

Current Flow in semiconductor (drift, diffusion))

정주안

2025년 8월 16일

키워드: diffusion, Einstein relations, (drift conduction은 전자기학(1) 참고)

개념

1 Drift

반도체 내에서 전하 캐리어의 움직임(전류)에는 두 가지가 있다. 하나는 drift이고, 또 하나는 diffusion이다.

Drift는 전기장에 의해 전류가 흐르는 것이다. 전하 움직임에 대한 공식은 다음과 같으며, 자세한 설명은 전자기학을 참고하자.

$$\vec{v} = -\mu_e \vec{E} \quad (\mu_e : \text{mobility of electron} = 1350 \text{cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s})$$

$$\vec{J} = ne\vec{v} = -ne\mu_e \vec{E}$$

여기에서 물질의 비저항을 $\rho = -\frac{1}{ne\mu_e}$ 로 정의하여

$$\vec{E} = \rho \vec{J} \quad (\text{미시적 옴의 법칙})$$

$$R = \rho \frac{l}{A} = -\frac{l}{ne\mu_e A}$$

전자와 양공의 drift를 모두 합하여

$$\text{total drift current density} = \vec{J} = (p\mu_p + n\mu_e)q\vec{E}$$

(mobility of hole: $\mu_p = 400 \text{cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$)

2 확산(diffusion)

Diffusion: movement of charge carriers from a region of high concentration to a region of low concentration.

확산 속도와 밀도의 관계는 Fick's law를 따른다.

$$\text{Fick's law: } J = -D \frac{\partial n}{\partial x}$$

밀도가 가파르게 변할수록 그 지점에서 확산 속도가 빠르다.

$$\text{Diffusion Current: } J_n = -D_n \frac{\partial n}{\partial x}(-q) = D_n \frac{\partial n}{\partial x} q$$

양공의 확산까지 고려하여

$$J = (D_n \frac{\partial n}{\partial x} - D_p \frac{\partial p}{\partial x})q \quad (D_n = 34 \text{cm}^2 / \text{s}, D_p = 20 \text{cm}^2 / \text{s})$$

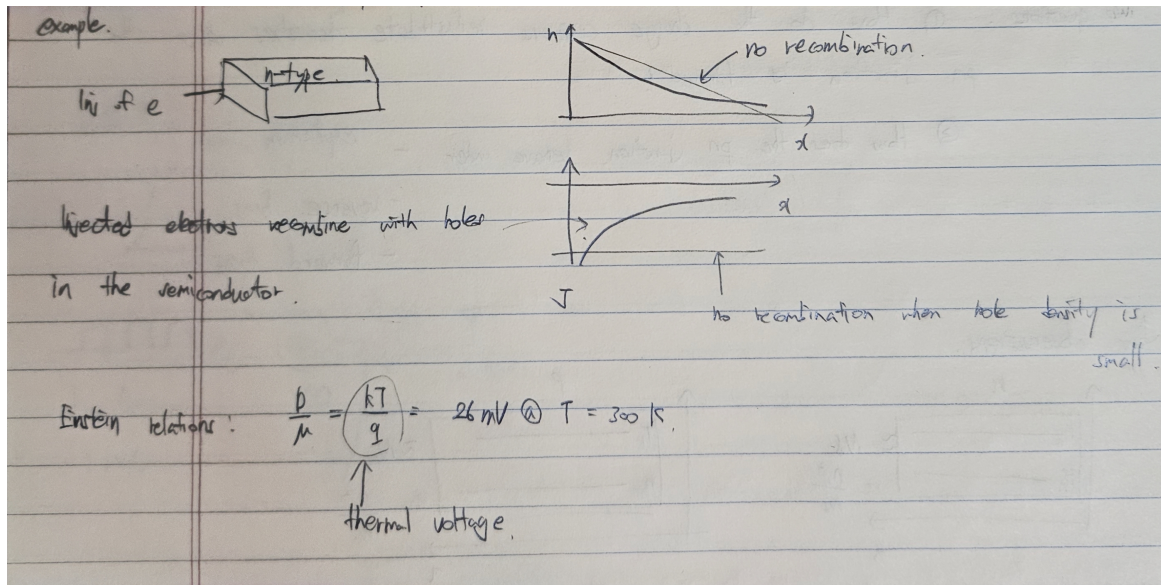


그림 1: 확산 예시

n-type 반도체의 한 쪽에 전자를 주입한 상황이다. 그림에서는 x 가 증가함에 따라 마치 전류의 크기가 보존되지 않는 것 처럼 보인다. 이는 전자가 이동하면서 양공과 결합해 전류의 크기가 줄어들기 때문이다. 만약 recombination이 없다면 밀도는 x 에 따라 linear하게 변하고, 전류는 x 에 대해 일정하다.

전하 캐리어의 mobility와 diffusivity는 Einstein relation을 따른다.

Einstein relation: $\frac{D}{\mu} = \frac{kT}{q} = 26mV$ at $T = 300K$

mobility와 diffusivity 중 하나를 알면 나머지 하나를 구할 수 있게 된다.

비고

노트. 물리전자 내용 참고하기

참고 자료

[1] lazavi microelectronics