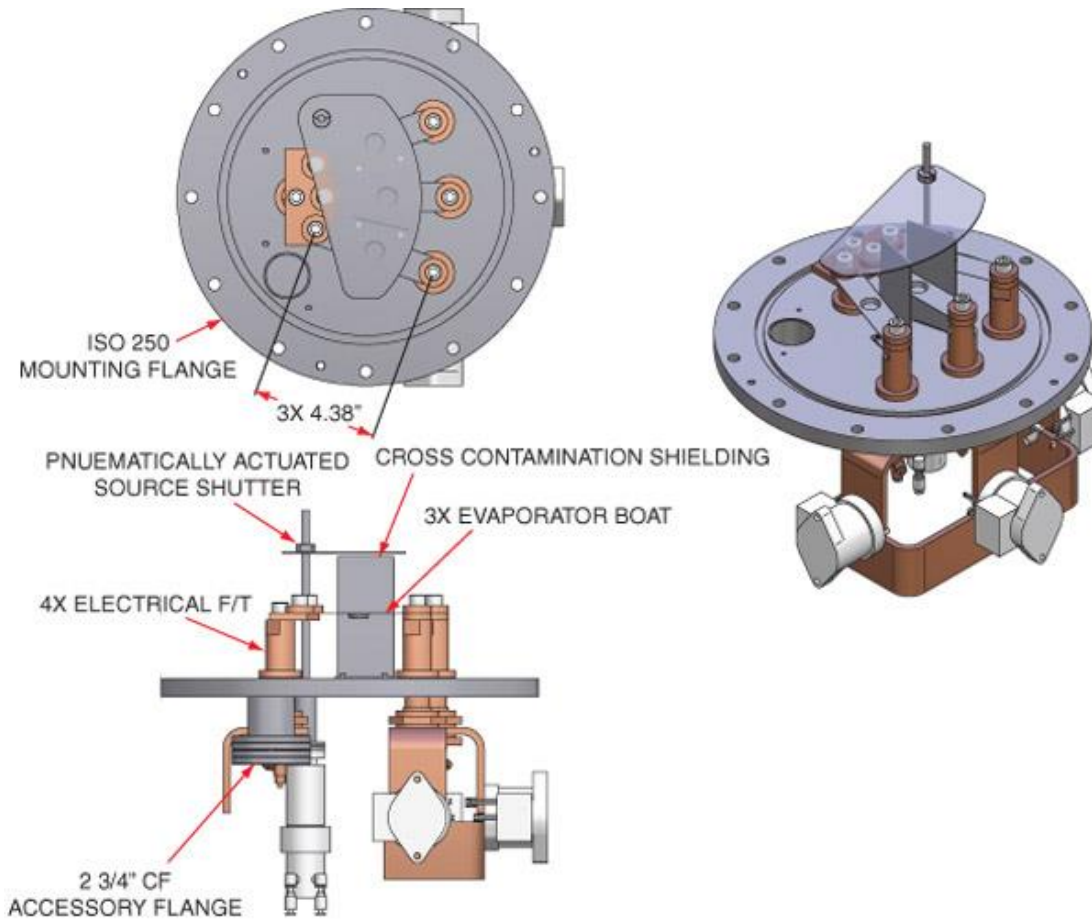


Schematic diagram of evaporation equipment.

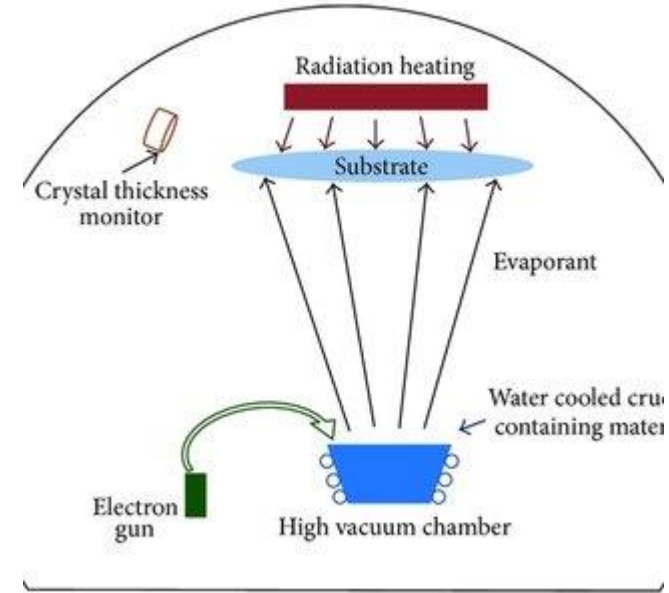
### THERMAL EVAPORATION

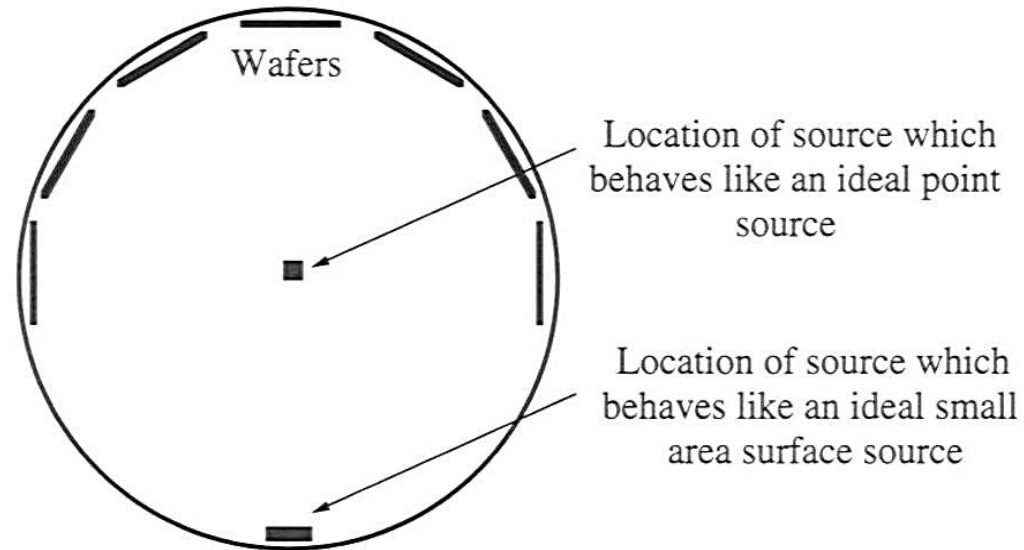


## 02 | PVD : Evaporation



[http://www.lesker.com/newweb/Deposition\\_Sources/ThermalEvaporationSources\\_Resistive.cfm](http://www.lesker.com/newweb/Deposition_Sources/ThermalEvaporationSources_Resistive.cfm)



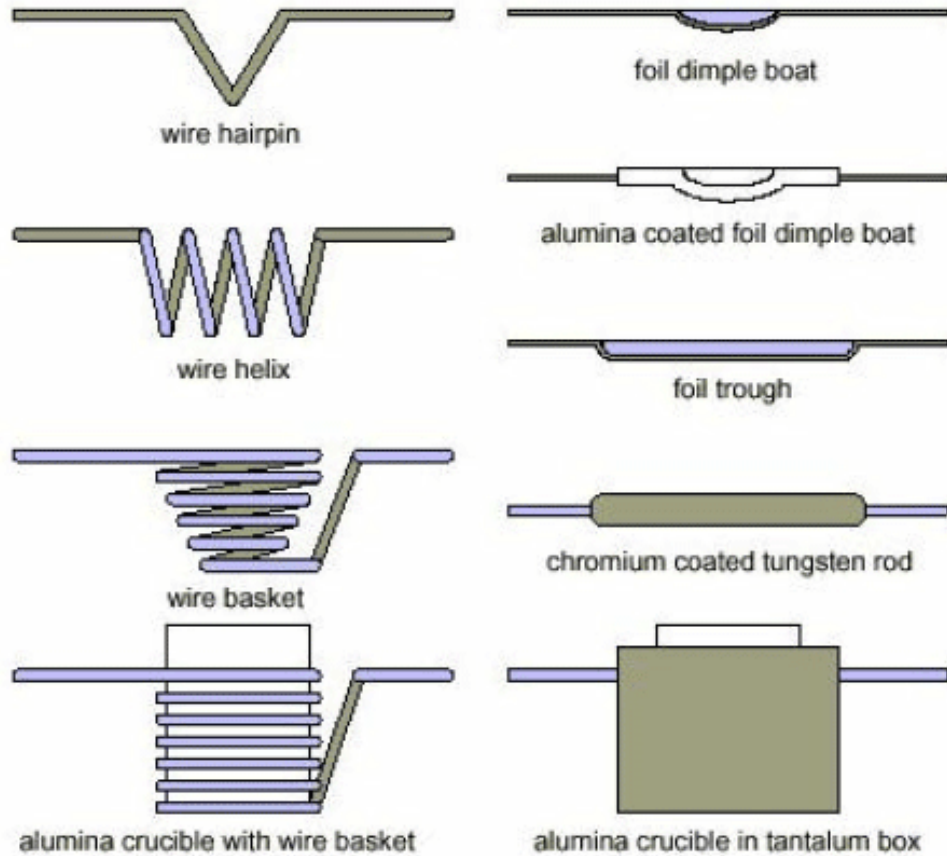


**Figure 9-18** Positions of wafers and sources to achieve uniform deposition in evaporation system on all the wafers. Most evaporation sources behave more like a small area surface source and are in that configuration.

- **At sufficiently low pressure and reasonable distances between source and wafer, evaporant travel in straight line to the wafer**
  - Step coverage is close to zero
  - If the source is small, we can treat it as a point source
  - If the source emission is isotropic, it is easy to compute the distribution of atoms at the surface of the wafer

- **Wafer holders that rotate wafer position during deposition to increase film thickness uniformity across wafer and from one wafer to another.**
  - Wobbling wafer holders increase step coverage

### 1 저항가열 증발원

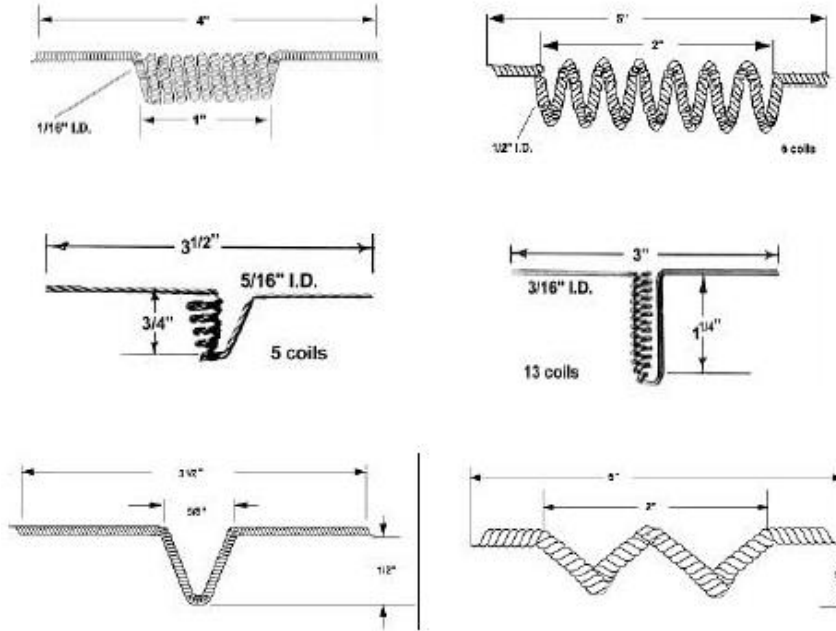


- 저항가열 증발원이란 말 그대로 저항이 비교적 큰 가열원에 전류를 흘려 가열시킴에의해 그 안에 담긴 증발물을 증기화 시키는 것
- 내화 금속(W, Ta, Mo등)이나 흑연 그리고 금속간 복합 화합물(TiB<sub>2</sub>-BN) 등의 재료를 필라멘트나 보우트 또는 도가니 형태로 사용
- 이들을 이용하면 융점이 낮고 반응이 낮은 금속의 경우는 비교적 용이하게 증발이 가능하며 높은 순도를 가진 피막을 손쉽게 형성시킬 수가 있음



## 1 저항가열 증발원

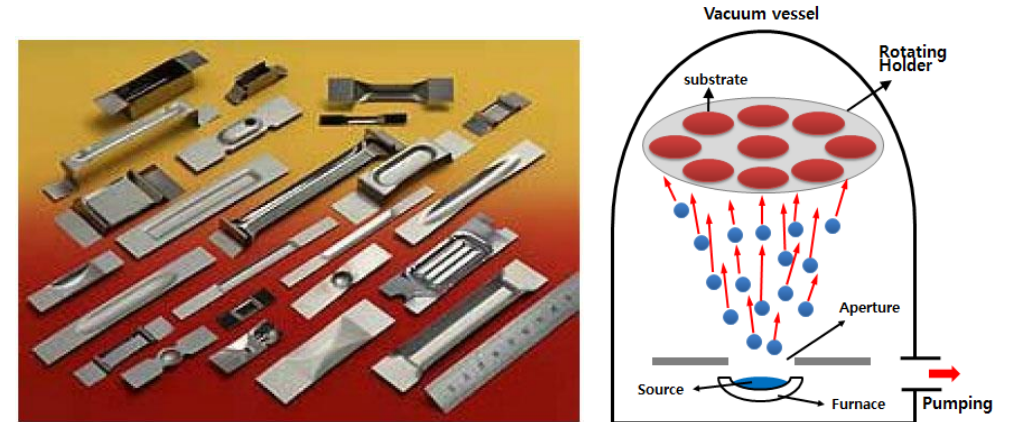
(a) 필라멘트 증발원



- 필라멘트 증발원은 매우 다양한 형태가 개발되어 이용되고 있음.
- 주로 텅스텐 와이어가 이용되며 종종 탄탈륨이나 몰리브덴 등도 이용되고 있음.

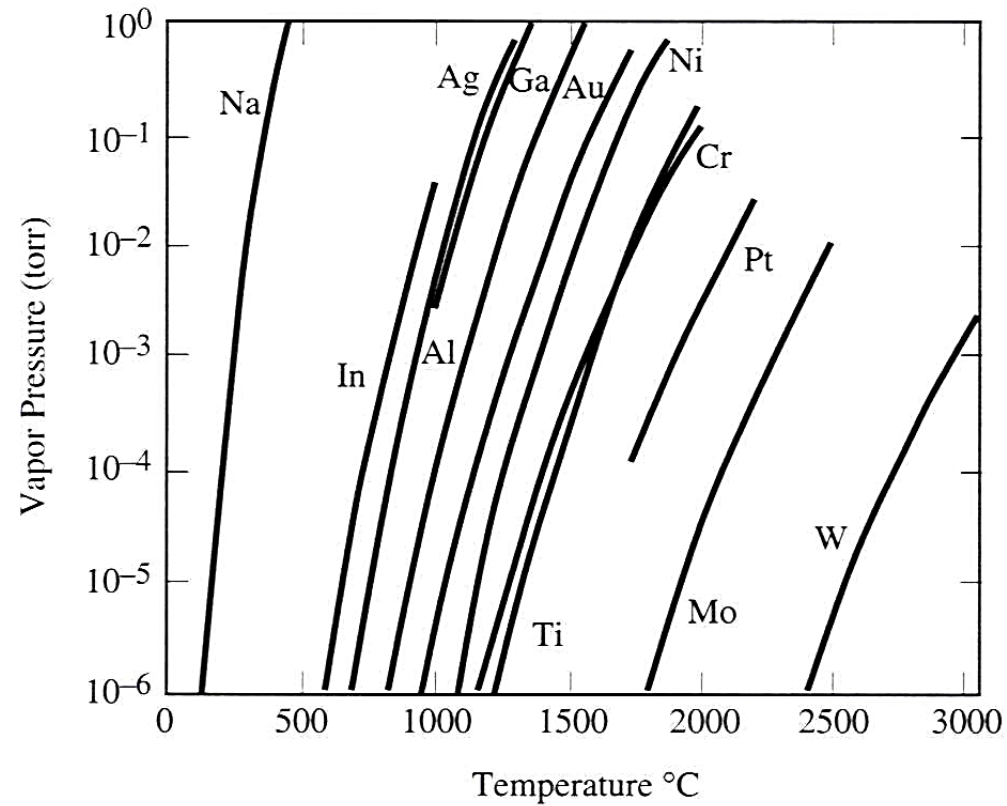
(b) 보우트 증발원

### 일반적인 Evaporator system의 챔버 개략도



- 보우트 증발원은 두께가 0.1mm ~ 0.5mm인 내화물 foil을 보우트 형태로 가공한 것으로 필라멘트에 비해 많은 양의 물질을 증발시킬 수 있음.
- 보우트 증발원은 내화물 금속만을 이용하는 경우가 많으나 경우에 따라서는 증발면에 알루미늄 등을 코팅하여 증발원과 용융금속의 반응을 방지하는 경우도 있음.





**Figure 9-20** Vapor pressure as a function of temperature of commonly evaporated metals. (After [9.10].)

### » Advantages

- Little damage to the wafer
- Deposited films are usually very pure
- Limited step coverage

### » Disadvantages

- Materials with low vapor pressures are very difficult to evaporated
  - Refractory metals
  - High temperature dielectrics
- Limited step coverage
- Film adhesion can be problematic

- **Compounds are also hard to evaporate because the molecular species may be different from the compound composition**
  - Energy provided may be used to dissociate compound.
  - When evaporating  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SiO}$  is deposited, evaporation in a reactive environment (flowing  $\text{O}_2$  gas near crucible during deposition) helps reconstitute oxide.

- **Evaporating alloys is difficult, because of the differing vapor pressures.**
  - Composition of the deposited material may very different from that of the target material
- **The problem can be overcome by**
  - Using multiple e-beams on multiple sources
    - This technique causes difficulties in sample uniformity because of the spacing of the sources
  - Evaporating source to completion (until no material is left)
    - Dangerous to do in e-beam system

- ✓ 진공증착
- ✓ PVD – Thermal Evaporator

# PVD (Physical Vapor Deposition)

3차시

E-Beam Evaporator System

대전대학교 / 에너지신소재공학과  
**김경남** 교수

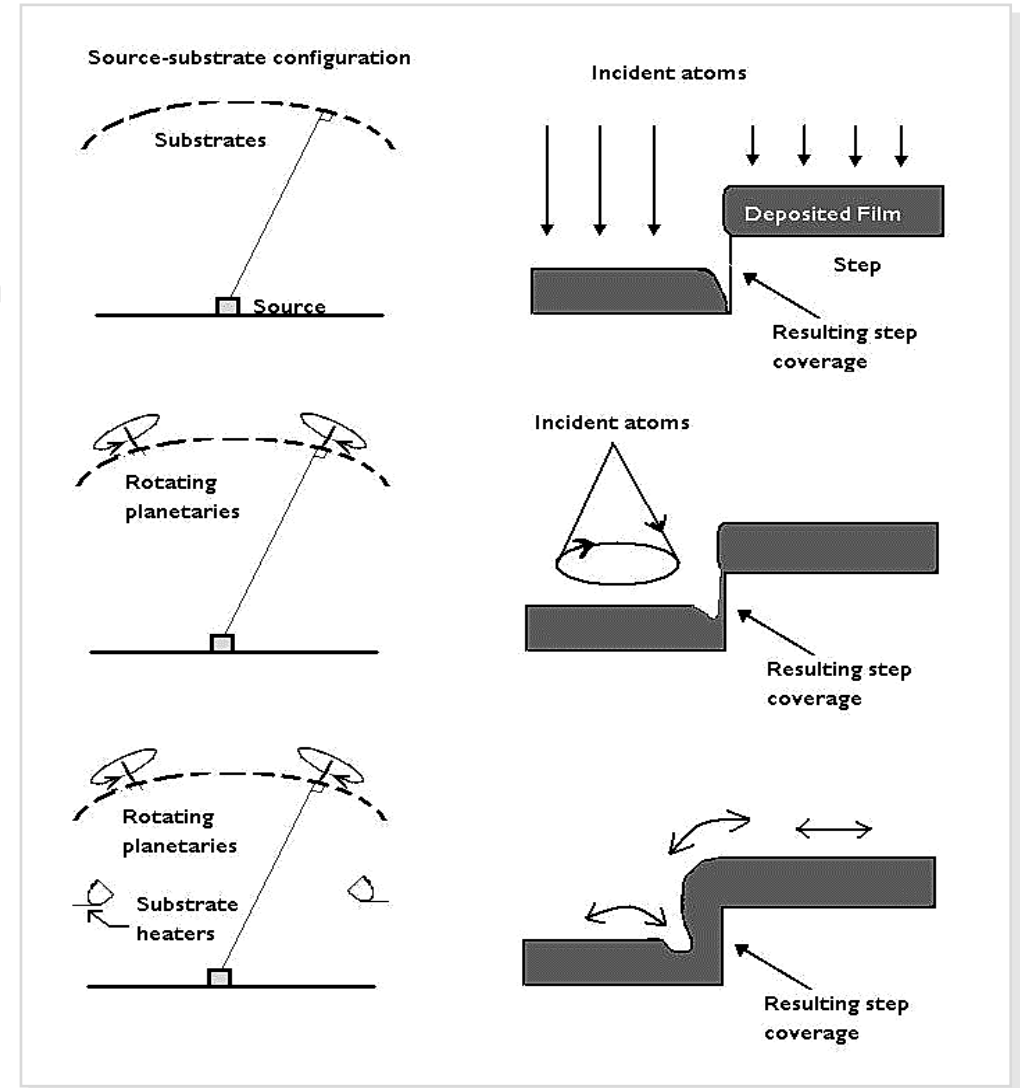


# 학습 내용

- ✓ PVD (Physical Vapor Deposition)
- ✓ Evaporator 원리
- ✓ Evaporator 증착 특성 및 특징



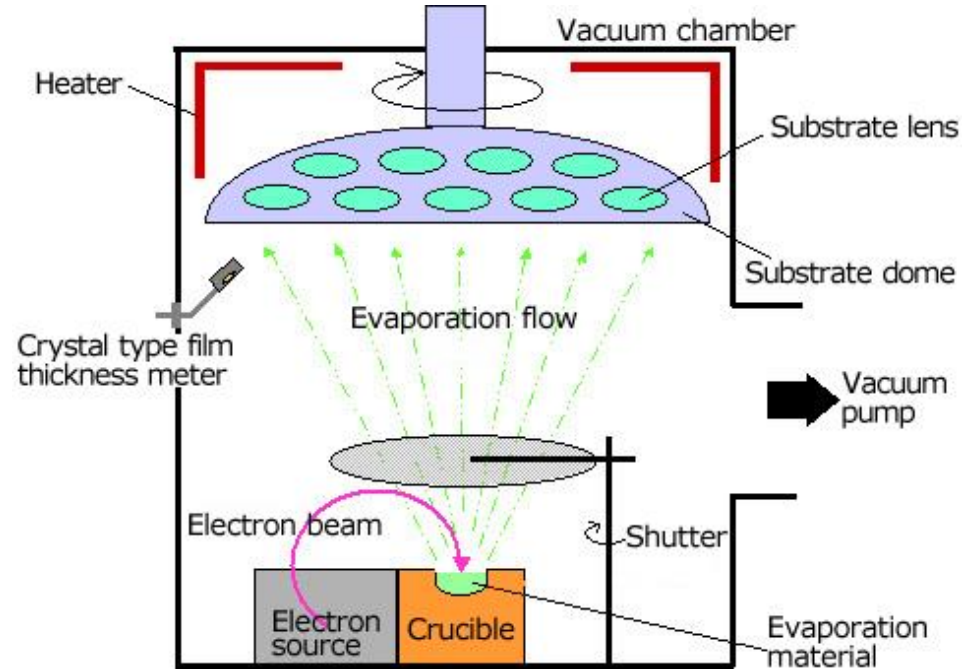
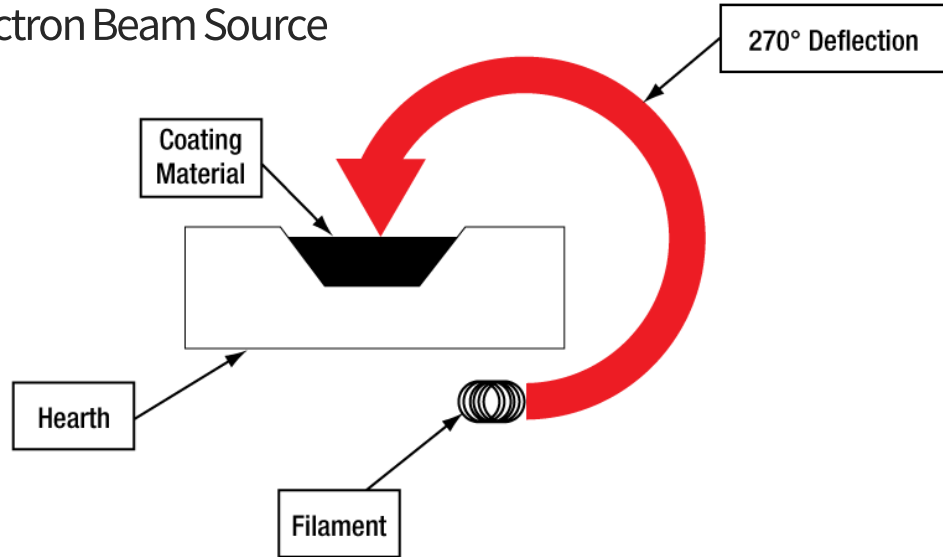
- Evaporation technique is very directional due to the large mean free paths of gas molecules at low pressure.
- Shadowing of patterns and poor step coverage can occur when depositing thin films.
- Rotation of the planetary substrate holder can minimize these effects.
- Heating substrate can promote atom mobility, improve step coverage and adhesion.
- Shadow masking and lift-off are processes where poor step coverage is desirable.





### 1 저항가열 증발원

#### ■ Electron Beam Source



- 이러한 전자빔 증발원은 원리적으로 모든 종류의 물질에 대해 증발이 가능하다는 것이 특징임
- 전자빔은 열전자 방출을 위한 필라멘트와 방출된 전자를 집속하고 크루시블에 조정하기 위해 자기장을 형성하는 자석 그리고 수냉 크루시블 등으로 구성되어 있음
- 음의 고압이 걸린 필라멘트를 가열하면 필라멘트에서 방출된 열전자가 크루시블로 집속되어 크루시블에 담긴 증발물을 증기화시키는 것임

### » Thermal evaporation & E-beam evaporation

<b>Thermal evaporation</b>	Source를 boat에 넣은 상태로 boat에 직접 열을 가하여 증착 물질을 증발 시켜 기판에 증착하는 방식
<b>E-beam evaporation</b>	소스에 E-beam을 조사하면 증착 물질의 표면이 가열되면서 증발이 일어나 기판에 증착하는 방식

## » Thermal Evaporation & E-beam Evaporation과의 차이

	Thermal evaporation	E-beam evaporation
구동 방식	고온에 의한 증착 물질의 증발 증발에 의한 증착이기 때문에 불순물이 극도로 낮아야 해서 고진공 상태 필요	
설비 구조	간단함	E-beam
열원 공급 방식	Boat	E-beam
온도 범위	~ 1800도 (고융점 물질의 증착이 어려운 문제)	~3000도 (녹는점이 높은 산화물도 증착이 가능함)
증착 물질	금속, 저융점 물질	금속, 부도체, 전부가능
Source 개수	Single source	Multi source → 도가니를 회전시키면서 여러 종류를 번갈아가며 증착 시킬 수 있어서 다층 박막 형성에 용이
Co-evaporation	단일 소스를 이용해서 불가능 단일 물질 증착에 적합	e-beam 컨트롤 가능해서 각 물질에 e-beam을 가하여 동시 증착/다중 물질 증착이 가능
증착 제어	온도를 제어하기는 어렵다	E-beam의 파워만 조절하면 돼서 쉽다 e-beam control이 가능하다
증착 속도	빠르다 (evaporation 방식은 증착 속도 빠른 장점)	매우 빠르다
Step coverage	나쁨 (evaporation 방식은 S/C 좋지 않은 단점)	매우 나쁨 (증착 물질이 점원에서부터 등방성으로 확장되기 때문에 벽면에서 증착이 잘 안됨)
오염 issue	Source 외 물질의 증착 오염 발생 위험 (전체적으로 보트를 가열되면서 boat나 설비에서 나오는 불순물 증착의 위험이 있다)	원하는 소스의 표면만 가열해서 증발시키기 때문에, 상대적으로 오염이 적음

### » Electron Beam Evaporator

- <https://www.youtube.com/watch?v=ZN7NZYXGSbk> → informational video
- <https://www.youtube.com/watch?v=hAht2ME2TPI> → training video

### » Thermal Evaporator

- <https://www.youtube.com/watch?v=Z0j8LgP4etY> → informational video

- ✓ 진공증착
- ✓ PVD – E-Beam Evaporator