第７回　半導体中の電気伝導

※本日の講義のポイント

半導体中の電子および正孔の加速と散乱からなる伝導の素過程を理解する。

<u>電気伝導</u>

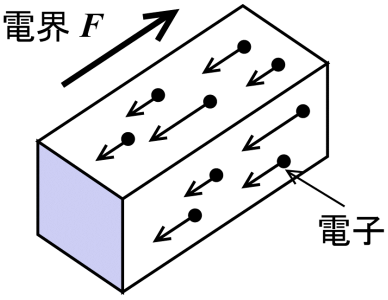
電荷の担い手：キャリア

金属や半導体の場合のキャリア

	電荷量	有効質量
電子	-q	m_e*(>0)
正孔	+q	m_h*(<0)

（q = 1.602×10^{-19} C）

まずは金属の場合(伝導電子がキャリアとなる)



キャリア濃度：n [cm^{-3}]

電圧を印加したときの電子の平均の速度：v (cm/s)

↓

電流密度(単位断面積、単位時間当たりに通過する電荷量)

$i = qnv$ [A/cm^2]

(電圧を印加したときの電子の速度) ∝ (電界) なので

$v = \mu F$　<u>ドリフト速度</u>

ドリフト：電界に引かれて電子が移動する現象

μ [cm^2/V･s]：電子移動度

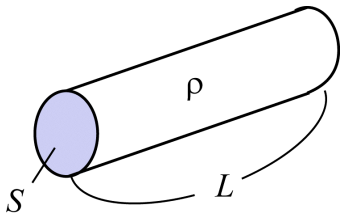
２つの式をあわせると

$i = qn\mu F = \sigma F$ ← 電流密度は電界に比例（オームの法則）

$\sigma = qn\mu$ [S/cm] 導電率：電流の流れやすさ

$\rho = \dfrac{1}{\sigma}$ [Ω･cm] 抵抗率：電流の流れにくさ

抵抗 $R = \dfrac{L}{S}\rho$ [Ω]



（例）銅のドリフト速度

μ = 43 cm^2/V･s、F = 0.01 V/cm とすると

v = 0.43 cm/s

一方、銅のフェルミ速度は(第 3 回講義資料参照)

v_F = 1.33×10^8 cm/s

明らかに $v_F \gg v$ である

ドリフト速度：電界の向きに沿った方向への速度

↕

フェルミ速度：ランダムな方向への速度（時間平均すると打ち消しあう）

→ランダムな運動は電流には寄与しない

<u>電界に加速され散逸により減速されつつ進む電子の挙動</u>

・ 時刻 t=0 で$\langle v_0 \rangle$の平均速度を持っている状態で、電界を切ったときの電子の平均速度

→電子は散乱によって減速していく

<u>電子は格子振動をしている原子核に衝突しながら進む</u>

減速の効果を速度に比例する抵抗力(kv)として表す（速度が増加すれば衝突回数が増加）

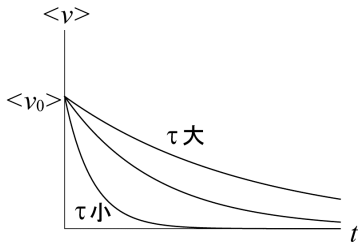
運動方程式

$$m_e^* \frac{d\langle v \rangle}{dt} = -qF - k\langle v \rangle$$

電界を切ると→F=0

$$m_e^* \frac{d\langle v \rangle}{dt} = -k\langle v \rangle \Rightarrow \langle v \rangle = \langle v_0 \rangle \exp\left(-\frac{k}{m_e^*}t\right) \qquad (\tau = m_e^*/k)$$

$$\equiv \langle v_0 \rangle \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$



(τ：緩和時間、大きいほど衝突しにくい→抵抗が小さくなる)

電子の速度が減速するのに $-\frac{m_e^*}{\tau}\langle v \rangle$ の力が働いていることになる

・ 定常状態（速度が一定）のときの電子の平均速度

速度一定→ $\frac{d\langle v \rangle}{dt} = 0$ より $0 = -qF - \frac{m_e^*}{\tau}\langle v \rangle$

$$\langle v \rangle = -\frac{q\tau}{m_e^*}F$$

この結果から電子移動度μと導電率σは

$$\mu = \frac{q\tau}{m_e^*}, \quad \sigma = \frac{nq^2\tau}{m_e^*}$$