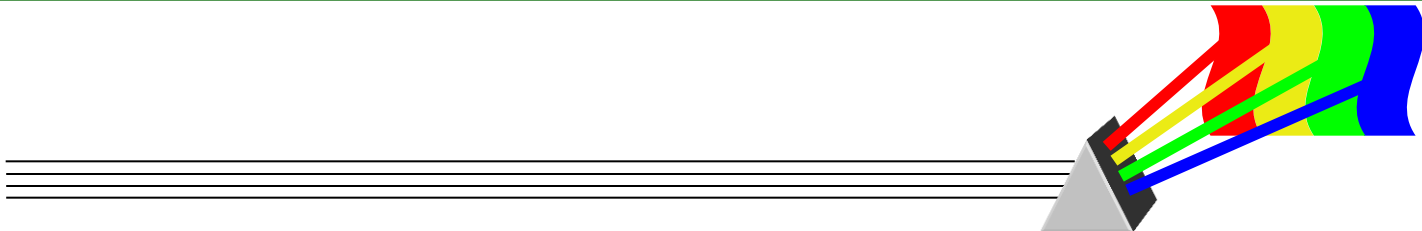


# Advanced Semiconductor Engineering

물리전자공학

## Chapter 06 PN Junction of Semiconductor



## Chapter 06

# PN Junction of Semiconductor

- 제 1 절 : PN 접합
- 제 2 절 : PN 접합 다이오드
- 제 3 절 : 다이오드의 커패시터
- 제 4 절 : 항복 현상
- 제 5 절 : 다이오드의 응용

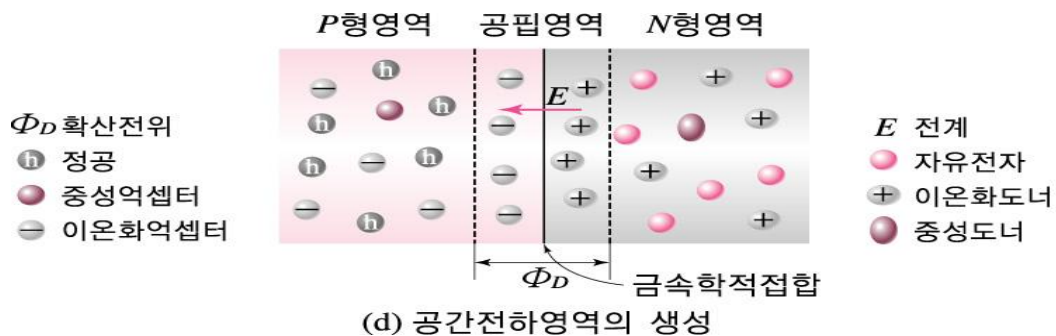
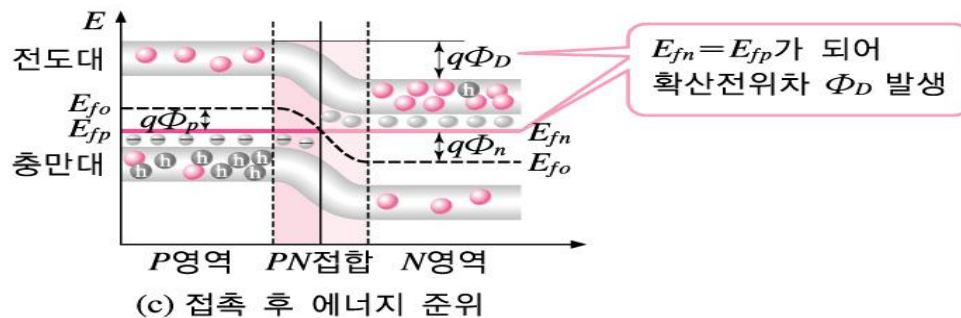
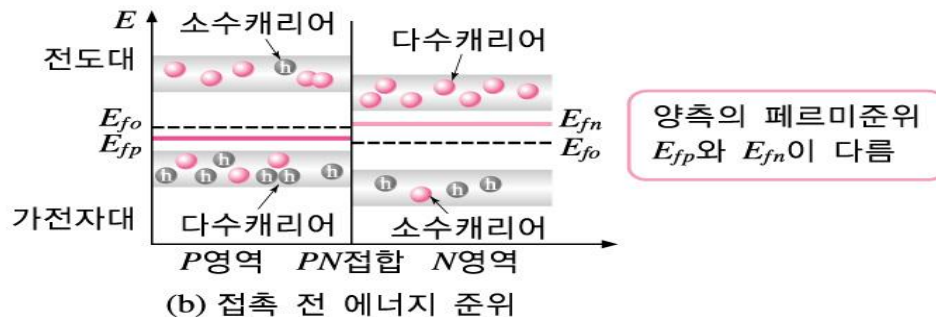
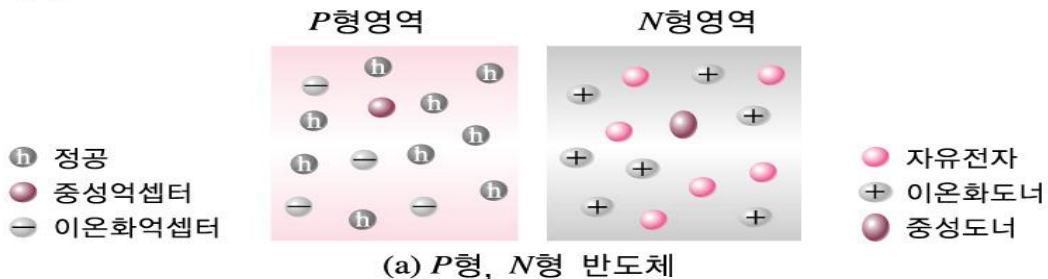
# 6.1 PN접합

## 6.1.1 공핍층

- **PN접합(PN junction):** P형 반도체와 N형 반도체가 결정(結晶)으로서 접촉하여 금속학적 접합을 이루고 있는 것
- \***공간전하영역(space charge region):** 접합부 부근에서 부(負) 전하인 억셉터 이온과 정(正)전하를 갖는 도너 이온이 존재하는 영역
- \***공핍층(空乏層 : depletion layer):** 공간전하영역 내의 전계에 의하여 캐리어가 존재하지 못하는 영역
- \***확산전위(擴散電位:diffusion potential):** 공핍층내의 전위차
- \***전위장벽(電位障壁 : potential barrier):** 전자와 정공의 확산을 저지하는 에너지 장벽

# 6.1 PN접합

## - PN접합의 형성



# 6.1 PN접합

## 6.1.2 확산 전위차

$$\phi_D = V_{bi} = \phi_n - \phi_p = \frac{E_{fn} - E_{fp}}{q} - \left( -\frac{E_{fb} - E_{fb}}{q} \right)$$

$$n_i = p_i = \sqrt{n_0 p_0}$$

$$n = n_i \exp\left(\frac{E_{fn} - E_{fb}}{kT}\right)$$

$$n_0 = N_c \exp\left(\frac{E_{fb} - E_c}{kT}\right)$$

$$p = p_i \exp\left(\frac{E_{fb} - E_{fp}}{kT}\right)$$

$$p_0 = N_v \exp\left(\frac{E_v - E_{fb}}{kT}\right)$$

$$n \approx N_d = n_i \exp\left(\frac{E_{fn} - E_{fb}}{kT}\right)$$

$$n = N_c \exp\left(\frac{E_{fn} - E_c}{kT}\right)$$

$$E_{fn} = E_{fb} + kT \ln \frac{N_d}{n_i} \quad E_{fp} = E_{fb} - kT \ln \frac{N_a}{n_i}$$

$$p = N_v \exp\left(\frac{E_v - E_{fp}}{kT}\right)$$

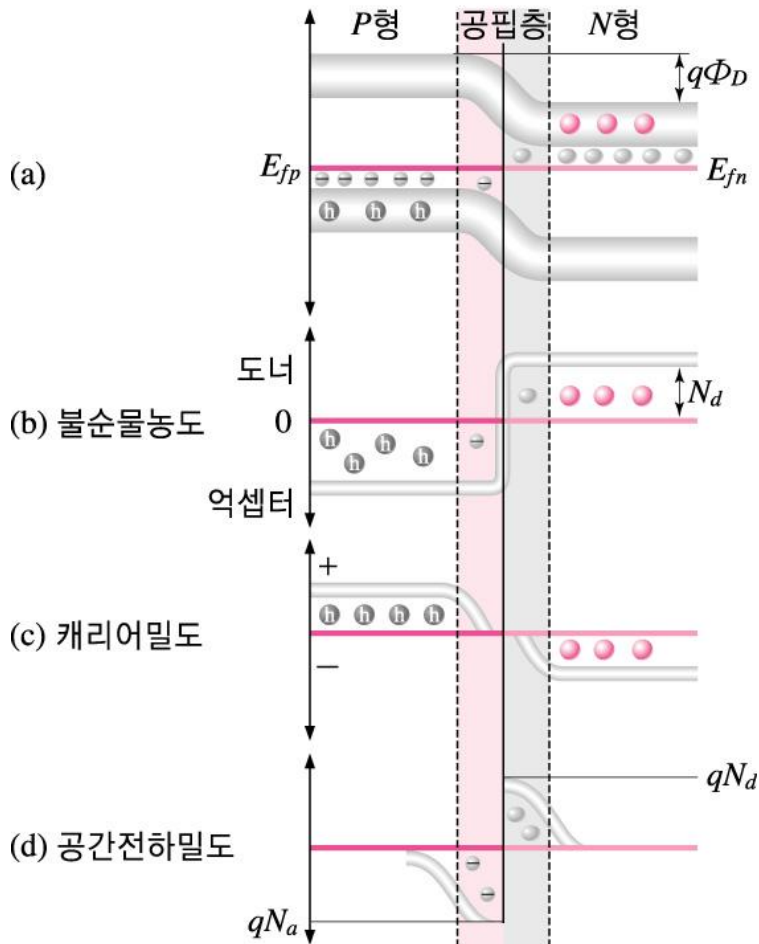
$$\phi_D = \frac{kT}{q} \ln \frac{N_d N_a}{n_i^2} = \frac{kT}{q} \ln \frac{p_{p0} n_{n0}}{p_{i0} n_{i0}}$$

# 6.1 PN접합

## 6.1.3 공핍층의 전계

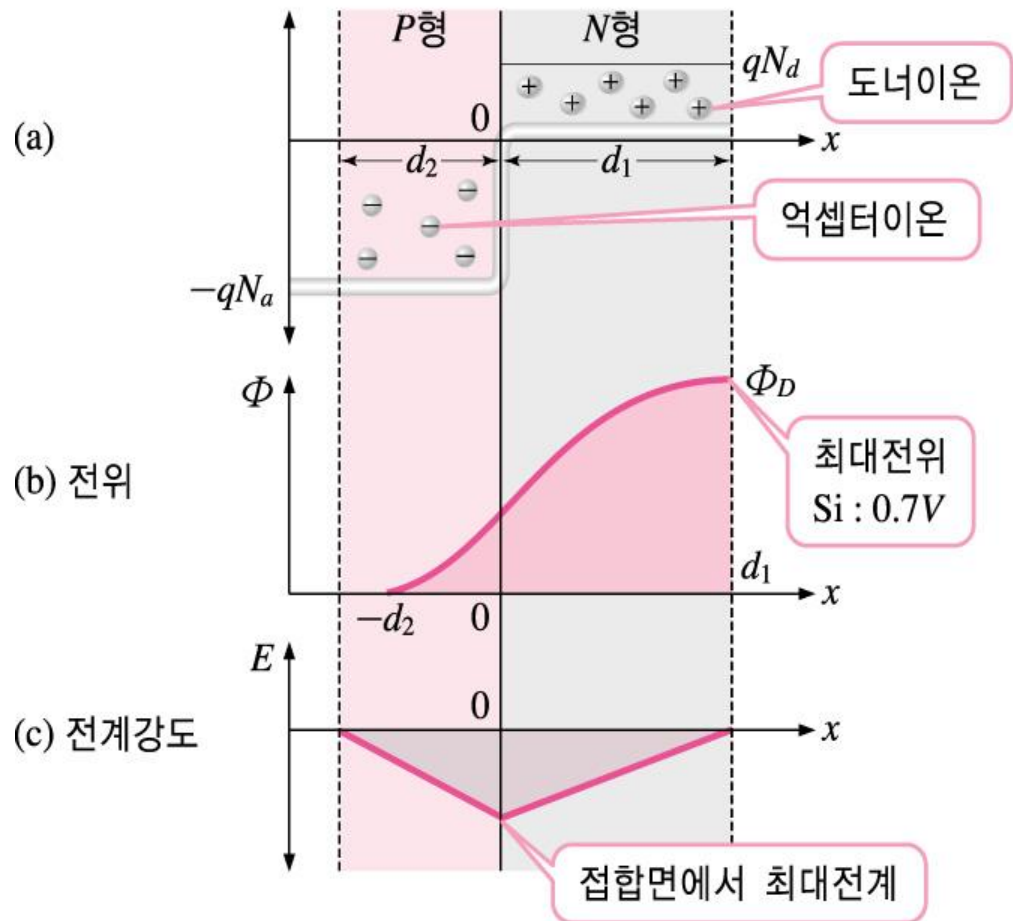
### - PN접합의 불순물 분포

6-2



### - PN접합의 전계 및 전위

6-3



# 6.1 PN 접합

## 6.1.5 공핍층의 전계

- 전계의 분포 정전계(靜電界)의 기본식인 푸아송(Poisson) 방정식

$$\frac{d^2V}{dx^2} = -\frac{\rho}{\epsilon_0\epsilon_s}$$

$$E(x) = -\int \frac{qN_a}{\epsilon_0\epsilon_s} dx = -\frac{qN_a}{\epsilon_0\epsilon_s} x + C$$

$$\frac{d^2V}{dx^2} = -\frac{q[p(x) - n(x) - N_a]}{\epsilon_0\epsilon_s} \quad (P\text{형 영역})$$

$$E(x) = -\frac{qN_a}{\epsilon_0\epsilon_s} (x + d_2)$$

$$= -\frac{q[p(x) - n(x) + N_d]}{\epsilon_0\epsilon_s} \quad (N\text{형 영역})$$

$$E(x)|_{x=0} = -\frac{qN_a}{\epsilon_0\epsilon_s} d_2$$

$$\frac{d^2V}{dx^2} = +\frac{qN_a}{\epsilon_0\epsilon_s} \quad (P\text{형 영역})$$

$$= -\frac{qN_d}{\epsilon_0\epsilon_s} \quad (N\text{형 영역})$$

$$E(x) = \frac{qN_d}{\epsilon_0\epsilon_s} (x - d_1)$$

$$E(x) = -\frac{dV(x)}{dx}$$

$$E(x)|_{x=0} = -\frac{qN_d}{\epsilon_0\epsilon_s} d_1$$

$$\frac{dE}{dx} = -\frac{qN_a}{\epsilon_0\epsilon_s} \quad (P\text{형 영역}) = +\frac{qN_d}{\epsilon_0\epsilon_s} \quad (N\text{형 영역})$$

$$N_a d_2 = N_d d_1$$

# 6.1 PN접합

## 6.1.4 전위분포

$$V(x) \Big|_{x=0} = \frac{qN_a}{\epsilon_0 \epsilon_s} \frac{1}{2} d_2^2 \quad V(x) = -\frac{qN_d}{\epsilon_0 \epsilon_s} \left[ \frac{1}{2} x^2 - d_1 x \right] + \frac{qN_a}{\epsilon_0 \epsilon_s} \frac{d_2^2}{2}$$

## 6.1.5 공핍층의 폭

$$\begin{aligned} \Phi_D &= \frac{qN_d}{2\epsilon_0 \epsilon_s} d_1^2 + \frac{qN_a}{2\epsilon_0 \epsilon_s} d_2^2 & d_2 &= \sqrt{\frac{2\epsilon_0 \epsilon_s}{qN_a(1+N_a/N_d)}} \sqrt{\Phi_D} \\ &= \frac{q}{2\epsilon_0 \epsilon_s} [N_d d_1^2 + N_a d_2^2] & d_1 &= \sqrt{\frac{2\epsilon_0 \epsilon_s}{qN_d(1+N_d/N_a)}} \sqrt{\Phi_D} \\ \Phi_D &= \frac{qN_a}{2\epsilon_0 \epsilon_s} d_2^2 \left[ 1 + \frac{N_a}{N_d} \right] & d &= d_1 + d_2 = \sqrt{\frac{2\epsilon_0 \epsilon_s \Phi_D}{q} \left[ \frac{N_a + N_d}{N_a N_d} \right]} \\ \Phi_D &= \frac{qN_d}{2\epsilon_0 \epsilon_s} d_1^2 \left[ 1 + \frac{N_d}{N_a} \right] & \frac{d_2}{d_1} &= \frac{N_d}{N_a} \end{aligned}$$



# 6.2 PN접합 다이오드

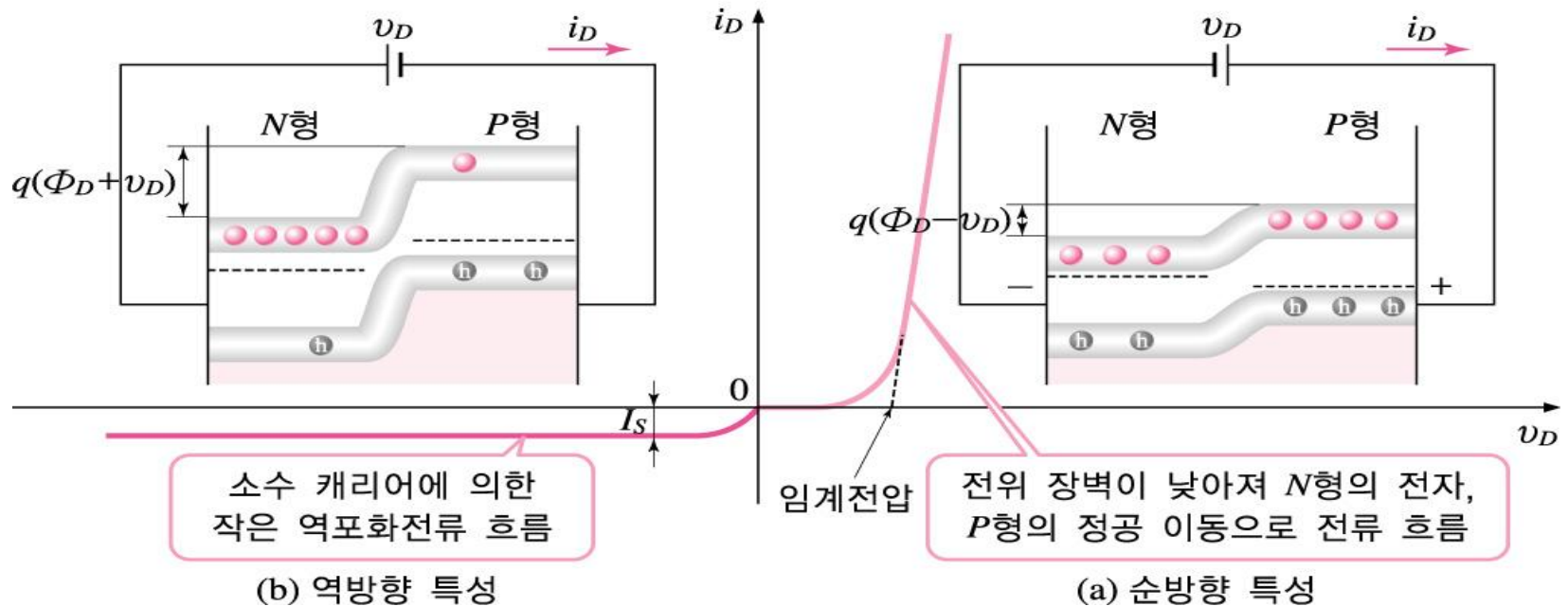
## 6.2.1 정류 특성

- 정류특성(rectification) 한 방향으로서는 전류가 잘 흐르나, 반대 방향으로서는 전류가 흐르지 못하는 현상

\* 순방향특성(順方向特性, forward characteristics)

\* 역방향특성(逆方向特性 : reverse characteristics)

6-4

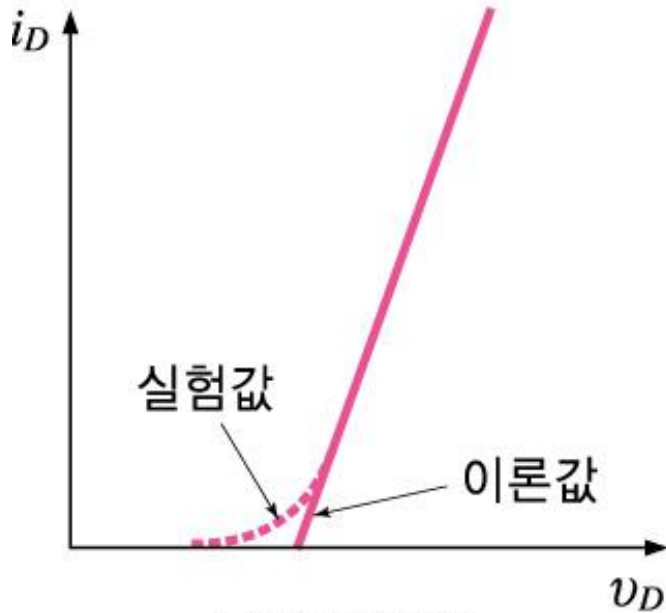


# 6.2 PN접합 다이오드

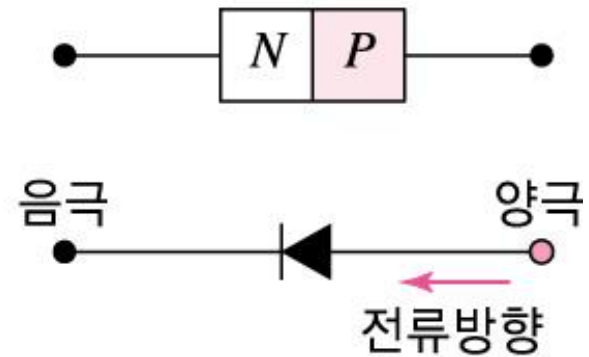
## 6.2.2 PN접합 다이오드의 전류

- PN접합 다이오드의 임계전압과 기호

6-5



(a) 임계전압

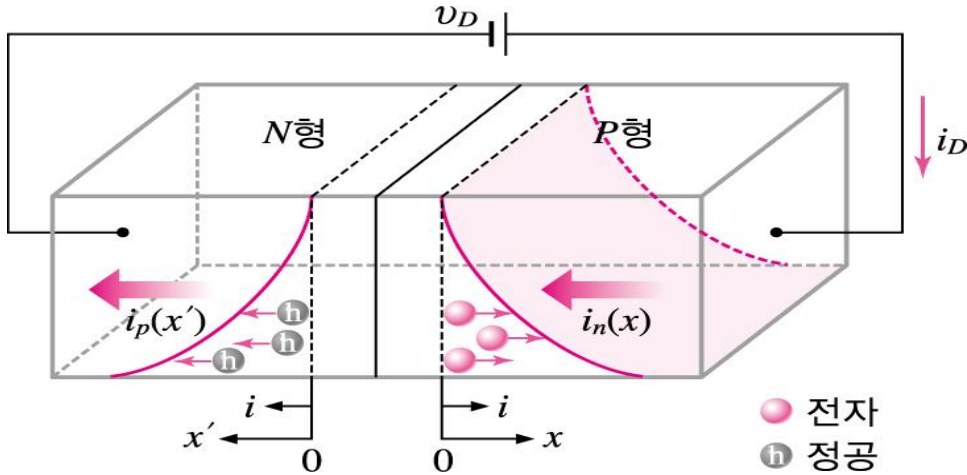


(b) 기호

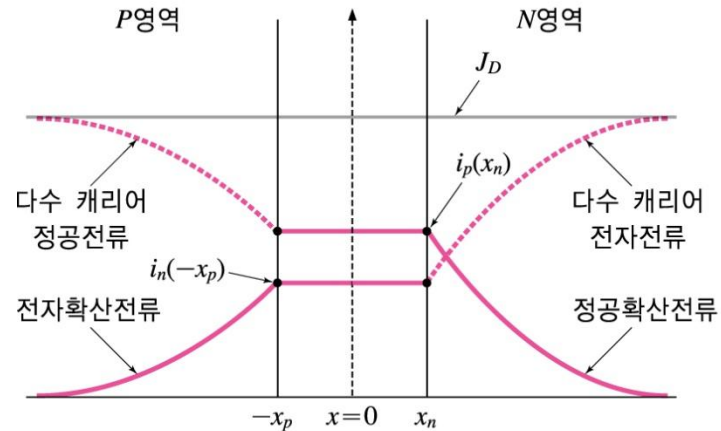
# 6.2 PN접합 다이오드

## 6.2.2 PN접합 다이오드의 전류

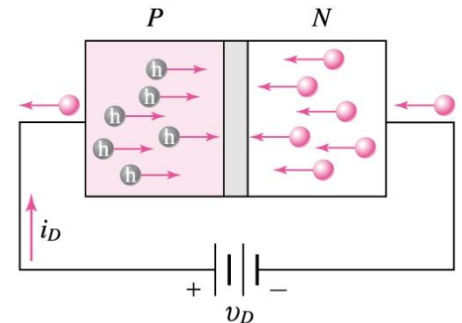
추가29



추가27



(a)



(b)

## 6.2 PN접합 다이오드

### 6.2.2 PN접합 다이오드의 전류

$$i_p(x') = -eD_p \frac{d\phi}{dx}$$

$$i_n(x) = eD_n \frac{d\phi}{dx}$$

$$i_n(x) = -e \frac{D_n}{l_n} n_{\infty} \left\{ \exp\left(\frac{ev_D}{kT}\right) - 1 \right\} \exp\left(-\frac{x}{l_n}\right)$$

$$i_p(x') = -e \frac{D_p}{l_p} p_{\infty} \left\{ \exp\left(\frac{ev_D}{kT}\right) - 1 \right\} \exp\left(-\frac{x'}{l_p}\right)$$

$$J_D = i_n(x) + i_p(x') = i_s \left\{ \exp\left(\frac{ev_D}{kT}\right) - 1 \right\} \quad i_s = -e \left( \frac{D_n}{l_n} n_{\infty} + \frac{D_p}{l_p} p_{\infty} \right)$$

$$i_D = I_s \left\{ \exp\left(\frac{ev_D}{kT}\right) - 1 \right\}$$

## 6.2 PN접합 다이오드

### 6.2.3 PN접합의 정특성

$$i_D = I_s \left[ \exp \left( \frac{e v_D}{kT} \right) - 1 \right]$$

$$\begin{aligned} I_s &= eS \left[ \frac{D_p p_{D0}}{l_p} + \frac{D_n n_{D0}}{l_n} \right] = eS \left[ \frac{l_p p_{D0}}{\tau_p} + \frac{l_n n_{D0}}{\tau_n} \right] \\ &= eS \left[ \frac{D_p}{N_A l_p} + \frac{D_n}{N_D l_n} \right] n_i^2 \end{aligned}$$

$$i_D \approx I_s \exp \left( \frac{e v_D}{kT} \right) \quad v_D \gg \exp(e v_D / kT)$$

$$i_D \approx -I_s \quad v_D \gg (kT/e)$$

## 6.2 PN접합 다이오드

### 6.2.4 공핍층영역의 변화

- PN접합 다이오드에 외부에서 순바이어스 전압을 공급하면 공급전압만큼 전위장벽이 낮아짐
- PN접합 다이오드에 역방향전압을 인가하면 공급전압만큼 전위장벽이 높아짐

$$d_2 = \sqrt{\frac{2\epsilon_0\epsilon_s}{qN_a(1+N_a/N_d)}} \sqrt{\phi_D - v_D} \quad d_1 = \sqrt{\frac{2\epsilon_0\epsilon_s}{qN_d(1+N_d/N_a)}} \sqrt{\phi_D - v_D}$$