Chapter 5. 전하의 이동과 전류형성

5.1 전계에 의한 드리프트 전류와 이동도

(1) 전계에 의한 전자와 정공의 드리프트

외부에서 인가된 전계에 의해 전하(전도대역 전자와 가전자대역 정공)가 이동하여 발생하는 전류를 드리프트(drift)전류라 하고 이 때, 전자와 정공의 속도를 드리프트(drift) 속도라고 합니다

① 약한 전계의 경우

$v_d = \mu\mathcal{E}$, $J_d = \sigma\mathcal{E}$, μ : *이동도*$(mobility)$, σ : *전도도*$(conductivity)$ $\mathcal{E}$: *전계* $(Electric\ Field)$

v_d : *드리프트 속도*$(drift\ velocity)$, J_d : *드리프트 전류밀도*$(Drift\ Current\ density)$

② 강한 전계의 경우

드리프트 속도와 전류가 포화되어 일정한 값을 가집니다

(2) 드리프트 전류의 형성과 이동도

① 이동도$(mobility)$: 이동도는 약한 전계에서 드리프트 속도와 전계 사이의 비례상수이며, 이동 원자와의 충돌로 인하여 영향을 받습니다

ⓐ 평균 충돌(자유) 시간 : 캐리어가 충돌없이 이동이 자유로운 시간으로 τ_c로 나타냅니다

ⓑ 평균 충돌(자유) 거리 : 캐리어가 충돌없이 이동 가능한 거리로 l_c로 나타냅니다

ⓒ 충돌 시 운동량 변화에 의한 감속력이 발생합니다

Sam's Math & Application

$\vec{F_c} = \frac{d\vec{p}}{dt} = -\frac{m^*\vec{v}}{\tau_c}$, 다수 충돌 시에는 $\vec{F_c} = \sum_i \frac{d\vec{p_i}}{dt}$ 가 됩니다

② 정상상태(직류전압인가)에서의 이동도(약한 전계)

전계에 의한 힘과 충돌에 의한 감쇠력이 서로 상쇄되어 일정한 속도로 이동하게 됩니다

$Q\vec{\mathcal{E}} = \frac{m^*\vec{v}_d}{\tau_c}$, $\vec{v}_d = \mu\vec{\mathcal{E}}$ 에서 $\mu = \frac{Q\tau_c}{m^*}$ 가 됩니다

정공과 전자에 대한 이동도를 각각 μ_p , μ_n 이라고 하면,

$\mu_p = \frac{q\tau_c}{{m_p}^*}$, $\mu_n = \frac{q\tau_c}{{m_n}^*}$ 가 됩니다

ex) 전계가 인가된 반도체 내에서 충돌 직전의 전자의 속도를 구하시오(단, 평균 충돌 길이는 l_c이다)

Sam's Math & Application

Chapter 5. 전하의 이동과 전류형성

③ 강한 전계에서 캐리어 이동속도의 포화

전계의 이동속도가 전계에 비례하지 않고 포화되는 경우입니다

이는 캐리어가 반도체에서 이동하는 동안 격자와 충돌하면서 에너지 교환과정을 통해 에너지 평형상태를 이루어 전계에 의한 드리프트 속도가 변하지 않는 포화상태에 이른 것을 의미합니다

이 경우 캐리어의 운동에너지는 평균 열에너지보다 크며, 운동에너지가 평균 열에너지와 같은 경우 드리프트 속도의 포화가 시작됩니다. 이 상태의 전자를 과잉 전자(hot electron)이라고 합니다

$$E_k[eV] = \frac{1}{2}m^* {v_{th}}^2 = \frac{3}{2}kT \quad , \quad v_{th} = \sqrt{\frac{3kT}{m^*}} \left[\frac{cm}{s}\right]$$

그러나 충돌로 인한 에너지 손실이 거의 없을 경우 과열 캐리어 상태에서 캐리어의 이동이 나타나는 경우가 있는데 이를 초고속 전송 현상이라고 하며 $v_{ball} \gg v_{th}$ 가 됩니다

또한 3-5족 화합물에서는 전계가 증가하는 경우 전자의 유효질량이 증가하여 이동도가 감소하는 현상도 나타납니다

Sam's Math & Application

Chapter 5. 전하의 이동과 전류형성

(3) 전기전도도와 비저항

① 드리프트 전류밀도

$$\vec{J}_{p,drift} = qp\mu_p\vec{\mathcal{E}} \ , \ \vec{J}_{p,drift} = (-qn)(-\mu_n\vec{\mathcal{E}}) = qn\mu_n\vec{\mathcal{E}}$$

q : 전하량 , p : 정공농도 , n : 전자농도 , $\vec{\mathcal{E}}$: 전계 , μ_p : 정공의 이동도 , μ_p : 전자의 이동도

② 전기전도도

$$\vec{J}_{drift} = \vec{J}_{p,drift} + \vec{J}_{n,drift} = qp\mu_p\vec{\mathcal{E}} + qn\mu_n\vec{\mathcal{E}} = q(p\mu_p + n\mu_n)\vec{\mathcal{E}} = \sigma\vec{\mathcal{E}} \text{ 에서 } \sigma = q(p\mu_p + n\mu_n)$$

다수 캐리어가 소수 캐리어보다 농도가 월등히 높기 때문에 전기전도도는 주로 다수 캐리어에 의해서 결정됩니다

③ 비저항

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{q(p\mu_p + n\mu_n)} \approx \frac{1}{qN_{o,maj}\mu_{maj}}$$

Sam's Math & Application