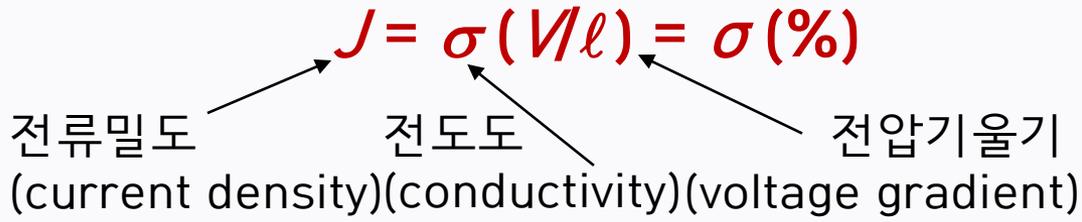
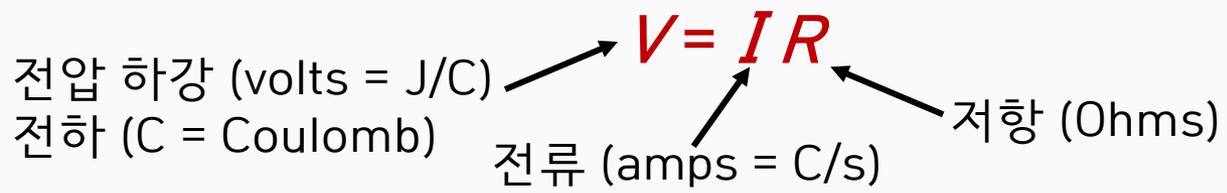


# 재료의 전기적 물성

허가없이 본 수업자료의 무단 배포 및 사용을 불허합니다.

# 전기 전도 (Electrical Conduction)

- 옴의 법칙 (Ohm's Law)



$\% \equiv \text{electric field potential} = V/l = \frac{\text{current}}{\text{surface area}} = \frac{I}{A}$       like a flux

- 저항 (Resistivity,  $\rho$ ) 및 전도도 (Conductivity,  $\sigma$ )

$\sigma = \frac{1}{\rho}$        $\rho = \frac{RA}{l}$

전류 흐름 단면적

전류 흐름 통로 길이

허가없이 본 수업자료의 무단 배포 및 사용을 불허합니다.

# 전도도 (Conductivity)

- 상온 전도도 비교 ( $(\text{Ohm}\cdot\text{m})^{-1} = (\Omega \cdot \text{m})^{-1}$ )

## 금속

conductors

은 (Silver)

$6.8 \times 10^7$

구리 (Copper)

$6.0 \times 10^7$

철 (Iron)

$1.0 \times 10^7$

## 세라믹

소다라인 유리  
(Soda-lime glass)  
Concrete  
Aluminum oxide

conductors

$10^{-10} - 10^{-11}$

$10^{-9}$

$< 10^{13}$

## 반도체

semiconductors

Silicon

$4 \times 10^{-4}$

Germanium

$2 \times 10^0$

GaAs

$10^{-6}$

## 고분자

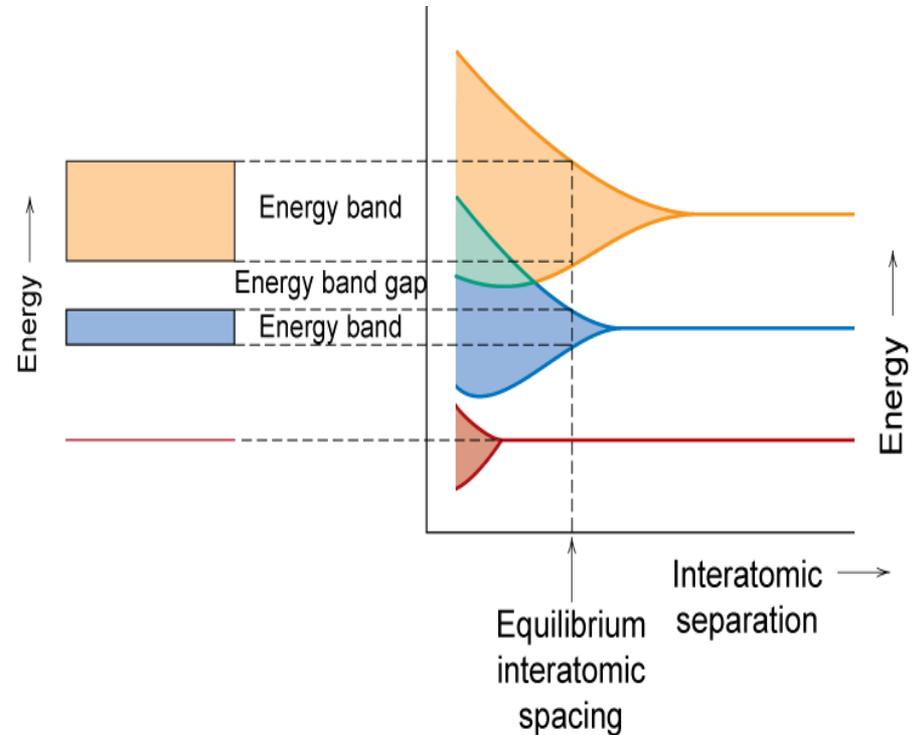
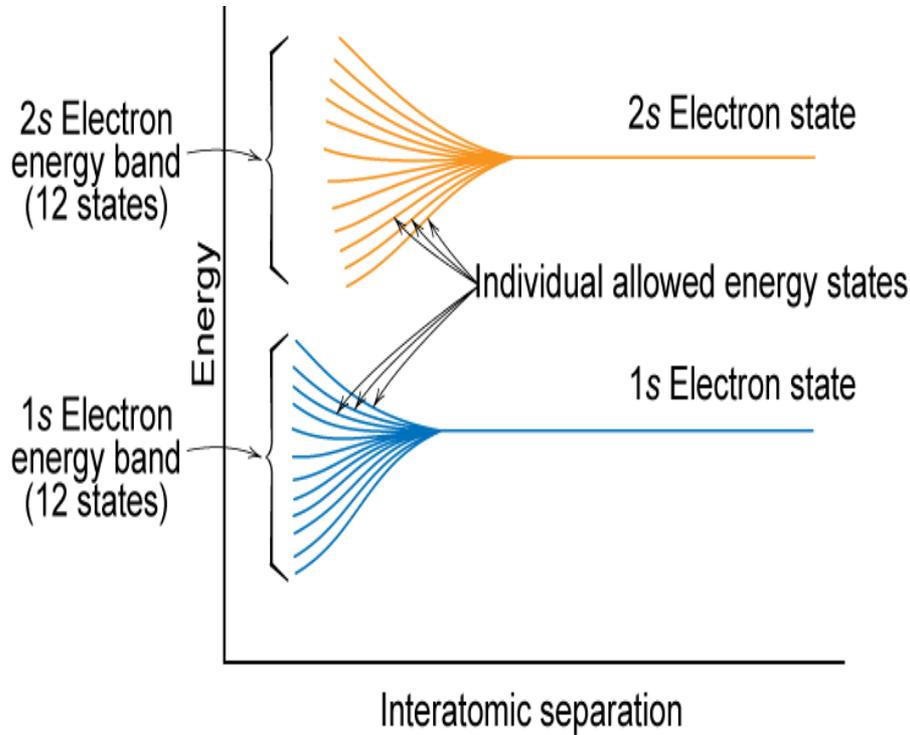
Polystyrene  
Polyethylene

$< 10^{-14}$

$10^{-15} - 10^{-17}$

허가없이 본 수업자료의 무단 배포 및 사용을 불허합니다.

# 전자 에너지 밴드 구조



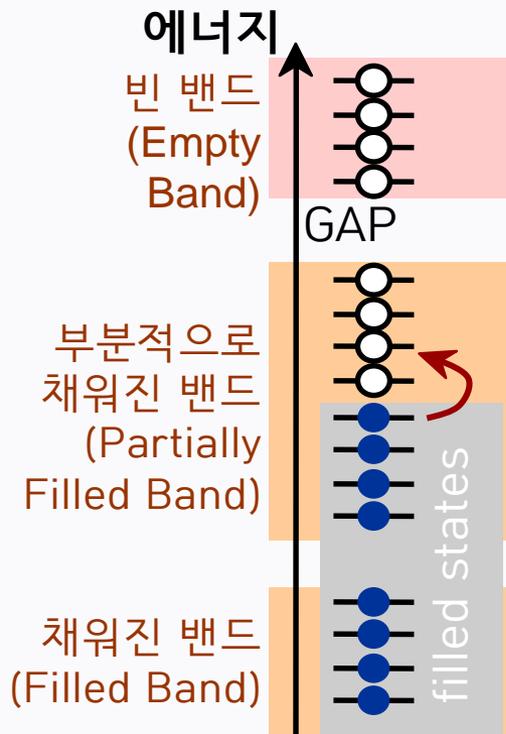
허가없이 본 수업자료의 무단 배포 및 사용을 불허합니다.

# 에너지 밴드: 금속의 전도

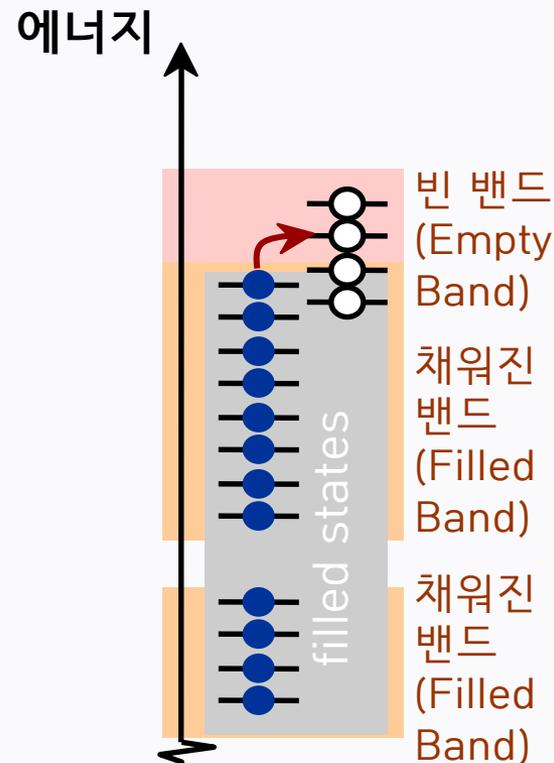
## • 금속 (전도체)

- 비어 있는 에너지 준위: 인접해 있는 채워진 상태
- 열에너지의 전자 여기 통해 비어 있는 높은 에너지 상태로 이동

### 부분적으로 채워진 밴드



### 겹쳐 있는 밴드



허가없이 본 수업자료의 무단 배포 및 사용을 불허합니다.

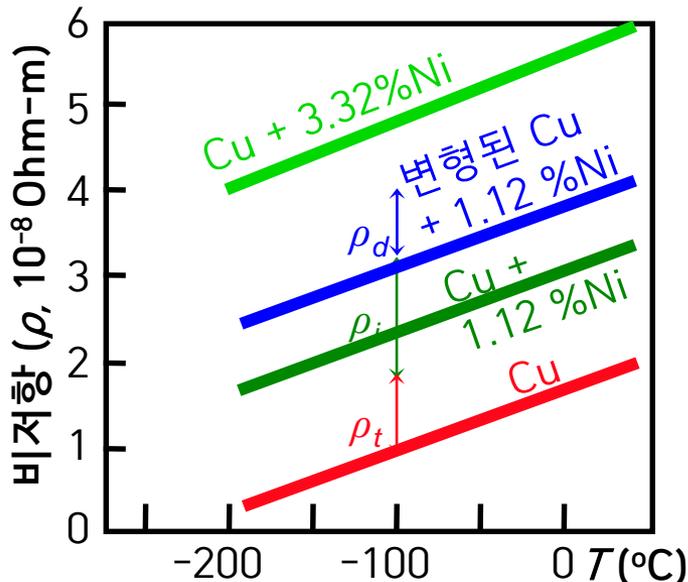
# 금속 (전도도: 온도와 불순물의 영향)

## • 불순물과 저항의 상관관계

- 결정립계 (grain boundaries)
- 전위 (dislocations)
- 불순원자 (impurity atoms)
- 공공 (vacancies)

불순물의 전자 산란에 의한 전자 이동거리 (pathway) 증가

## • 온도와 저항의 상관관계



### a) 저항도 증가

- 온도증가, 불순물 함량 증가, 냉각 정도 (%CW)

### b) 저항식

$$-\rho = \rho_{\text{thermal}} + \rho_{\text{impurity}} + \rho_{\text{deformation}}$$

허가없이 본 수업자료의 무단 배포 및 사용을 불허합니다.

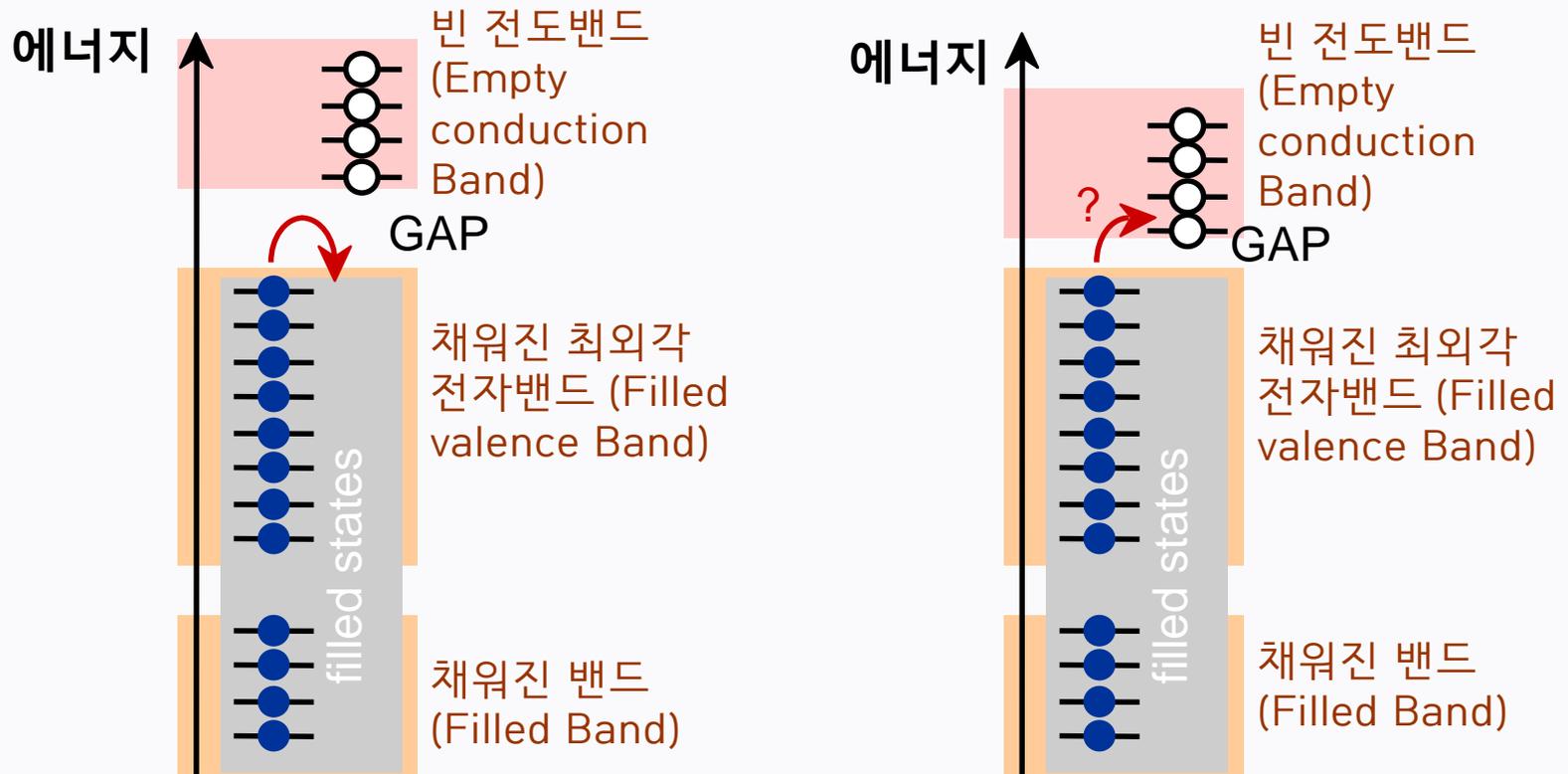
# 에너지 밴드: 반도체와 부도체의 전도

## • 부도체

- 넓은 밴드갭 ( $> 2 \text{ eV}$ )
- 밴드갭 사이로 몇몇 전자 여기 (excitation)

## • 반도체

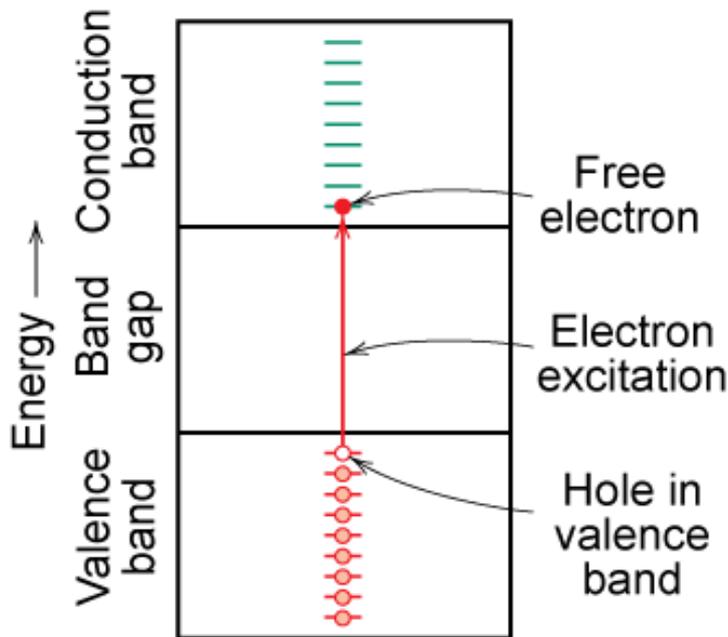
- 좁은 밴드갭 ( $< 2 \text{ eV}$ )
- 밴드갭 사이로 좀더 많은 전자 여기 (excitation)



허가없이 본 수업자료의 무단 배포 및 사용을 불허합니다.

# 절연체와 반도체에서 전하 운반체

- 전기적 전하 운반체 (electronic charge carriers)



## a) 자유전자 (Free Electron)

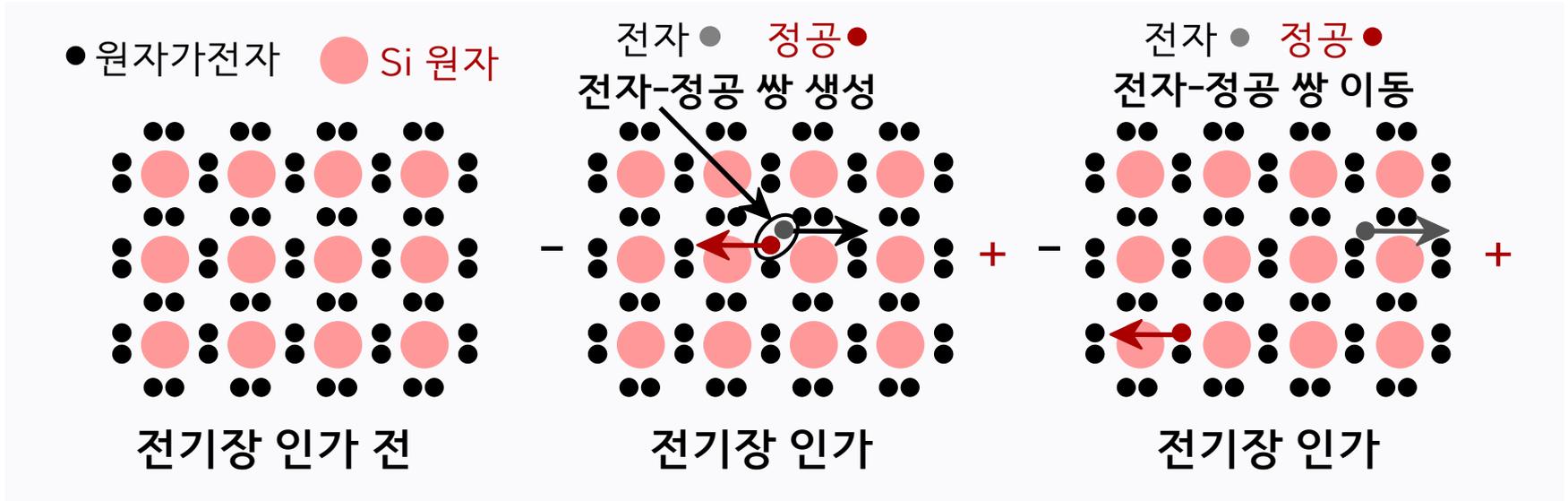
- 음전하 (negative charge)
- 전도 밴드 위치 (conduction band)

## b) 홀 (Hole)

- 양전하 (positive charge)
- 가전자밴드의 비어있는 전자 상태 (vacant electron state in the valence band)

# 전자와 정공의 이동 (Electron & Hole Migration)

## • 전자와 정공 (electrons and holes)



## • 전기전도도 (Electrical Conductivity)

$$\sigma = n |e| \mu_e + p |e| \mu_h$$

$n$ : 단위 전자 수 (#/m<sup>3</sup>)  
 $|e|$ : 전하량 (charge)  
 $\mu_e$ : 전자 이동도 (electron mobility)  
 $p$ : 단위 정공 수 (#/m<sup>3</sup>)  
 $|e|$ : 전하량 (charge)  
 $\mu_h$ : 정공 이동도 (hole mobility)

# 진성 반도체 (Intrinsic Semiconductors)

## • 진성 반도체

### a) 진성반도체

#### ① 순물질 반도체 (Pure material semiconductors)

- 4족 원소 (Group IVA: Si, Ge)

#### ② 화합물 반도체 (Compound semiconductors)

- 3-5족 (III-V) 화합물: GaAs & InSb

- 2-6족 (II-VI) 화합물: CdS & ZnTe

- 원소간 전기친화도 차이  
: 에너지 갭의 차이와 비례

### b) 진성반도체의 전도도

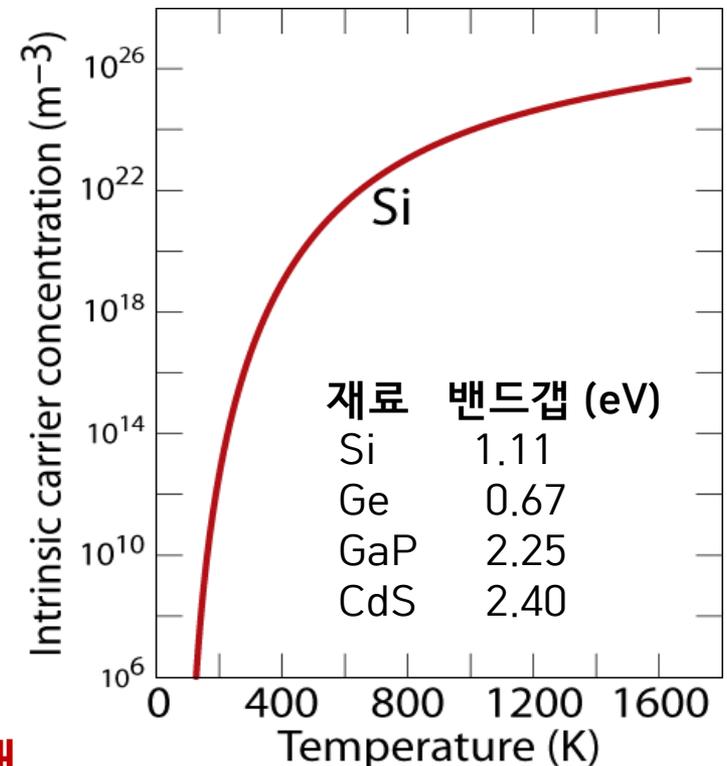
- # electrons = # holes ( $n = p$ )

$$\sigma = n_i |e| (\mu_e + \mu_h)$$

## • 반도체와 온도와 관계

### a) 온도에 따른 전도도

- 전도도 ( $\sigma$ ): 온도에 따라 증가
- 금속과 정반대의 경향성



# 외인성 반도체 (Extrinsic Semiconductors)

## 외인성 반도체

### a) 전기적 특성

- 도핑에 따른 전도도 ( $\sigma$ ) 변화: 불순물 통한 추가적 전자 및 정공 도입
- 불순물의 역할: 활성화에너지 감소로 인한 자유전자 운동도 증가.

### b) 전하 운반체의 특성

- 전자와 정공수의 불일치 ( $n \neq p$ )

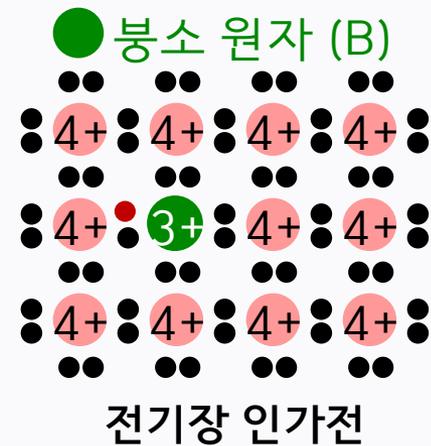
## n-type 및 p-type 반도체

### a) n-type 외인성 ( $n \gg p$ )



$$\sigma \approx n|e|\mu_e$$

### b) p-type 외인성 ( $p \gg n$ )



$$\sigma \approx p|e|\mu_h$$

허가받은 수업자료의 무단 배포 및 사용은 금지합니다.

# 진성 및 외인성 반도체

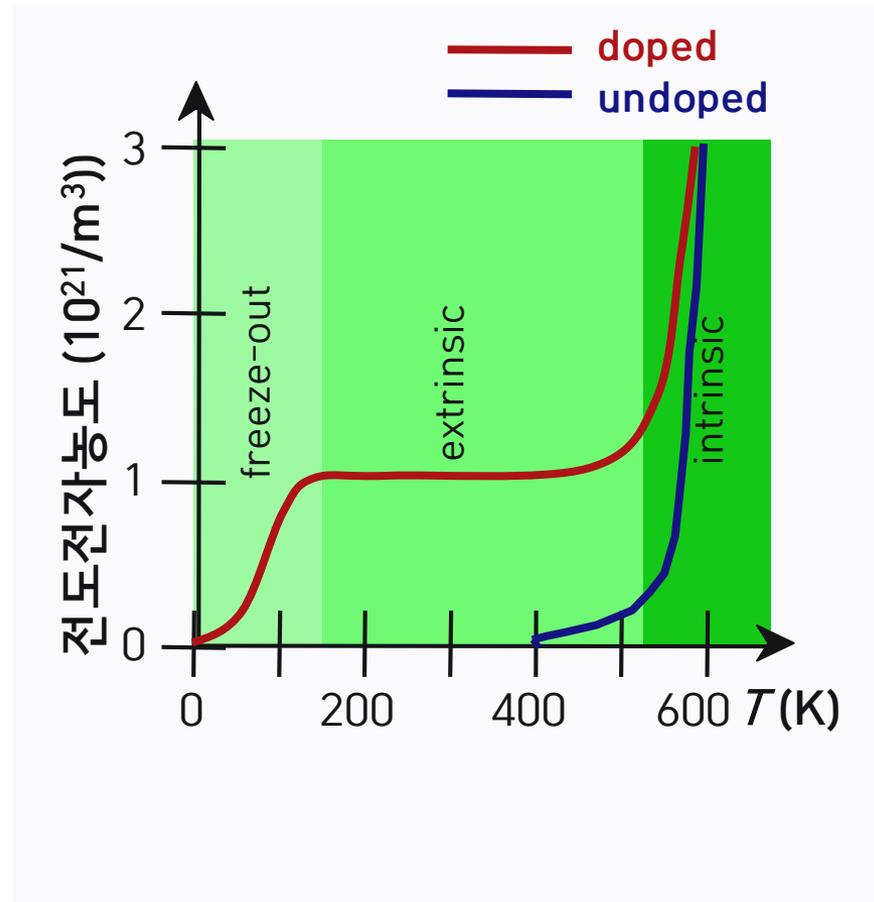
## • 전도성 비교

### a) 외인성 도핑 (extrinsic doping)

- $n$ -type 도너 (donor) 불순물  
:  $10^{21}/\text{m}^3$  (e.g., P).

### b) 온도의 영향

- ① 저온영역 ( $T < 100$  K)
  - freeze-out 영역
  - 열에너지로 인한 전자 여기 불충분
- ② 상온영역 ( $150 \text{ K} < T < 450 \text{ K}$ )
  - 외인성 반도체 전도도 증가
- ③ 고온영역 ( $T \gg 450 \text{ K}$ )
  - 진성 반도체 전도도 증가



# p-n 접합 다이오드 (p-n Junction Diode)

## • p-n 접합 다이오드

### a) 특성

- 전자 흐름을 한쪽 방향으로 유도

### b) 작동 원리

#### ① 전기장 인가 전

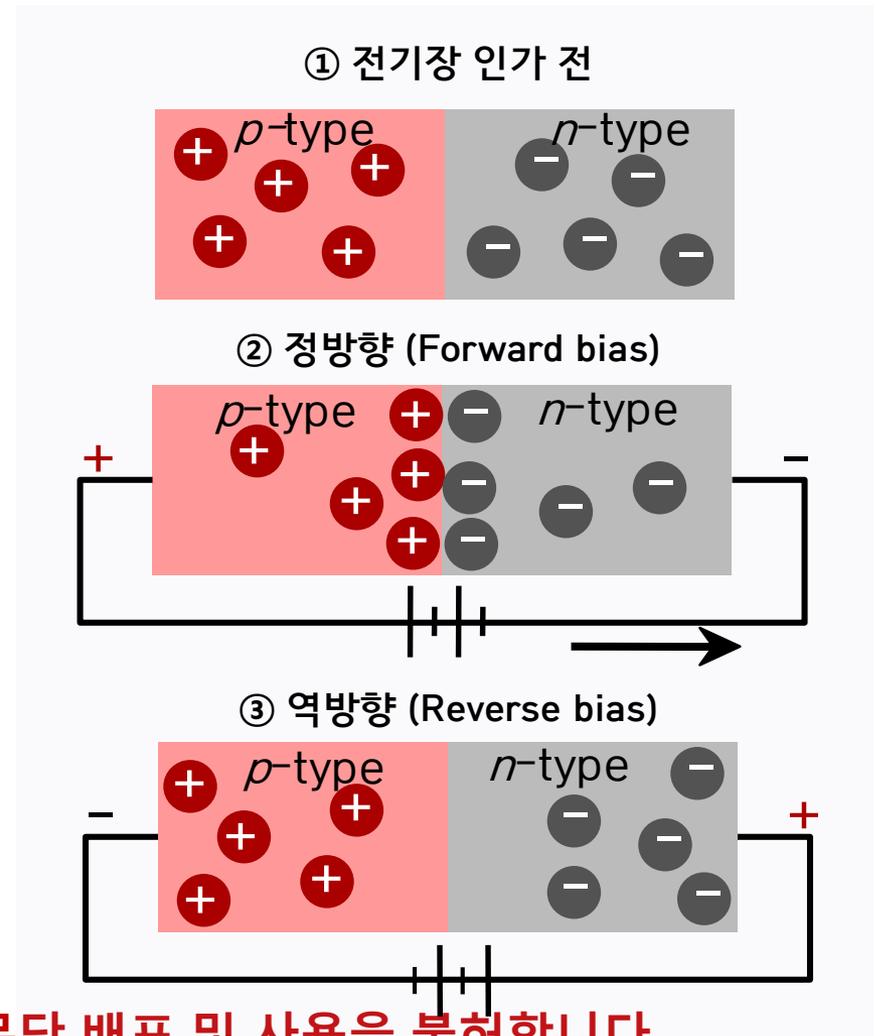
- 순 전류 흐름 없음.

#### ② 정방향 흐름 (Forward bias)

- p-type과 n-type 영역을 통과해 전류 흐름 발생;
- 정공과 전자가 p-n 접합부에서 재결합

#### ③ 역방향 흐름 (Reverse bias)

- p-n 접합과 멀어져 전류 발생;
- 접합 부위에서의 운반체 소멸로 전류 흐르지 않음

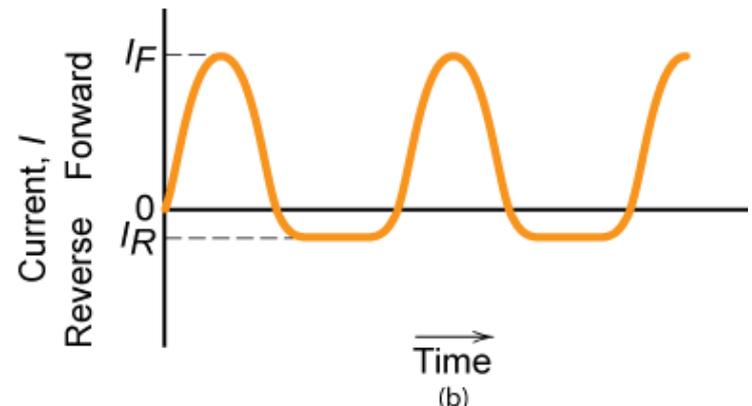
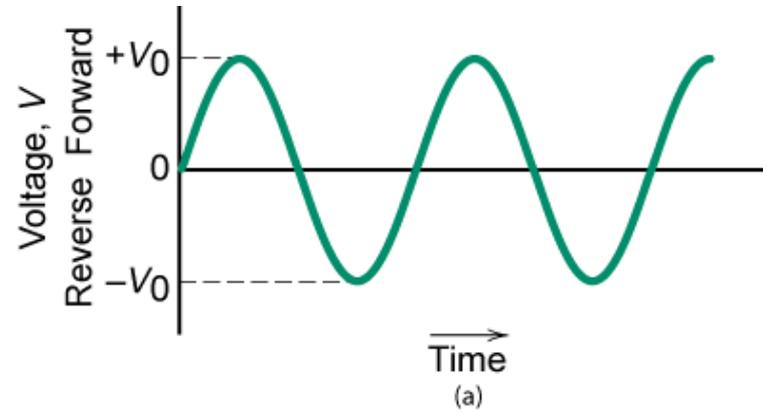
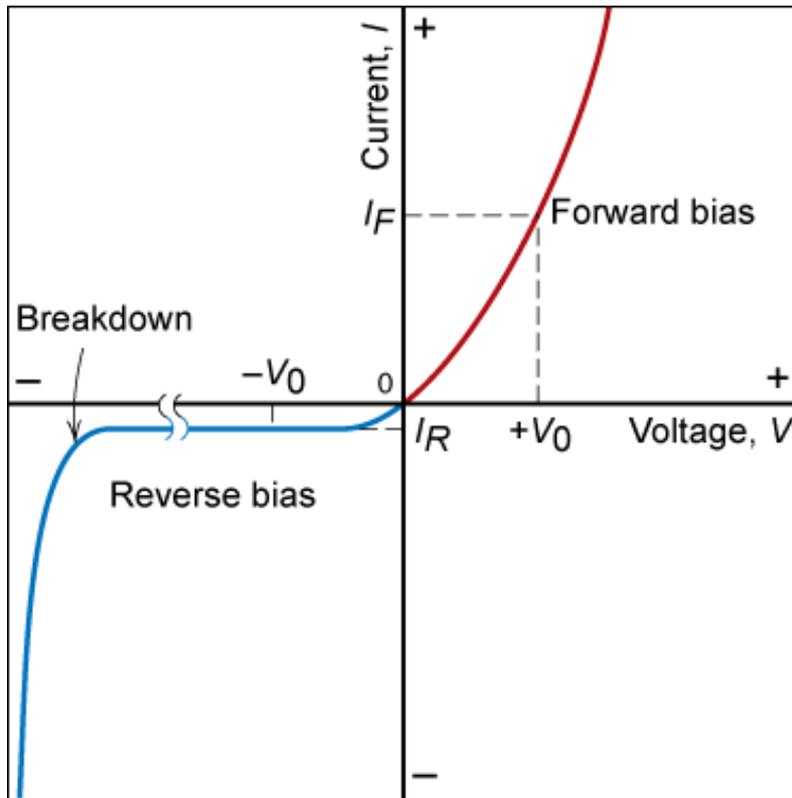


이것이 본 수업자료의 무단 배포 및 사용을 불허합니다.

# p-n 접합 다이오드 (p-n Junction Diode)

- p-n 접합 다이오드의 응용

- 정류장치: 교류의 직류 전환 (alternating current to direct current).



허가없이 본 수업자료의 무단 배포 및 사용을 불허합니다.

# 유전체 (Dielectric Material)

## • 유전체

### a) 유전체

- 전기저항 높으나, 전계 의해 전기분극 유기.
- 전기적 절연체, 전기적 극성구조

### b) 분극

#### ① 발생원리

- 표면발생 유도전하로 인해 외부전기장 형성시 유전체 안 전하분포 재배열.

#### ② 전기 쌍극자 생성

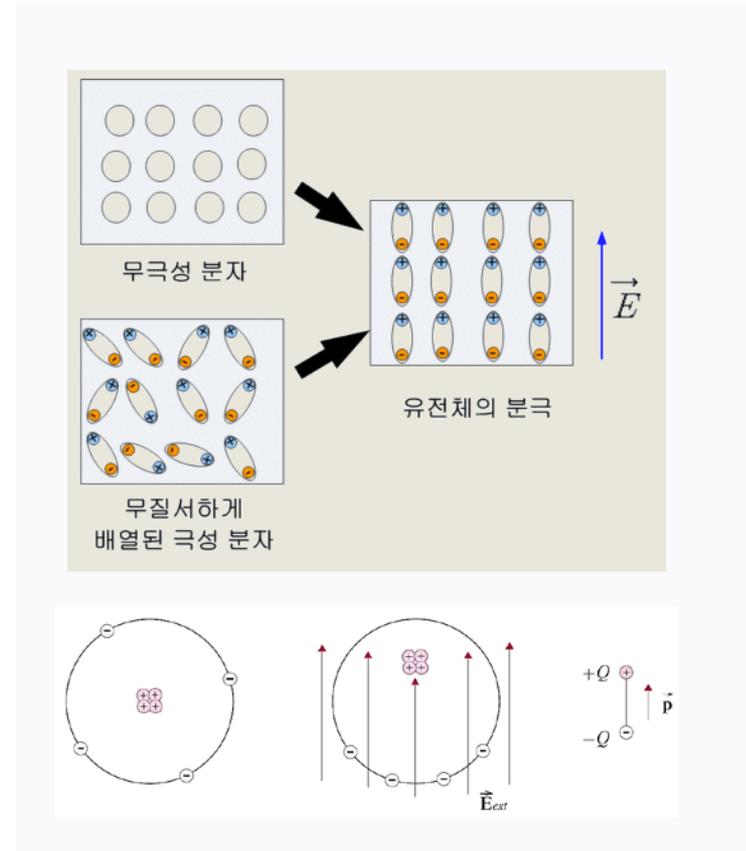
- 유전체속 하전입자 전기장 따라 이동

#### ③ 분극화(polarization)

- 분극화된 원자는 쌍극자 모멘트 형성

### c) 분극장의 형성

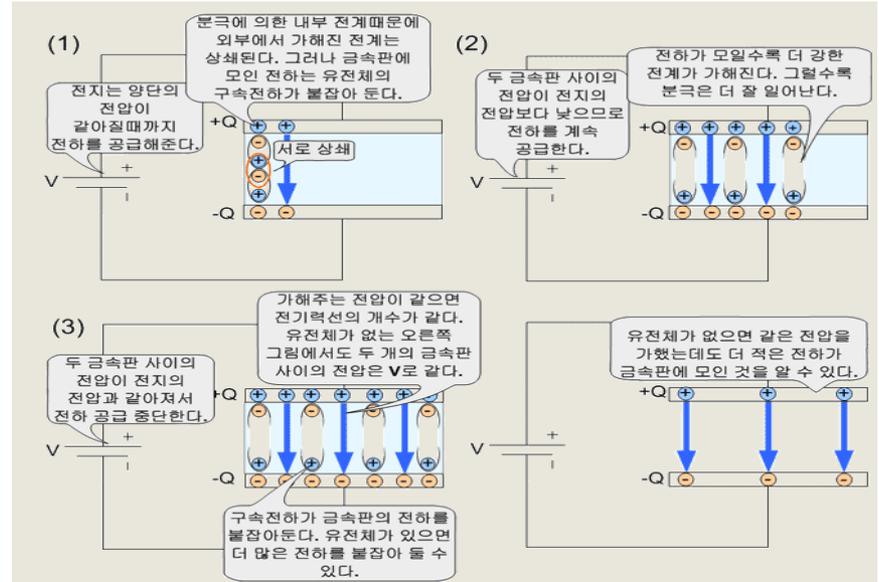
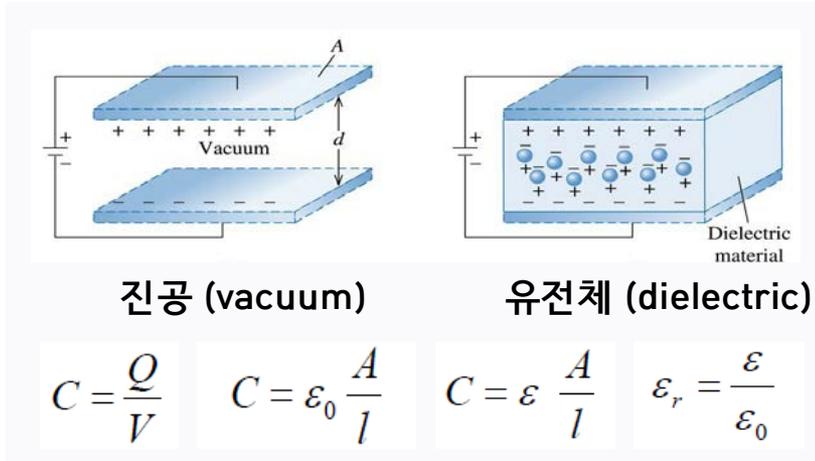
- 분극 전기장 의해 부도체 원자의 전기적 중심점 분리
  - 분극화된 원자들의 부도체 양쪽 표면에 서로 다른 극성의 표면전하밀도 형성
- 허가없이 본 수업자료의 무단 배포 및 사용을 불허합니다.**



# 축전기 (Capacitor)

## • 축전기

### a) 축전기의 작동원리



### b) 축전기 (콘덴서)의 역할

#### ① 전기 저장 및 방전

- 고용량 콘덴서 (슈퍼캐패시터):  
모터 스타터
- 직류 전압시 전하 저장

#### ② 주파수 정류 역할

- 교류에서 직류 차단 및 교류 통과



허가없이 본 수업자료의 무단 배포 및 사용을 불허합니다