

# 디스플레이 및 반도체 소재 교과목의 개요 및 관련산업동향

2차시

가스의 유동 및 진공 시스템

대전대학교 에너지신소재공학과  
김경남 교수



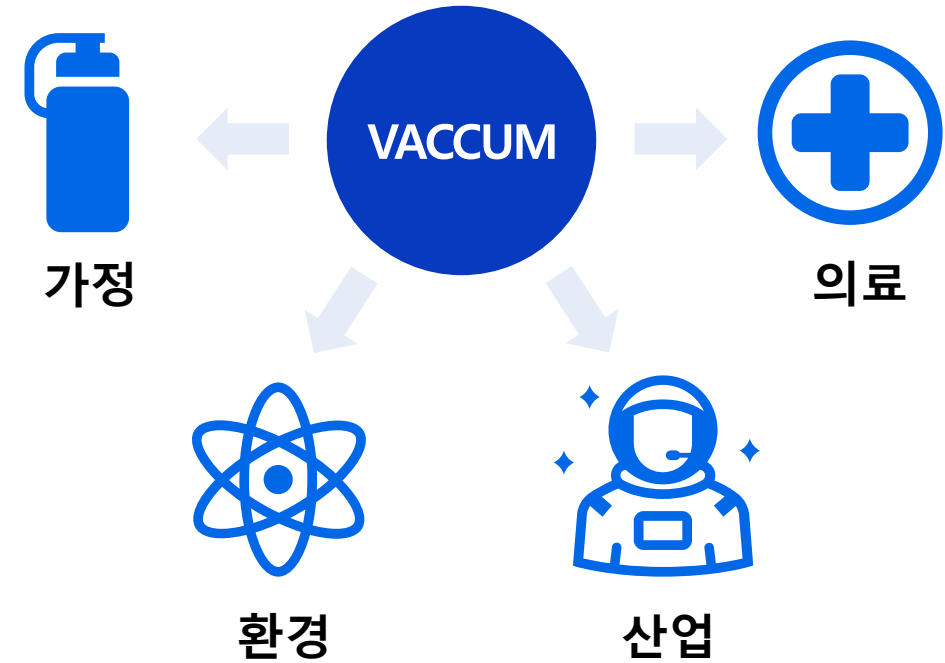
# 학습 내용

- ✓ Vacuum
- ✓ Vacuum System
- ✓ Vacuum Technology - Gas



## » 진공

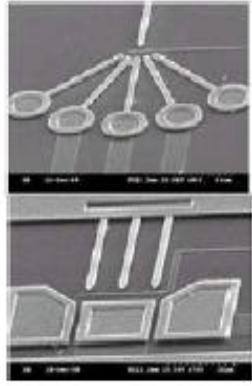
- 진공 (Vacuum)
  - 라틴어로 "vacua " 에서 유래
  - 물질이 전혀 존재하지 않는 공간  
→ 실제로는 불가능한 의미
- 우리주변에서의 진공의 예
  - 진공청소기, 진공팩, 보온병, 흡착판 등



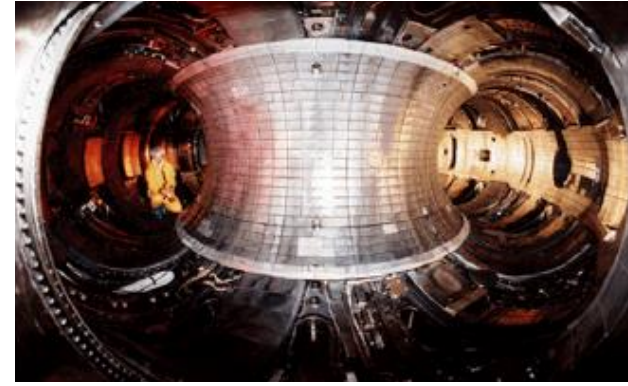
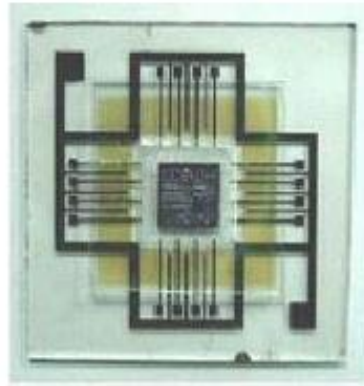
## » 오늘날 진공의 첨단 산업에서의 응용



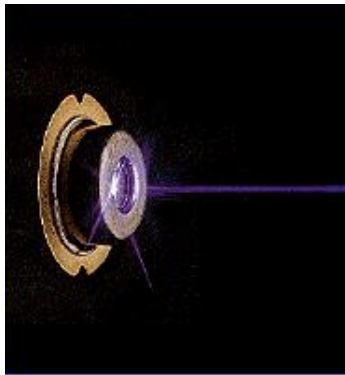
광학렌즈의 목적성 코팅



소자의 packaging



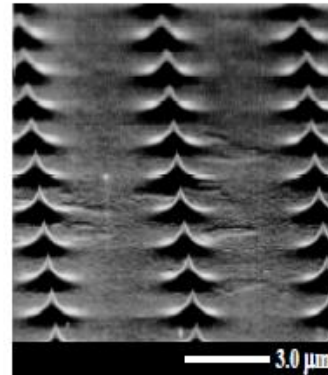
핵융합연구용 토카막장치



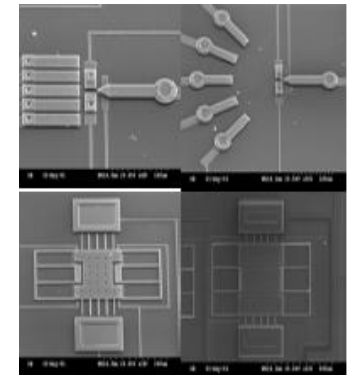
보라색 레이저다이오드



적색 레이저다이오드



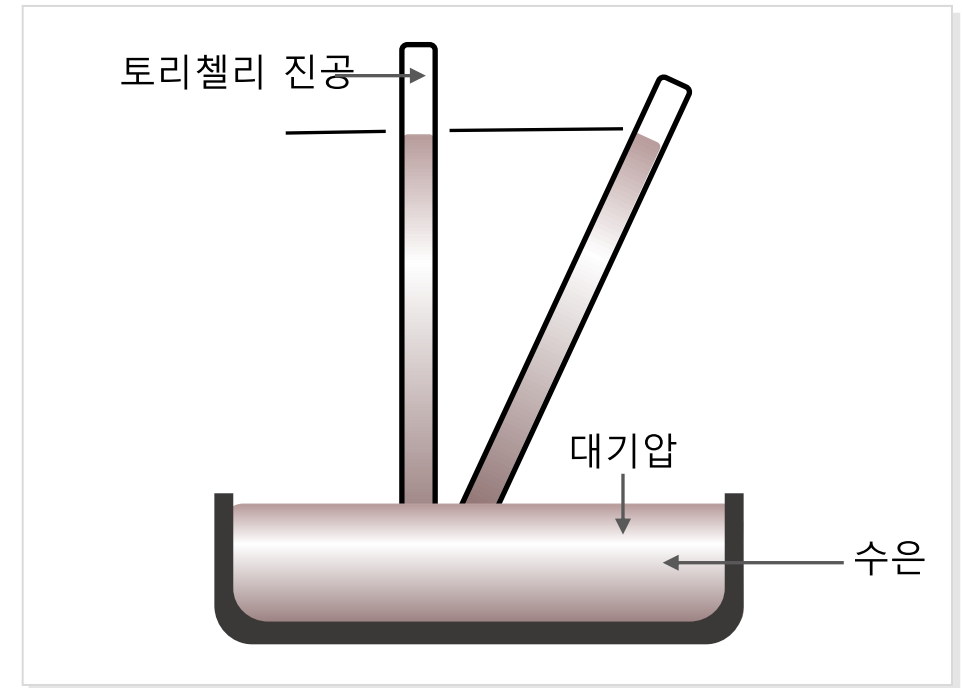
PDP Display 용 tip



MEMS를 이용한 가속도 센서

## » 진공

- **이탈리아 물리학자 토리첼리(Evangelista Torricelli, 1608~1647)**
  - 1643년 대기압을 연구하는 과정에서 수은을 이용하여 최초로 진공 확인  
→ 이를 "토리첼리의 진공"이라고 함
- **토리첼리의 진공 실험**
  - 처음에 유리관을 가득 채우고 있던 수은이 관 아래로 내려오면, 유리관 끝에서 수은 면까지의 공간은 처음에 수은으로 채워졌던 공간이므로, 아무것도 없는 진공이 됨
- **수은의 밀도**
  - 수은의 밀도는  $13.6\text{g}/\text{cm}^3$ 으로 밀도가  $1\text{g}/\text{cm}^3$ 인 물보다 13.6배 무거움



## » 진공

- 독일의 물리학자 게리케(Otto von Guericke, 1602~1686)
  - 1654년 진공 펌프를 만들어 진공 상태에서의 여러 가지 현상과 대기압에 대해 연구
  - 더 나아가 **영국의 화학자 보일(Robert Boyle, 1627~1691)**은 지팡이 모양의 유리관 속에 수은을 넣으면 닫힌 공간에 들어 있는 공기가 압축된다는 것을 발견
  - 공기는 입자와 그 입자가 운동할 수 있는 빈 공간으로 이루어졌다는 것을 발표함으로써, 물질은 원자와 진공으로 이루어졌다는 사실을 확실하게 밝혀냄

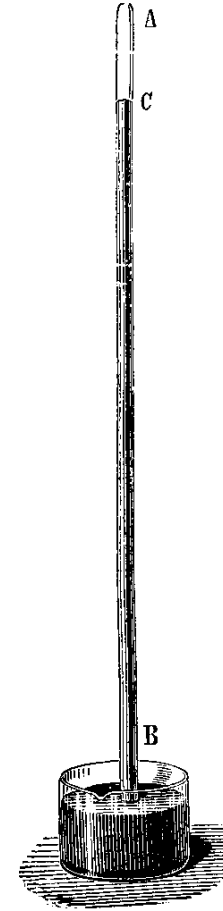


Fig. 275. — Baromètre à cuvette.

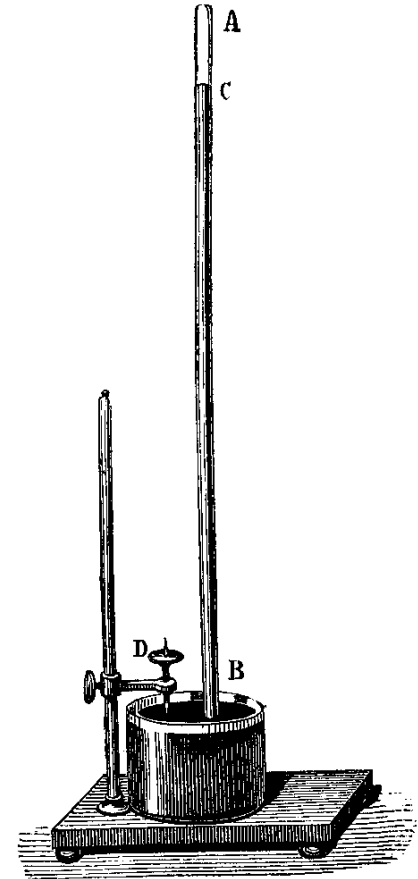
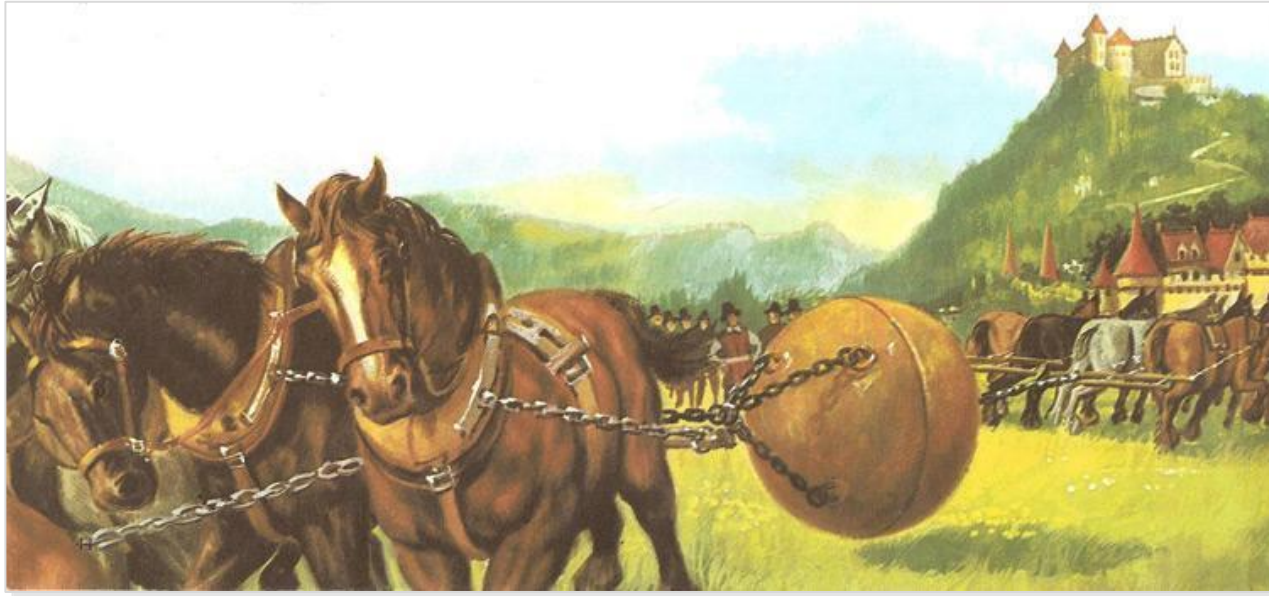


Fig. 276. — Baromètre à cuvette et sa pointe.

사진출처 : <https://sojoong.joins.com/archives/24096>

## » 진공



### • 마그데부르크 반구 실험의

- 공기를 빼내기 전 반구 2개를 맞댄 상태에서는 외부 공기의 압력과 내부 공기의 압력이 같기 때문에 2개의 반구는 쉽게 떨어짐
- 그러나 내부 공기를 모두 빼내면 내부 공기의 압력이 매우 낮아지고 상대적으로 외부 공기의 압력이 매우 높아지기 때문에 반구는 잘 떨어지지 않음
- 실제로 반구를 떼내는 데 양쪽에 8마리씩의 말이 필요했다고 하며, 반구가 떨어지는 순간 주변에서 지켜보던 사람들은 대포를 쏘는 듯한 큰 굉음에 매우 놀랐다고 함



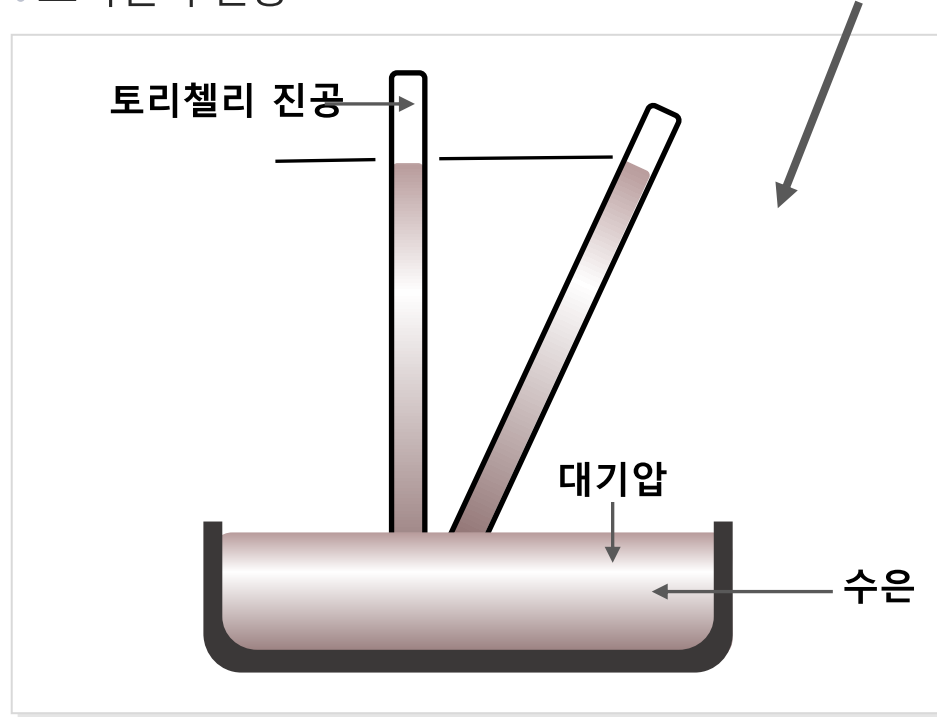
## » 진공의 특성

- 01 현상적 구분이라는 관점에서의 압력차이에 의한 힘
- 02 빠른 증발 : 물은 약 1/40기압에서는 상온에서 끓음
- 03 소리와 열의 차단 : 매질을 없애거나 줄이는 효과
- 04 운동저항의 감소 : 비행기가 높이 나는 이유중의 하나이기도 함
- 05 방전 : 먼 거리를 나는 동안 충분히 가속되어 방전이 쉽게 일어남
- 06 산화방지 : 산소(산화의 주범)를 없애 주므로 산화방지



## » 진공의 단위

### ■ 토리첼리 진공



### • 진공도 단위

- 760 mmHg = 760 Torr  
 $760\text{Torr} \times 10^{-6} = 0.76 \times 10^{-3} \text{Torr}$   
 $= 0.76 \text{ mTorr}$   
( $10^{-3} = \text{m}$ )

### • 진공기술에 사용되는 압력 단위

- $1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa}(\text{SI 단위})$   
 $1 \text{ Pa} = 0.0075 \text{ Torr} = 7.5\text{mTorr}$   
 $1 \text{ Torr} = 1 \text{ mmHg}$   
 $1 \text{ 기압(atm)} = 760 \text{ Torr}$   
 $= 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$   
 $\rightarrow 1 \text{ Torr} = 133 \text{ Pa}$

### » Vacuum pumps and systems

- Two types of vacuum pump
  - **gas transfer pump** : gas molecule is removed by compression to air or to next stage  
→ gas molecules are permanently removed
  - **entrapment pump** : gas molecule is condensed or chemically adsorbed on a surface  
→ gas molecules are discharged by warm-up
  - **gas transfer pump** : positive – displacement - Rotary pump / Roots pump  
kinetic vacuum pump - Diffusion pump / Turbo molecular pump
  - **entrapment pump** : adsorption pump / sputter-ion pump / cryogenic pump

### » Vacuum pumps and systems

- Rotary pump

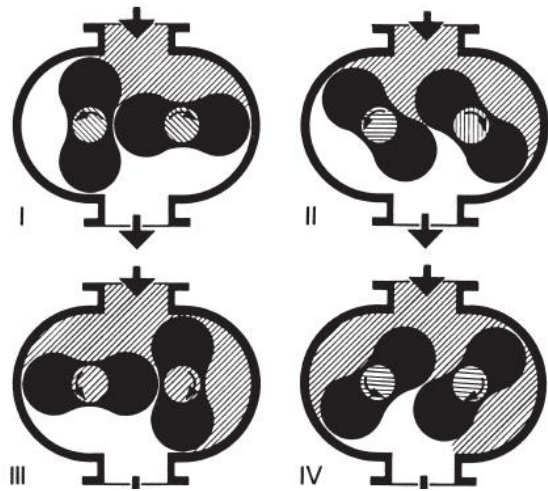


- Gas transfer pump – displacement pump

- Gas molecules are compressed by eccentric piston and emitted to air / rotor
  - oil is used as sealant and lubricant
- pumping speed of vane pump : 1~30 1/s
- Pumping speed of piston pump : 100~500 1/s
- Ultimate pressure
  - Single stage pump :  $10^{-2}$  Torr
  - Two-stage pump :  $10^{-4}$  Torr → used as a backing pump

### » Vacuum pumps and systems

- Roots pump

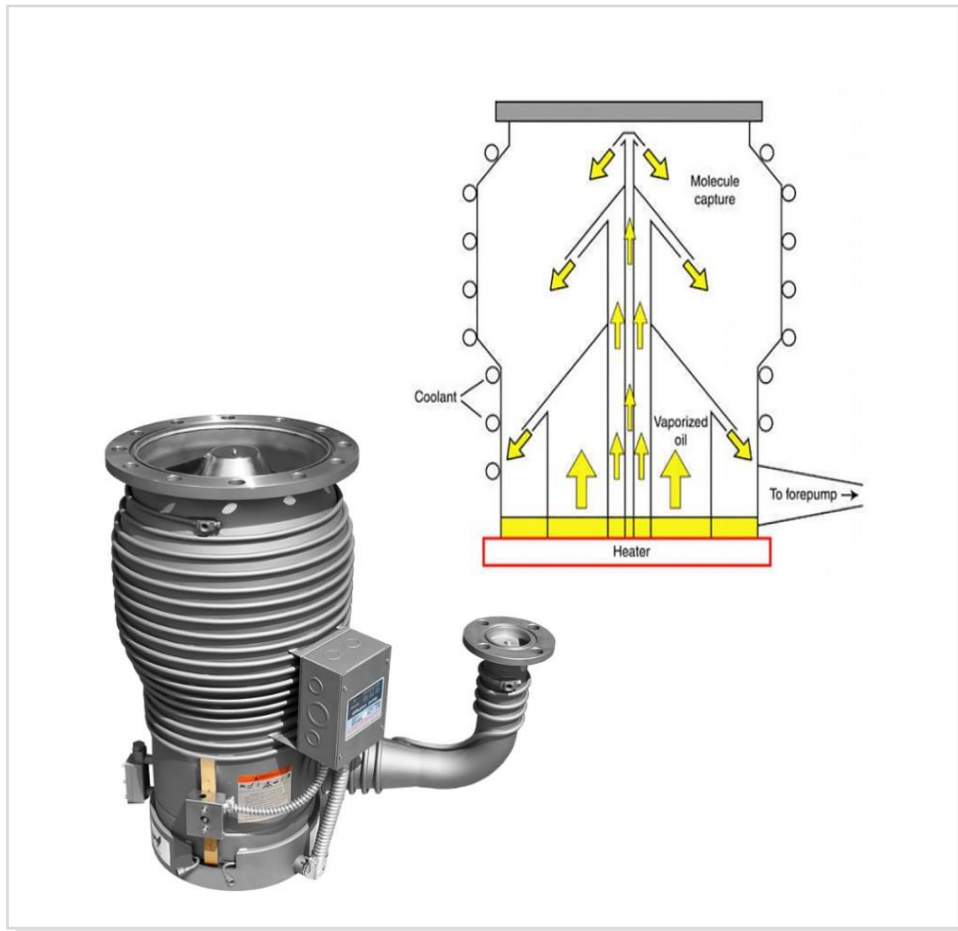


- Gas transfer pump – displacement pump

- 8-shaped two lobes are rotating opposite directions  
And transfer gas molecules
- Maximum pumping speed of a few thousands l/s is maintained at the pressure range of  $10^{-3} \sim 20$  Torr
- Pressure can be maintained up to  $10^{-5}$  Torr  
→ Rotary pump is required
- It applies to LPCVD which required high gas flow rate at a pressure of 1 Torr

## » Vacuum pumps and systems

### • Diffusion pump



### • Gas transfer pump – kinetic vacuum pump

→ No moving part

▪ Can be used at the pressure range of  $10^{-2} \sim 10^{-3}$  Torr

▪ Outlet pressure should be maintained near  $10^{-1}$  Torr

∴ Rotary pump is connected as a backing pump

▪ Pumping speed : few l/s ~ over 20,000 l/s

→ Silicone oil is boiled and the vapor is sprayed(multistep)  
to make gas molecule's momentum downward

▪ Problem of Diffusion pump : oil back streaming to the  
chamber inside



substrate

contamination : Si, C

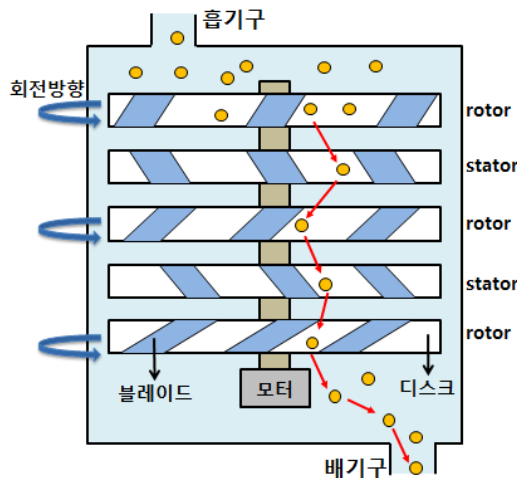
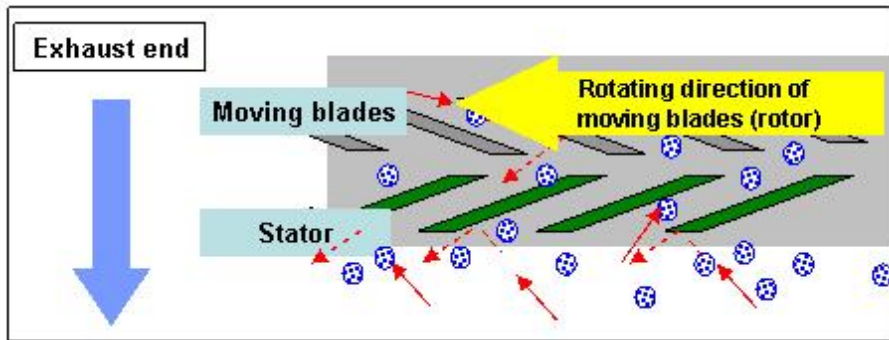
film degrade

poor adhesion

▪ To minimize Oil back streaming, use cold trap and  
condense oil condense → decreases conductance  
→ decrease pumping speed

## » Vacuum pumps and systems

### • Turbo molecular pump



### • Gas transfer pump – kinetic vacuum pump

→ Oil-less pumping, backed by Rotary Pump

- Gas molecule's momentum is changed to pump side by rotary blade → continuous compression

- Maximum Compression  $\propto$  - rotor speed

$$- e^{\sqrt{\text{gas molecular weight}}}$$

- Hydrocarbon :  $10^{10}$

- $N_2$  :  $10^9$

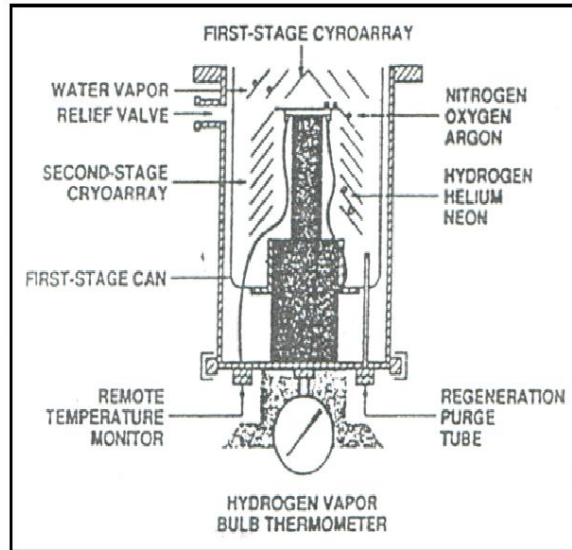
- $H_2$  :  $10^3$

∴ Pumping of hydrogen is not good

- No oil trap is required because of no back streaming.  
Can obtain pressure lower than  $10^{-10}$  Torr  $S=10^{31}/s$

### » Vacuum pumps and systems

- Cryogenic pump



- Entrapment pump – Cryogenic pump

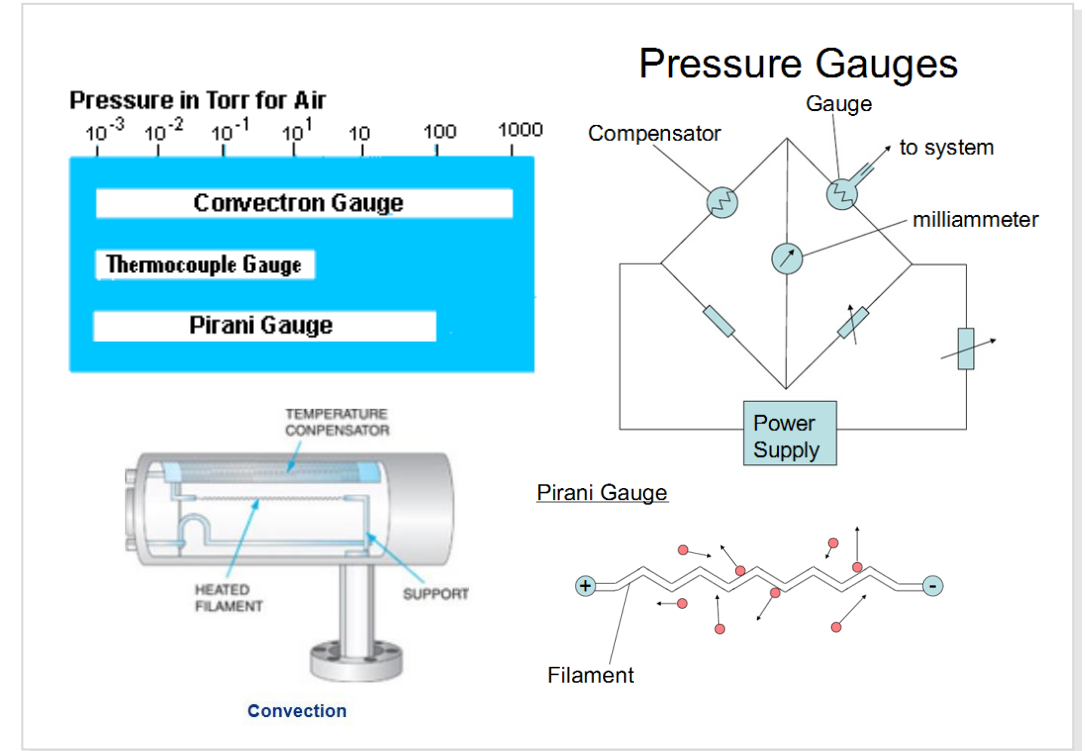
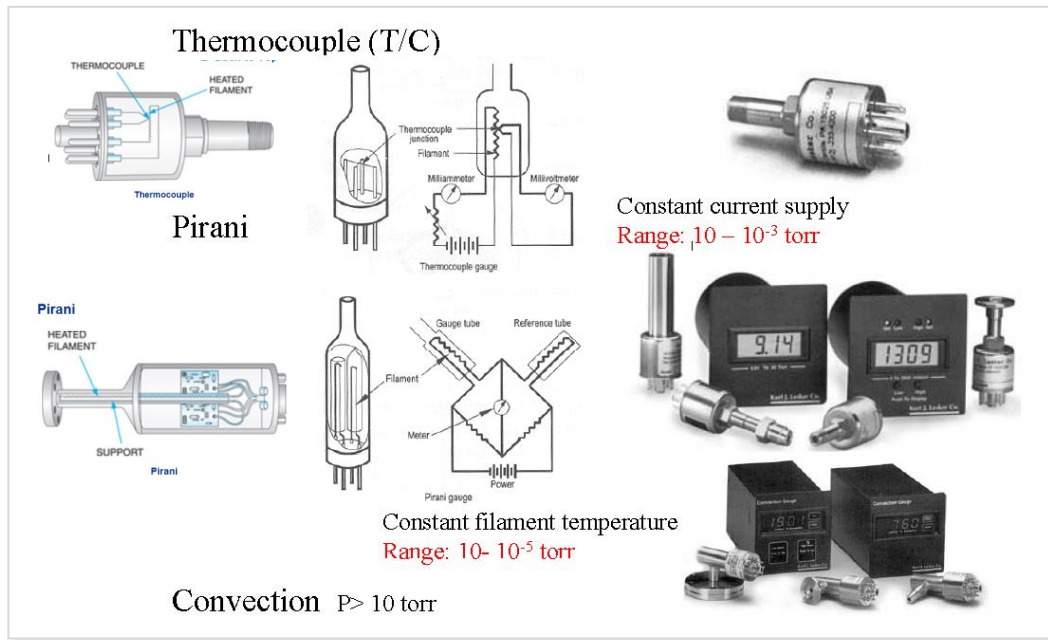
- Very Clean :  $10^{-3} \sim 10^{-10}$  Torr  
∴ entrapment pump
- Vapor molecule is condensed on the cold surface  
← Temp dependent by van der Waals force
- **77°K Shield** ← radiant heat load is absorbed
- **20°K Shield** ← adsorption of gas molecules with high boiling point, precondense  
20°K microporous surface : surface with activated charcoal or zeolite →  $H_2$ , He adsorption
- $H_2$ , He, Ne, etc which have high vapor pressure at 20K are not effectively pumped by cryopump



## » Vacuum gauge

- Low vacuum gauge : Rough gauge

### Gas Property Gauges



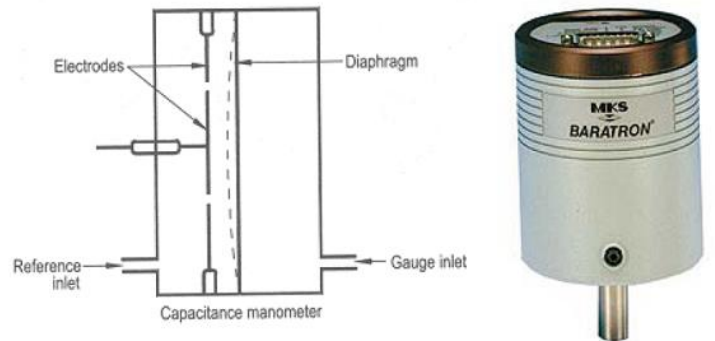
- This gauge's mechanism differs from that used in the T/C and Pirani gauges only by using a structure that enables the natural convection in (viscous flow) gases to aid in removing heat from the hot filament.

## » Vacuum gauge

- Low vacuum gauge : accurate gauge

### ■ Mechanical gauges

#### Capacitance Manometer

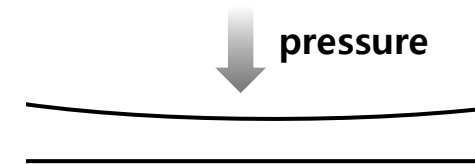


$P_{\max}$ :  $10^4 \sim 10^{-1}$  torr  
 Dynamic range:  $\sim 10^4$  below max  
 Accuracy: 0.25% - 0.08%.  
 Sensitive to temperature variations at gauge head: often maintained  $> RT$

#### • Capacitance (diaphragm) gauge

- Measure diaphragm bending by capacitance gauge

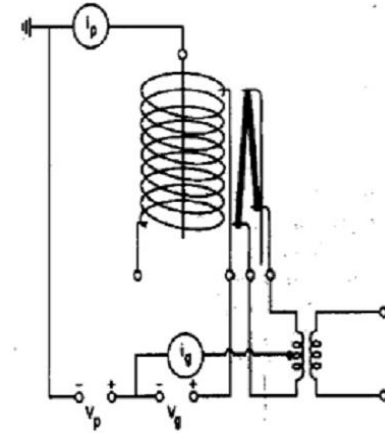
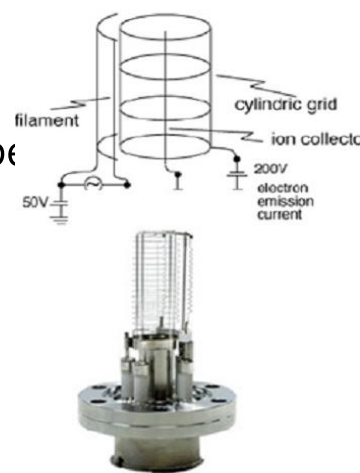
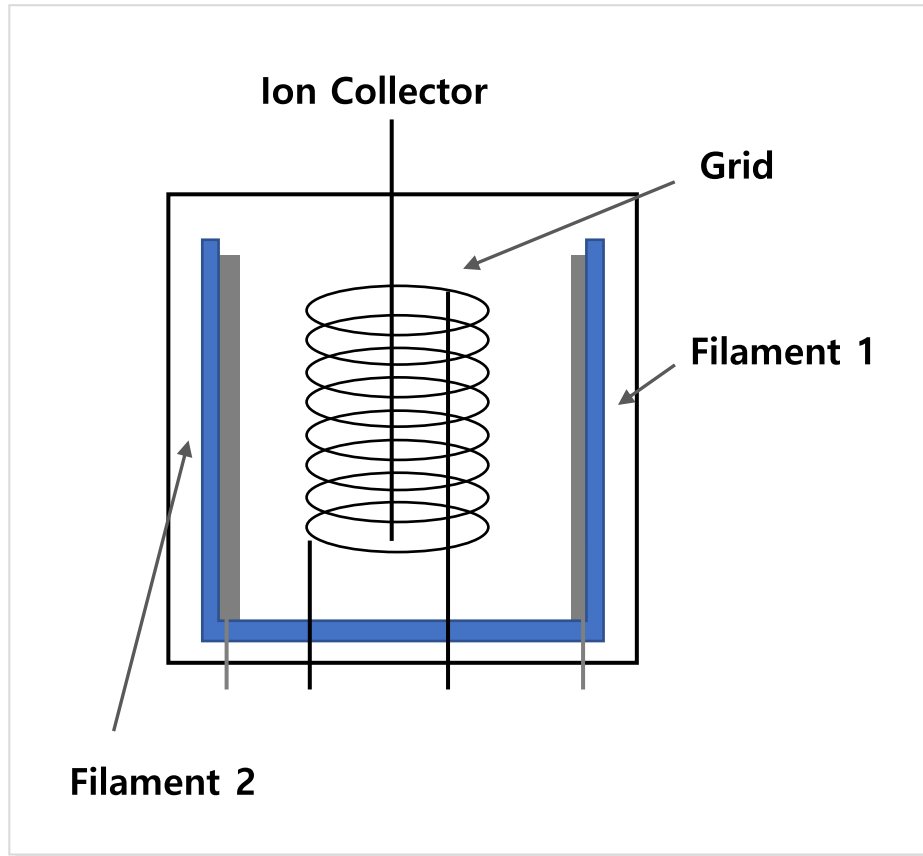
$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$



Absolute pressure  
 Reference to a vacuum cell

## » Vacuum gauge

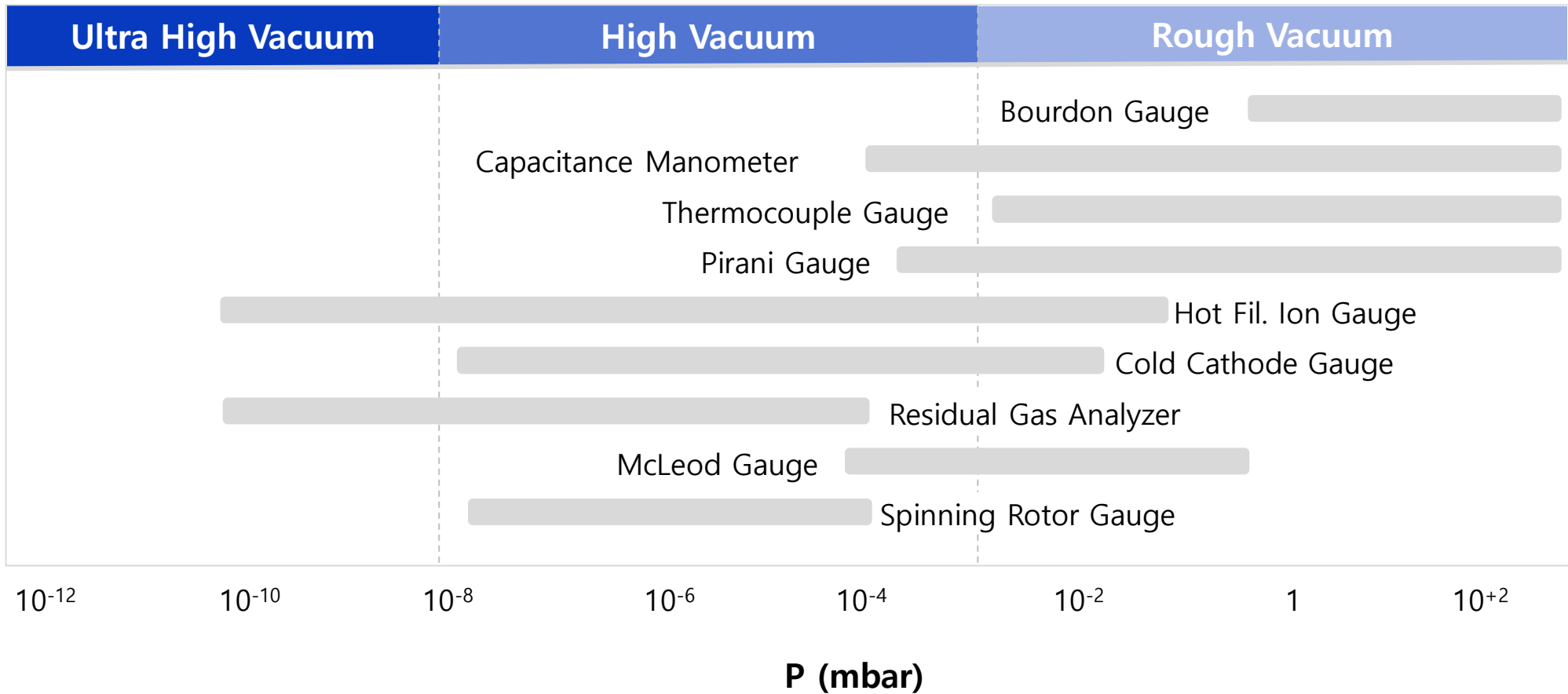
- **High vacuum gauge** : Hot cathode type (Bayrd-Alpha)



- Electrons emitted from the heated filament are attracted to the positive grid. Many electrons follow long looped paths before striking the grid.
- During this time they collide with gas molecules, thus creating positive ions.
- These ions are attracted to the negative collector and constitute a current into the gauge circuit.
- A higher pressure results in a higher gauge current.
- The emission current must be kept within strict limits as it too affects the gauge current.

## » Vacuum gauge

■ Gauge Operating Ranges



## » Avogadro's number

- 실리콘(원자량 28.09)

원자번호 = 양성자 수 = 전자 수

원자번호 14번      양성자 14개      전자 14개

- 원자량 **atomic mass** 중성자 14개

- 원자 질량 단위(amu) atomic mass unit로 나타낸 원자의 질량
- 원자 질량 단위 : 탄소- 12 원자 한 개 질량의 12분의 1과 같은 질량
- 아보가드로 수 : 탄소- 12 동위원소 12g에 들어있는 원자의 수 = 1mol

$$N_A = 6.022 \times 10^{23}$$

- Ex) 원자량이 28.09인 실리콘 원자 1mol(=6.022x10<sup>23</sup>개)의 질량은 28.09g

### » Avogadro's number

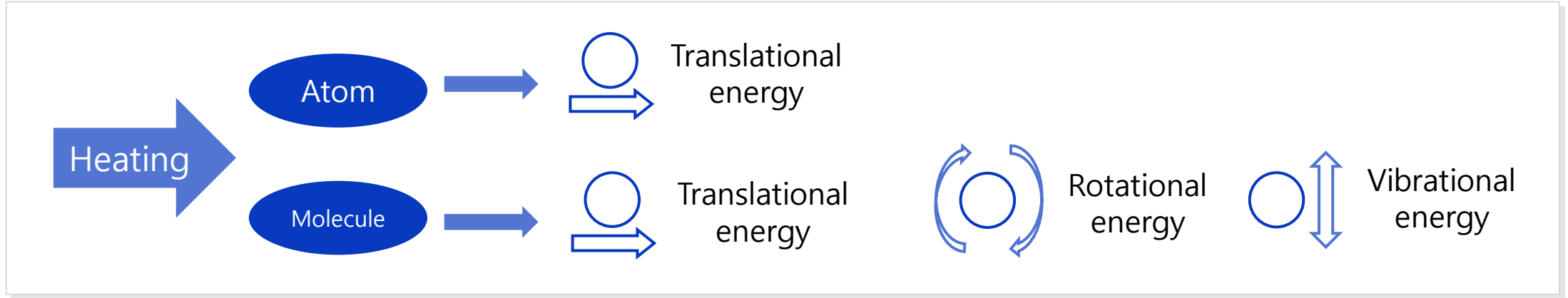
- 수소기체가 2g이 되기 위해서는 그 분자의 개수가  $6.022 \times 10^{23}$ 개가 필요
- 이 숫자를 아보가드로수라고 하고, 수소 분자보다 16배가 무거운 산소 분자를 아보가드로수만큼 모아놓으면 32g이 되고, 수소보다 2배 무거운 단원자 분자인 헬륨이 아보가드로수 만큼 모이면 4g이 됨.
- 그러나 아보가드로 법칙의 묘미는... 기체의 크기가 물질에 따라 모두 다른데도 불구하고 아보가드로수만큼의 기체 분자가 차지하는 부피는 표준 상태에서 22.4ℓ라는 것
- Why ?

### » Avogadro's number

- 기체는 사과처럼 그릇에 담아 놓으면 가만히 있는 것이 아니라 끊임없이 움직이며, 이로 인해 기체 압력이 발생됨
- 그러므로 기체의 부피는 알갱이가 얼마나 크고 작느냐에 달린 것이 아니라 그 알갱이가 벽을 얼마만큼 세게 또는 자주 때리느냐에 달려 있음.
- 풍선의 표면이 압력에 의해 울룩불룩 튀어나오는 것이 보이지 않는 이유는 분자가 너무 작고 또 개수가 매우 많기 때문
- 잘 인쇄된 그림을 돋보기로 확대해 보면 작은 점들로 이루어졌음을 알 수 있는 것과 같이 미시적인 안목으로 보면 엉성한 점들로 이루어진 그림이지만 거시적으로 보면 매끈하게 잘 인쇄된 것처럼 보임

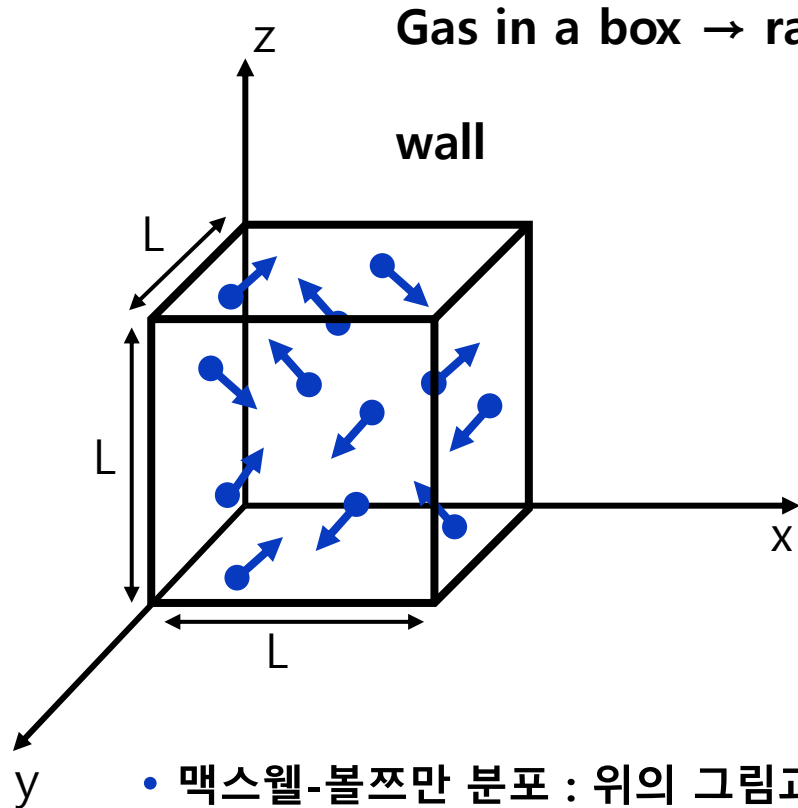


## » Gas kinetics



- Translational energy (병진 에너지) → 평행이동에 필요한 에너지
- Rotational energy (회전 에너지) → 원자간에 상대적으로 회전운동에 필요한 에너지
- Vibrational energy (진동 에너지) → 분자내 원자간의 진동 에너지

## » Maxwell & Boltzmann



Gas in a box  $\rightarrow$  random motion  $\rightarrow$  collision between molecules and atoms  
collision between molecule -

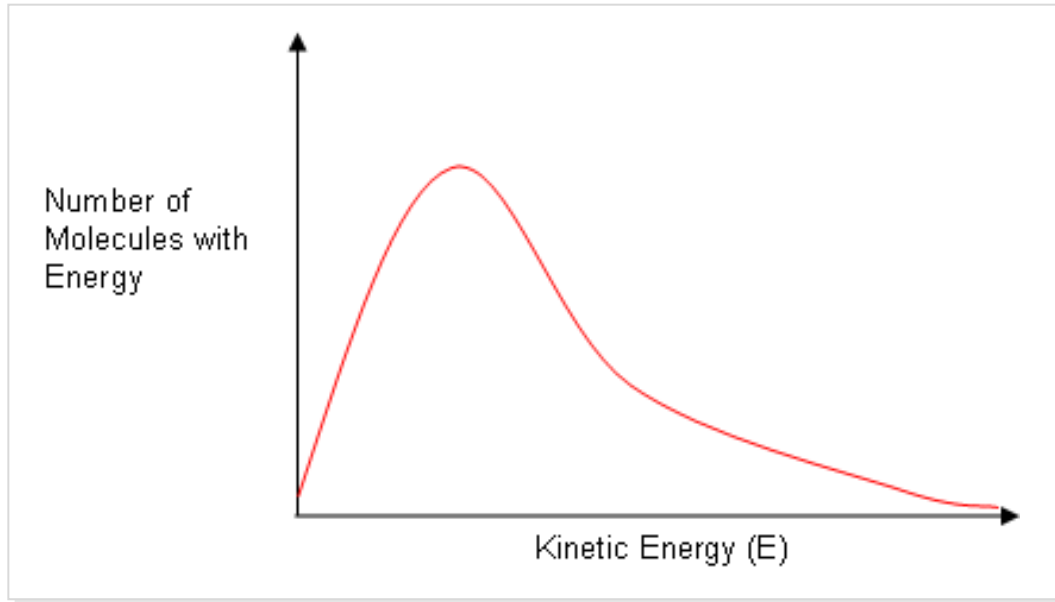
By continuous elastic collision among molecules, kinetic energy is exchanged and finally the molecules have a steady state velocity distribution at a temperature

$\rightarrow$  Maxwell - Boltzmann distribution

- 맥스웰-볼츠만 분포 : 위의 그림과 같이 상호간에 무작위 충돌을 해서 나타내는 속도 분포 혹은 에너지 분포를 말함.

## » Maxwell & Boltzmann

### ■ Maxwell - Boltzmann distribution



- 기체의 속도 혹은 에너지에 따른 기체수의 분포를 보면 밀폐된 용기내 기체가 0의 속도를 갖는 입자로부터 무한대의 속도를 지니는 입자까지의 분포도를 나타내게 되며, 이 중간의 속도에서 가장 많은 기체원자가 분포되어 있는 형태를 띄게 됨.

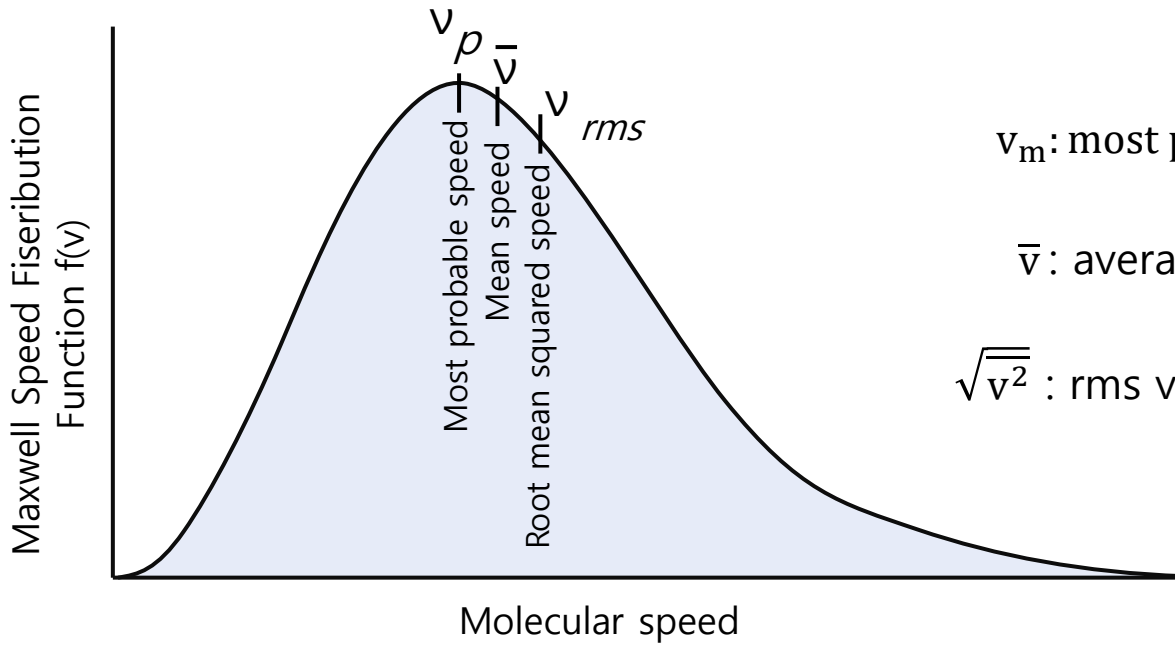
$$dn = \frac{4n}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m}{2kT}\right)^{3/2} V^2 \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right) dv$$

$v$  : 기체의 속도,  $m$  : 기체의 분자량,  $T$  : 절대온도,

$k$  : 볼츠만 상수,  $n$ :단위부피당 기체의 분자수

- “ $dn$ ”, 기체의 분포는 기체의 온도 및 질량, 그리고 기체내의 원자 혹은 분자의 속도에 따라 변화함을 알 수 있음.
- 또한, 어떤 온도에서든지 기체 내 원자나 분자들은 0에서부터 무한대의 속도를 지닌 분포를 하고 있기 때문에 기체에 대한 속도를 나타내려면 기체내 각 원자나 분자들의 속도를 평균한 평균속도를 사용하여 나타내어야함.

## » Maxwell & Boltzmann



$$v_m: \text{most probable velocity} = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$$

$$\bar{v}: \text{average velocity} = \frac{\int_0^{\infty} v f(v) dv}{\int_0^{\infty} f(v) dv} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$$

$$\sqrt{\overline{v^2}}: \text{rms velocity}, \overline{v^2} = \frac{\int_0^{\infty} v^2 f(v) dv}{\int_0^{\infty} f(v) dv} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad \therefore \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$