

2-3 磁界中の電子の運動

2-3-1 ローレンツ力(Lorentz force)

電場 E 、磁場 B 中を速度 v で運動する荷電粒子 e は

$$\mathbf{F} = e\mathbf{E} + e\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

の力(ローレンツ力 $\mathbf{F}$)を受ける。キャリアとして電子(電荷 $-e$)を考えると、図 1 の座標系において電子に働く力は

$$\mathbf{F}_e = -e(\mathbf{E} + \mathbf{v}_e \times \mathbf{B})$$

で表される。ここで、 $e\mathbf{E}$ は点電荷に働く力の一般化(静電場)。

今、 $\mathbf{E} = 0$ では

$$\mathbf{F}_e = -e(\mathbf{v}_e \times \mathbf{B})$$

となるので、電子に作用する力 $\mathbf{F}_e$ の方向はベクトル積 $-(\mathbf{v}_e \times \mathbf{B})$ の方向、すなわち $-y$ 方向となる。

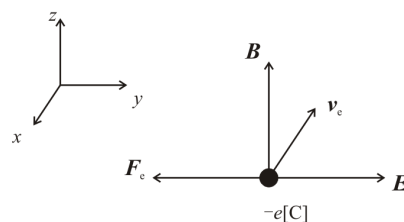


図 1 磁場および電場中の電子

2-3-2 ホール効果

ホール効果(Hall effect)は、1879 年に E. H. Hall (米) が金属片について発見した効果で、金属や半導体に電流を流し、電流と直交して磁界を掛けると電流、磁界と直角をなす方向に起電力が生ずる現象である。

簡単化のためキャリアとして電子のみのモデルを考える(このモデルは金属や n 型半導体に適用される)。図 2 に示すように、幅 w 、長さ l 、厚さ d の試料に x 方向に電流 I 、 z 方向に磁界 B を掛けた時に生じる y 方向の試料端面の電圧 V_H を求める。

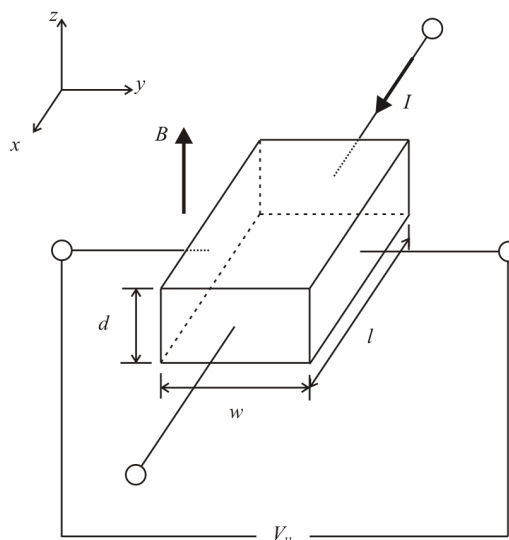
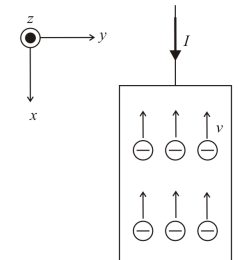
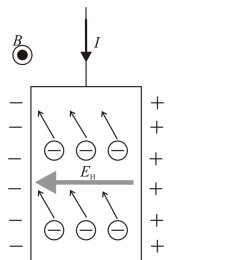
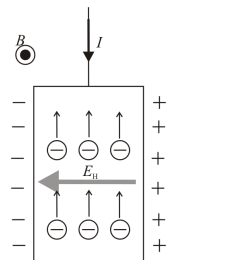


図 2 ホール効果の座標系

電流 I 、磁界なし	磁界印加	平衡状態
 電子は $-x$ 方向に移動する。 このときの電流密度 J は $J = -env$	 ローレンツ力が作用する ($-y$ 方向)。 $\mathbf{F} = e\mathbf{v}\mathbf{B}$ ホール電圧 V_H が誘起され、ホール電界 E_H が生じる。	 磁界による力 $e\mathbf{v}\mathbf{B}$ と電界による力 $e\mathbf{E}_H$ が釣り合った状態となる。 $E_H = vB = -\frac{1}{en}JB = R_H JB$

ホール電圧 V_H は

$$V_H = wE_H = wR_H JB = wR_H \frac{I}{wd} B = \frac{R_H}{d} IB$$

となる。ホール係数 $R_H[\text{m}^3/\text{C}]$ は一般に

$$\text{キャリアが電子のとき: } R_H = -\frac{\gamma}{en}$$

$$\text{キャリアが正孔のとき: } R_H = \frac{\gamma}{ep}$$

となり、 γ は補正係数で、金属では 1、半導体で $3\pi/8$ となる。

電子と正孔の両キャリアを同時に考慮する場合は、 R_H は次のようになる。

$$R_H = \gamma \frac{\mu_p^2 p - \mu_n^2 n}{e(\mu_p p + \mu_n n)}$$

また、ホール移動度(Hall mobility) $\mu_H = |R_H| \sigma$ より、キャリアの移動度（ドリフト移動度） μ は

$$\mu = \mu_H / \gamma$$

となる。

ホール測定

半導体材料の材料パラメータ（キャリア密度やキャリア移動度など）を知る方法として、ホール測定が行われる。

・試料に電流と磁界を加えた時に発生するホール電圧 V_H を測定し、ホール係数 R_H を求める。

(1) ホール係数 R_H の符号より **キャリアの種類**（半導体が n 形か p 形か）を判別できる。

(2) ホール係数 R_H がわかると **キャリア密度**（電子密度 n または正孔密度 p ）が算出できる。

・試料の導電率 σ （または抵抗率 ρ ）を測定すると、

(3) **キャリアの移動度** μ が算出できる。

ホール効果の応用

ホール効果を利用して、磁気量を電圧に変換する素子をホール素子という。ホール電圧が磁気量に比例することから、磁気センサや電流センサ等に用いられる。ホール素子には半導体材料として、移動度が大きい GaAs や InAs といった化合物半導体がよく使用される。