

10.1 바이폴라 트랜지스터의 구조와 동작원리

(1) 역방향 전압이 인가된 pn 접합 다이오드의 역방향전류

① 중성영역내의 소수 캐리어의 확산에 의해 형성된 전류

$$I_s = I_{rev,neutral} = qAn_i^2 \left\{ \frac{D_p}{L_p} \frac{1}{N_D} \frac{1}{\tanh\left(\frac{W_n}{L_p}\right)} + \frac{D_n}{L_n} \frac{1}{N_A} \frac{1}{\tanh\left(\frac{W_p}{L_n}\right)} \right\}$$

② 공간전하영역에서 열생성된 ehp 의 $drift$ 전류

$$I_g = I_{rev,SCR} = A \int_{-x_p}^{x_n} qg_{th} dx \approx qA \frac{n_i}{2\tau_0} W_{scr} \quad , \quad W_{scr} = \sqrt{\frac{2\epsilon_{si}}{q} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) (V_{bi} + V_R)}$$

Chapter 10. 바이폴라 트랜지스터의 전류-전압특성

(2) 역방향 전압이 인가된 pn 접합의 역방향 전류 조절

- ① 온도를 가변하여 공간전하영역의 열생성 캐리어를 조절하여 역방향 전류를 조절(열감지 소자)

$$I_{g,th} = I_{rev,scr} = qA \frac{n_i}{2\tau_0} W_{scr} = qA \frac{1}{2\tau_0} W_{scr} \sqrt{N_v N_c} e^{-\frac{E_g}{2kT}}$$

- ② pn 접합 다이오드의 공간전하영역에 빛을 가한 경우 ehp 가 발생(광생성)하여 역방향 전류가 증가합니다

$$I_{g,opt} = Aq \int_{-x_p}^{x_n} g_{opt} dx = qAg_{opt}W_{scr} = qAW_{scr}\alpha P_{opt}$$

- ③ pn 접합 다이오드의 중성영역에 빛을 가한 경우 중성영역에서 발생한 ehp 가 공간전하영역 경계에 도달하고 이 중 전자가 드리프트되어 n 영역으로 이동합니다

Chapter 10. 바이폴라 트랜지스터의 전류-전압특성

(3) pn 접합 2개로 구현된 바이폴라 트랜지스터의 구조와 동작

바이폴라 트랜지스터는 인접한 2개의 pn 접합이 p 형 또는 n 형을 공유하도록 구성된 구성으로 pnp 또는 nnp 접합이 있습니다

① 에미터(emitter) 접합(nnp 접합)

도핑이 많이 된 n^+ 에미터와 p 형 베이스 사이의 접합으로 순방향 전압 인가 시 전자와 정공에 대한 에너지 장벽이 낮아져 전자와 정공이 각각 베이스와 에미터로 각각 주입됩니다

② 콜렉터(collector) 접합(nnp 접합)

베이스(Base)와 콜렉터(Collector)에 역방향 전압이 인가되면 Base(p 형)의 전자에 대한 장벽이 낮아져 전자가 Base(p 형)에서 Collector(n^- 형)으로 쉽게 드리프트되어 전류가 생성됩니다

- ③ 베이스 중성영역 길이(W_B)가 과잉캐리어의 확산길이(L_{nB})에 비해서 짧은 경우 재결합 없이 베이스와 콜렉터의 경계지역으로 확산됩니다

Chapter 10. 바이폴라 트랜지스터의 전류-전압특성

② 바이폴라 트랜지스터의 콜렉터 전류 I_c (nnp 접합 순방향 능동상태)

$$I_c = A(J_{nc} + J_{co} + J_g) = I_{nc} + I_{co} + I_g$$

I_{nc} : 에미터로부터 주입되어 콜렉터로 수집되는 전자에 의한 전류

I_{co} : 역방향 전압이 인가된 콜렉터 중성영역에서 정공에 의한 확산전류

I_g : 콜렉터 접합의 공간전하영역에서 열생성된 ehp 중 콜렉터로 드리프트된 전자에 의한 열생성 전류

순방향 전압을 인가한 에미터 접합에서는 베이스에서 에미터로 정공이 주입됩니다. 이러한 전류는 최소로 유지해야 되며 이를 위해 에미터의 도너 도핑은 베이스의 억셉터 도핑보다 훨씬 많아야 됩니다

ex) nnp 바이폴라 트랜지스터의 에미터, 베이스, 콜렉터의 도핑농도가 $N_{DE} \gg N_{AB} \gg N_{DC}$ 이다. 이 트랜지스터의 $\rho, D, \varepsilon, \psi, E$ 를 도식화 하시오

Sam's Math & Application

Chapter 10. 바이폴라 트랜지스터의 전류-전압특성

(4) npn 바이폴라 트랜지스터의 동작상태 구분

① 순방향 능동상태

$V_{BE} > 0$, $V_{BC} < 0$ 이며 신호증폭기 동작에 적합합니다

$$\text{에미터 : } p = p_{E0} + \delta p , \quad p_{E0} = \frac{n_i^2}{N_{DE}} , \quad p_E(0) = p_{E0} e^{\frac{V_{BE}}{V_{th}}} , \quad p_E(W_B) = p_{E0}$$

$$\text{베이스 : } n = n_{B0} + \delta n , \quad n_{B0} = \frac{n_i^2}{N_{AB}} , \quad n_B(0) = n_{B0} e^{\frac{V_{BE}}{V_{th}}} , \quad n_B(W_B) = n_{B0} e^{\frac{V_{BC}}{V_{th}}}$$

$$\text{컬렉터 : } p = p_{C0} + \delta p , \quad p_{C0} = \frac{n_i^2}{N_{DC}} , \quad p_C(0) = p_{C0} e^{\frac{V_{BC}}{V_{th}}} , \quad p_C(W_C) = p_{C0}$$

② 역방향 능동상태

$V_{BE} < 0$, $V_{BC} > 0$ 이며 컬렉터의 전자가 베이스를 거쳐 에미터로 주입되는 모드로서 순방향 능동상태에서 에미터와 컬렉터가 기능이 바뀐 형태입니다

Chapter 10. 바이폴라 트랜지스터의 전류-전압특성

③ 차단상태(Off)

$V_{BE} > 0$, $V_{BC} < 0$ 인 경우이며, 역방향 누설전류만 흐르게 됩니다. 전류 차단 동작이 필요한 경우 사용 되는 동작상태입니다

④ 포화상태

$V_{BE} > 0$, $V_{BC} > 0$ 인 경우이며, 모두 순방향 전압이 인가되어 모든 n 형 반도체가 에미터로 동작합니다
일반적으로 $V_{BE} > V_{BC}$ 이며 V_{EC} 가 증가할수록 I_c 가 증가합니다

ex) npn 형 Si 바이폴라 트랜지스터의 에미터, 베이스, 컬렉터의 도핑농도가 $N_{DE} = 5 \times 10^{18}[cm^{-3}]$, $N_{AB} = 10^{17}[cm^{-3}]$, $N_{DC} = 10^{16}[cm^{-3}]$ 이고 $T = 300[K]$, $V_{th} = 0.025[V]$, $n_i = 10^{10}[cm^{-3}]$ 일 때,

① 열평형 상태에서 에미터 접합의 내부전압 V_{bie} 와 컬렉터 접합의 내부전압 V_{bic} 를 구하시오

Chapter 10. 바이폴라 트랜지스터의 전류-전압특성

- ② 열평형 상태에서 에미터에 존재하는 전자에 대해 형성된 에너지 장벽을 구하시오

Sam's Math & Application