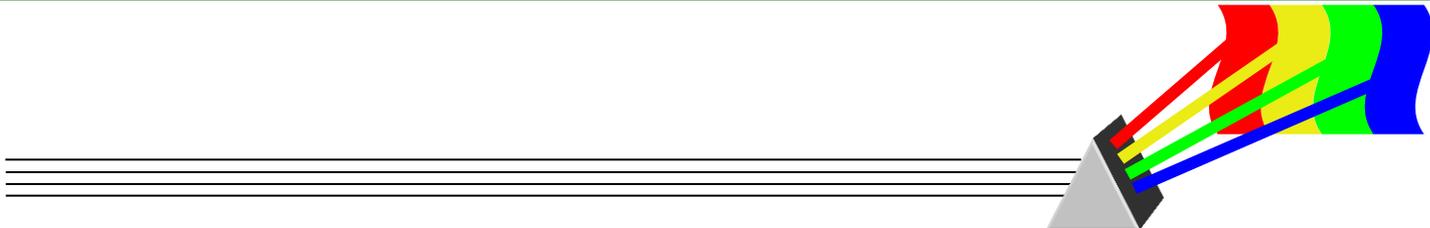


Advanced Semiconductor Engineering

물리전자공학

Chapter 05 Conduction of Semiconductor



Chapter 04

Conduction of Semiconductor

- 제 1 절 : 고체의 도전현상
- 제 2 절 : 반도체의 드리프트
- 제 3 절 : 반도체의 전기전도
- 제 4 절 : 격자 산란
- 제 5 절 : 불순물 산란
- 제 6 절 : 홀 효과
- 제 7 절 : 확산 운동
- 제 8 절 : 열생성과 재결합
- 제 9 장 : 과인 소수 캐리어
- 제 10 장 : 반도체의 캐리어 밀도
- 제 11 장 : 반도체의 페르미 준위

5.1 고체의 도전 현상

- 금속도체에 외부 전계가 공급

* 금속 내부의 자유전자가 쉽게 이동하여 전기전도 현상

* 길이가 l 인 금속도체에 V 의 전압을 공급

$$E = V/l \quad F = eE = m\alpha$$

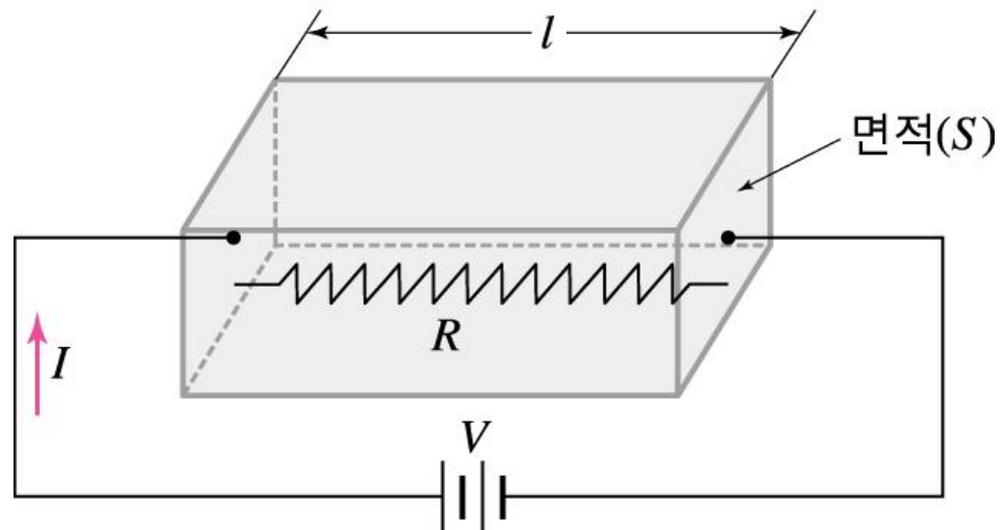
* **드리프트 속도(drift velocity)** 전자가 전계의 방향과 반대로 이동할 때의 속도

$$v_d = \frac{e\tau_n E}{m\alpha} = \mu_n E \text{ [m/s]}$$

$$\mu_n = \frac{e}{m\alpha} \tau_n \text{ [m}^2\text{/V} \cdot \text{s]}$$

μ_n 자유전자의 이동도
(移動度 : mobility)

5-1



5.1 고체의 도전 현상

- 금속도체에 외부 전계가 공급

* 평균자유행정(平均自由行程 : mean free path) 전자가 결정격자와 충돌하여 다음 충돌 때까지의 평균거리

* 평균자유시간(平均自由時間 : mean free time) 평균시간

- 길이 [m], 단면적 [m²], 전류밀도 [A/m²]인 금속도체의 저항 R

$$R = \frac{V}{I} = \frac{m l}{n e^2 \tau_n S} [\Omega] = \rho \frac{l}{S} [\Omega]$$

* 저항률(抵抗率 : resistivity) ρ [$\Omega \cdot \text{cm}$]

* 도전율(導電率 : conductivity) $\sigma = \frac{1}{\rho} [\Omega \cdot \text{cm}]^{-1}$

* 줄(Joule)의 법칙

$$W = \frac{2 e^2 \tau_n^2 E^2}{m} \frac{n S l}{2 \tau_n} = \frac{n e^2 \tau_n S l}{m} E^2 [\text{J}] \quad W = \frac{V^2}{R} = I^2 R [\text{J}]$$

5.2 반도체의 드리프트

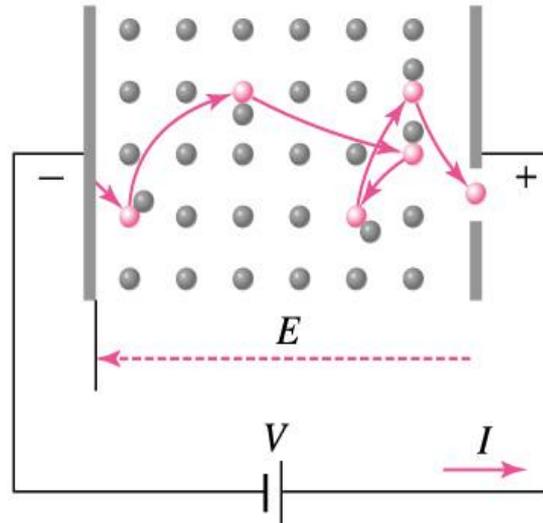
- 드리프트(drift) 작용 : 전기에 기인한 전하의 이동

* 반도체 내의 전자운동

$$v_d = \mu E$$

μ [m²/V·s] : 드리프트 이동도

5-2



전자는 드리프트 작용으로 격자와 충돌하면서 전기와 반대로 이동

5.2 반도체의 드리프트

- 반도체 내의 캐리어 이동도($T=300[K]$)

반도체	전자이동도 [m ² /V·s]	정공이동도 [m ² /V·s]
Ge	0.39	0.19
Si	0.142	0.05
GaAs	0.80	0.04
GaP	0.011	0.0075
InSb	0.46	0.015
CdS	0.030	0.0050

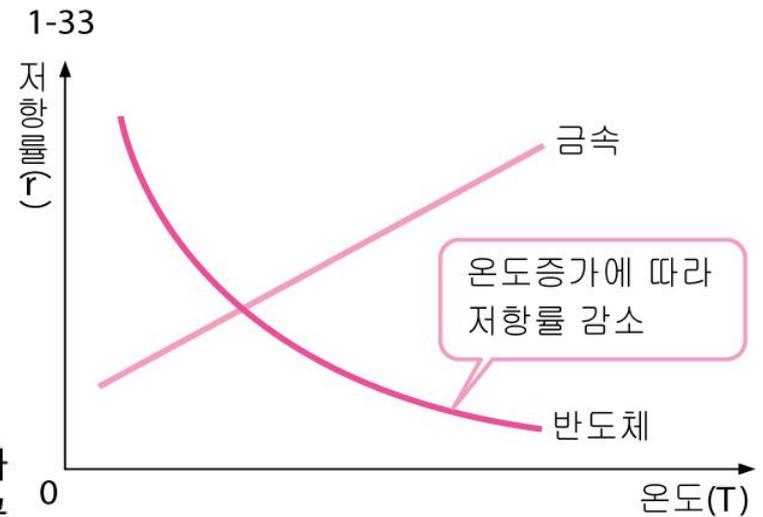
5.3 반도체의 전기전도

- 반도체 내 전압인가 : 전자 양극, 정공 음극 이동

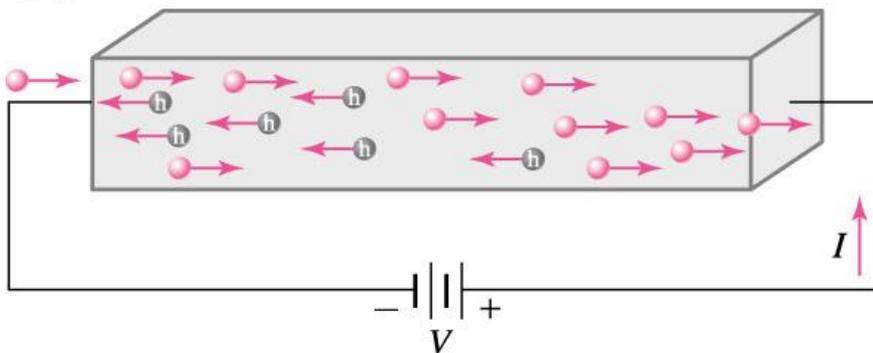
* 전류밀도
$$j = e(n\mu_n + p\mu_p)E$$

* 도전률
$$\sigma = \frac{j}{E} = e(n\mu_n + p\mu_p)$$

* 저항률
$$\rho = \frac{1}{e(n\mu_n + p\mu_p)}$$



5-3



● 전자
● 정공

전자는 +방향,
정공은 -방향
으로 이동

5.4 격자 산란

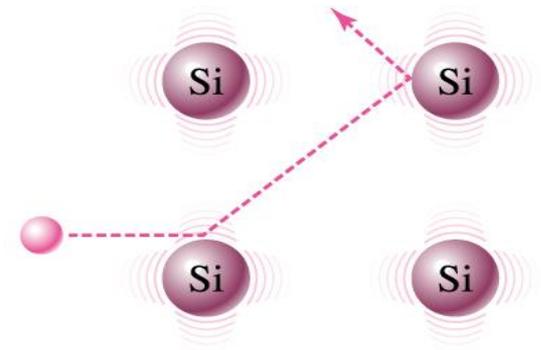
5.4.1 격자산란

- 결정 내 캐리어는 격자와 충돌하면서 열운동

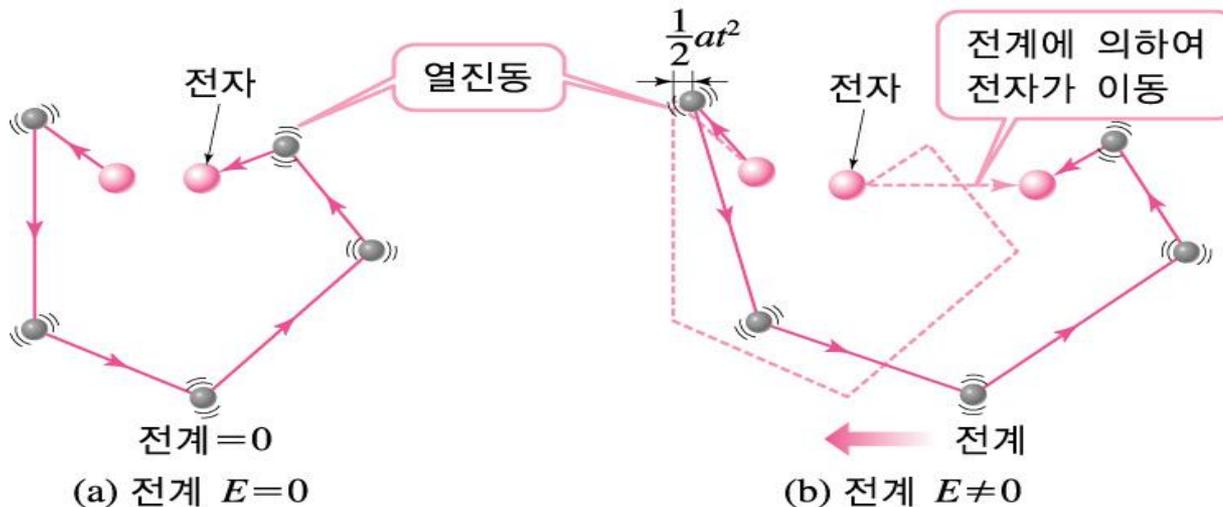
* 열운동에너지 : $\frac{3}{2} kT$

* 운동에너지와 관계: $\frac{1}{2} m_e^* v_{th}^2 = \frac{3}{2} kT, v_{th} = \sqrt{\frac{3kT}{m_e^*}}$

53



5-5



5.4 격자산란

- 반도체에서의 전자의 이동도

$$\mu_n = \frac{e}{m_n^*} \tau_n = \frac{e l_n^2}{m_n^* v_n} = \frac{e l_n^2}{\sqrt{3 m_n^* k T}} \quad [\text{cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}]$$

- 이동도 여러 가지 산란에 의하여 제어
 - * 고순도의 반도체 격자에 의한 산란만이 기여
 - * 저온 격자산란이 억제되고 이동도는 증가
 - * 불순물 반도체 불순물에 의한 캐리어의 산란 때문에 농도가 높은 만큼 이동도는 감소
- 이동도와 불순물 농도와의 관계 불순물이 낮은 영역에서는 이동도의 값은 크고 일정하지만, 불순물 농도가 $10^{16} [\text{cm}^{-3}]$ 보다 커지면 불순물산란 때문에 이동도는 감소

5.4 격자산란

- 반도체에서의 온도-저항률과의 관계

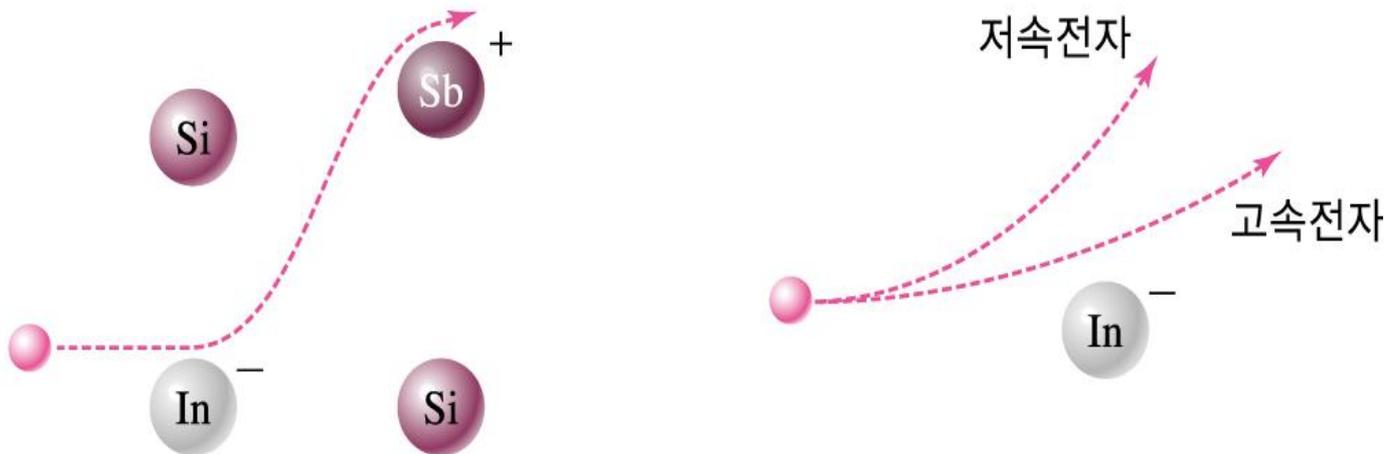


5.5 불순물 산란

5.5.1 온도에 따른 불순물 산란

- 불순물 반도체인 경우에는 어느 정도의 저온으로 되면 이동도 μ 는 감소
- * 저온에서 전자와 정공이 불순물에 의해 산란되어 생기는 현상
- 불순물 이온에 의한 산란

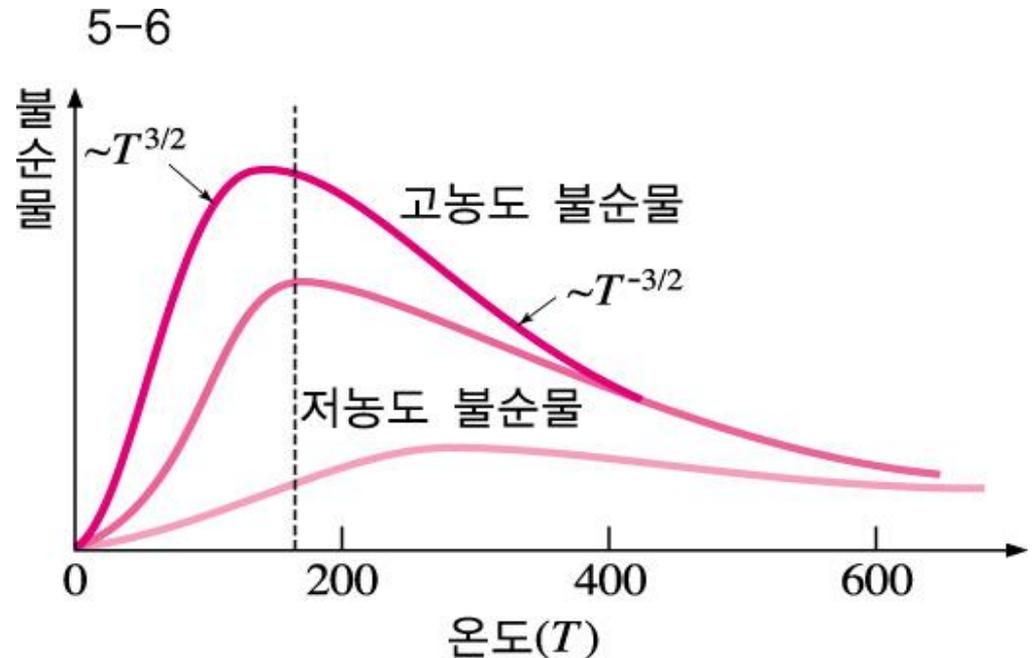
54



5.5 불순물 산란

5.5.1 온도에 따른 불순물 산란

- * 저온 영역에서는 $T^{3/2}$, 고온 영역에서는 $T^{-3/2}$
- * 저온영역 : 불순물에 의한 이동도가 지배
- 고온영역 : 결정격자 산란에 의한 이동도가 지배
- 중간온도 영역 : 최대

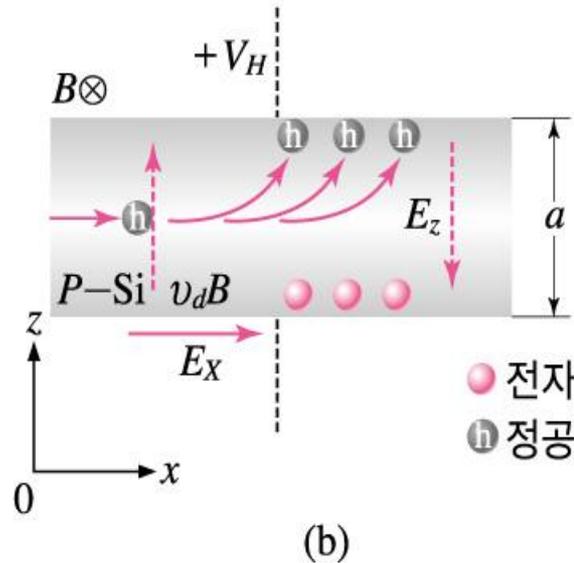
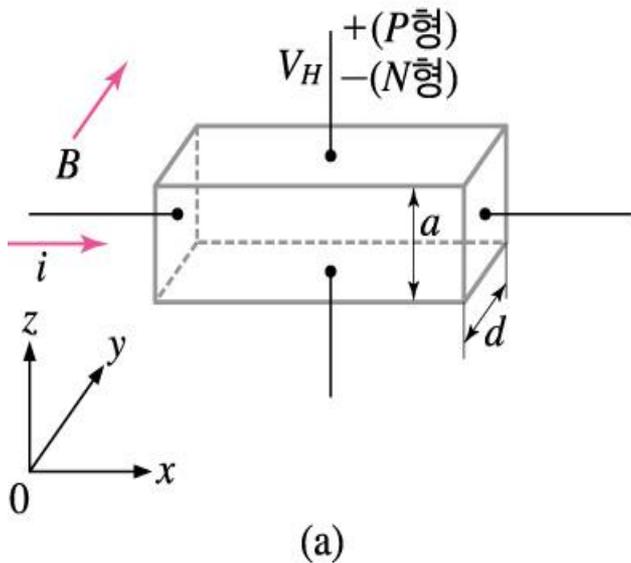


5.6 홀(Hall)효과

- 홀 효과(hall effect) : 전류가 흐르고 있는 반도체에 자계를 가하면 전자, 정공의 원운동으로 반도체 상.하에 전압이 발생하는 현상 $V_H = R_H \frac{IB}{d}$

* 정공이 전계에 의해 이동, 자속 B 에 의해 발생한 전자력의 영향으로 위쪽으로 구부러져 정공은 윗면으로 향하여 밑면과의 사이에 전압이 발생

5-7



자계힘으로 정공이 윗면, 전자가 아래면에 모임

● 전자
Ⓜ 정공

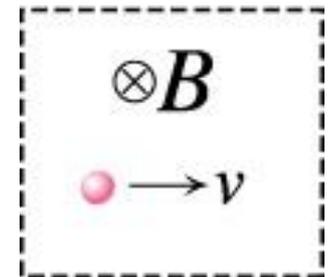
5.6 홀(Hall)효과

- 홀 효과(hall effect) 전류가 흐르고 있는 반도체에 자계를 가하면 전자, 정공의 원운동으로 반도체 상.하에 전압이 발생하는 현상

$$eEz + evdB = 0 \quad Ez = -vdB \quad V_H = -aEz = vdaB$$

$$Jp = pev, \quad i = Jpad = peadv$$

5-7-1



$$V_H = \frac{1}{pe} \frac{dB}{a} = R_H \frac{dB}{a}$$

$$R_H = \frac{1}{pe} \text{ [m}^3/\text{C]}$$

$$R_H = -\frac{1}{ne} \text{ [m}^3/\text{C]}$$

$$R_H = -\frac{3\pi}{8} \frac{1}{ne}$$

$$= \frac{3\pi}{8} \frac{1}{pe}$$

$$= 0$$

Hall Effect Prober

Sampling Chuck 주위에 Magnetic Field 를 형성시켜주어서 Sample에 Current를 흘려주면 Current가 자기장에 영향을 받게 되면 그것을 이용하여 특성을 측정하는 장비

