# 第９回　伝導電子の散乱とホール効果

※本日の講義のポイント

半導体中の移動度の温度依存性にまつわる散乱の素過程の要因を理解する。また、磁場中のキャリアの挙動からキャリアの種類、キャリア濃度、移動度を求めることができるホール効果について理解する。

## 半導体の電気伝導

キャリアは電子と正孔の２つ

・ 導電率

電子・正孔の移動度をそれぞれ$\mu_e$、$\mu_h$とすると

$$\sigma = q(n\mu_e + p\mu_h) \quad (n, p：電子及び正孔のキャリア濃度)$$

※ 実際には多数キャリアと少数キャリアの濃度は桁で異なる（$pn$ 積一定より）

$n$ 型：$n \gg p$、p 型：$p \gg n$

⇒$n$ 型半導体：$\sigma = qn\mu_e$、

$p$ 型半導体：$\sigma = qp\mu_h$

## 緩和時間の物理的意味

$\tau$＝（衝突―衝突間の平均時間）

↓

$\frac{1}{\tau}$＝（単位時間当たりの衝突回数）

散乱：さまざまな要因によって起こっている

個々の要因に対する緩和時間を$\tau_j$とすると、すべての要因を含んだ合成緩和時間$\tau$は

$$\frac{1}{\tau} = \sum_j \frac{1}{\tau_j}$$

で与えられる。

伝導電子の散乱の主な要因

格子振動による散乱：$\tau_T$

不純物原子による散乱：$\tau_i$

これより緩和時間$\tau$は次のように与えられる

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_T} + \frac{1}{\tau_i}$$

（ex）格子振動による緩和時間が不純物原子による緩和時間より 100 倍大きい場合

$$\tau_T = 100\tau_i$$

合成の緩和時間は

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_T} + \frac{1}{\tau_i}$$

$$= \frac{1}{100\tau_i} + \frac{1}{\tau_i}$$

$$= \frac{101}{100}\frac{1}{\tau_i} \approx \frac{1}{\tau_i}$$

$$\rightarrow \tau \approx \tau_i$$

⇒合成の緩和時間は緩和時間の短い要因でほとんど決まる

・ <u>移動度の温度依存性</u>

$$\mu = \frac{q\tau}{m_e^*}$$

移動度を決める要因（さまざまな散乱要因）

格子の熱振動による散乱（フォノン散乱）

$\mu_L \propto T^{-\frac{3}{2}}$（温度が上がれば移動度は下がる←格子の振動が大きくなる）

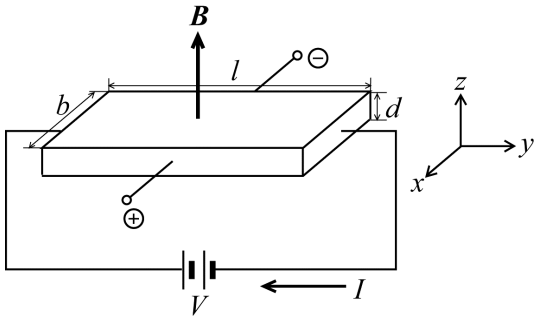
イオン化した不純物原子による散乱

$\mu_I \propto T^{\frac{3}{2}}$（温度が上がれば移動度は上がる←キャリアの熱速度が大きくなる）

ホール効果

ホール測定：半導体の伝導型($n$ or $p$)、キャリア濃度、移動度などを評価する手法

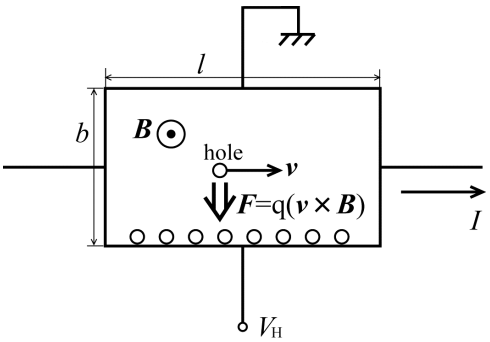
※ $p$ 型半導体の場合




① 電流 $I$ を y 方向に流しつつ、
磁界 $\boldsymbol{B}$ を $z$ 方向に加える

② $x$ 方向にホール電圧 $V_H$ が生じる
→キャリア濃度、移動度

(原理)




① 正孔にローレンツ力 $q(\boldsymbol{v}\times\boldsymbol{B})$が働く

② 下面に正孔がたまり、ホール電圧 $V_H$
（測定値）が生じる

③ $x$ 方向に電界($V_H / b$)が生じる

④ 電界から正孔が力($\frac{qV_H}{b}$)を受ける

⑤ 電界の力とローレンツ力がバランスする

$$qvB = \frac{qV_H}{b}$$

最初に電流を流すために加えた電圧：$V$

この電圧による電界：$V / l$

$y$ 方向のキャリアの速度：$v = \mu F = \mu \frac{V}{l}$

２つの式を合わせて整理すると移動度 $\mu = \frac{V_H}{b}\frac{l}{VB}$ が求まる

ホール効果によるキャリア濃度の見積もり

導電率$\sigma = qp\mu_h$から求める

$$V = IR \rightarrow R = \frac{V}{I}$$

一方で抵抗と抵抗率の関係は

$$R = \rho \times \frac{l}{S} = \frac{1}{\sigma}\frac{l}{b \times d}$$

$$\Rightarrow \sigma = \frac{l}{b \times d}\frac{I}{V}$$

$$\Rightarrow p = \frac{\sigma}{q\mu} = \frac{IB}{qdV_H}$$

一般にホール測定においては以下のようなホール係数 $R_H$ が用いられる

$$R_H = \frac{1}{qp}$$

これを用いると以下のような式で表すことができる

$$V_H = R_H \frac{IB}{d}$$

最後に $n$ op $p$ の判定法

$p$：正孔が下面にたまる

$n$：電子が下面にたまる

⇒ ホール電圧 $V_H$ の極性が変化する