

### 4-3 半導体の抵抗率

#### 4-3-1 抵抗率の誘導

一様な半導体の両端に電圧を加える。この時、電子は電界  $E$  と逆向き、正孔は電界の向きにドリフトする。

ドリフト速度

$$\text{電子} : v_{Dn} (= -\mu_n E) \quad \dots(4.8)$$

$$\text{正孔} : v_{Dp} (= \mu_p E) \quad \dots(4.9)$$

キャリアがドリフト運動をして流れる電流を「ドリフト電流(drift current)」という。

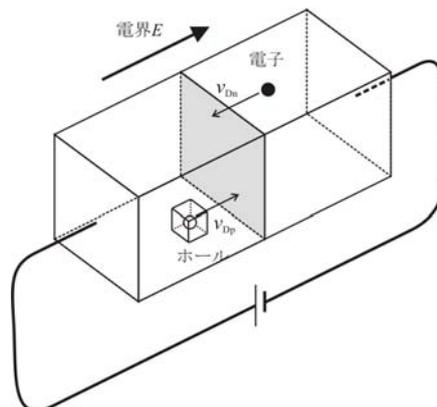


図1 キャリアによるドリフト電流

密度  $p[\text{m}^{-3}]$  の正孔を考える(電子も同様に考えることができる)。正孔の速度を  $v_{Dp}$  とすると、ある面(単位面積)を1秒間に通過する正孔の数は  $(v_{Dp} \times 1\text{s} \times 1\text{m} \times 1\text{m})$  となる(図2)。

1秒間にある面を通過する正孔による電荷量は

$$e \times p \times v_{Dp}$$

となる。1秒間あたりの電荷量  $Q[\text{C}]$  の移動は  $Q[\text{A}]$  の電流に相当することから、正孔の移動による正孔電流密度  $J_p$  は

$$J_p = e \cdot p \cdot v_{Dp} \quad \dots(4.7)$$

$$= e \cdot p \cdot \mu_p \cdot E$$

電子電流密度  $J_n$  は同様に、

$$J_n = e \cdot n \cdot \mu_n \cdot E$$

と表される。従って、全ドリフト電流密度  $J$  は

$$J = J_n + J_p = e(\mu_n n + \mu_p p) E \quad \dots(4.10)$$

となる。

一方、半導体の抵抗率(resistivity)を  $\rho[\Omega \cdot \text{m}]$  とすると、電界  $E[\text{V/m}]$  印加時に半導体に流れる電流密度  $J[\text{A/m}^2]$  は、オーム則より

$$J = \frac{1}{\rho} E = \sigma E$$

であるので( $\sigma[\text{S/m}]$ は導電率 conductivity)、(4.10)式との比較より

$$\rho = \frac{1}{e(\mu_n n + \mu_p p)} \quad \dots(4.12)$$

$$\sigma = e(\mu_n n + \mu_p p) \quad \dots(4.11)$$

が導かれる。

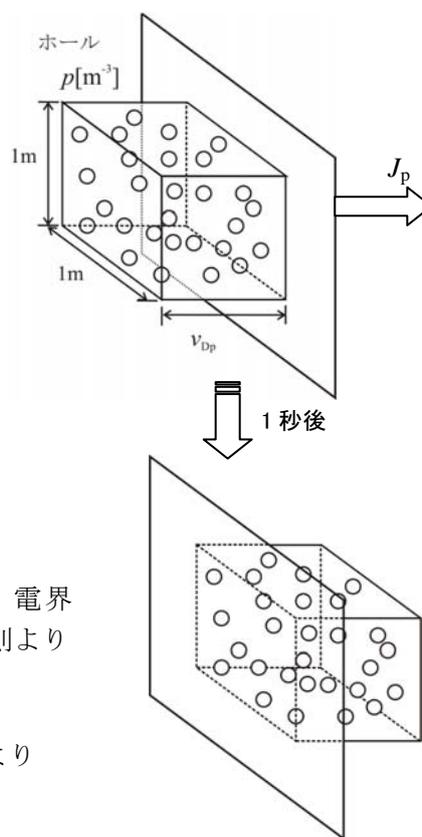


図2 単位面積を通過するキャリアによる電流

#### 4-3-2 半導体の抵抗率の不純物依存性

半導体の抵抗率は(4.12)式から

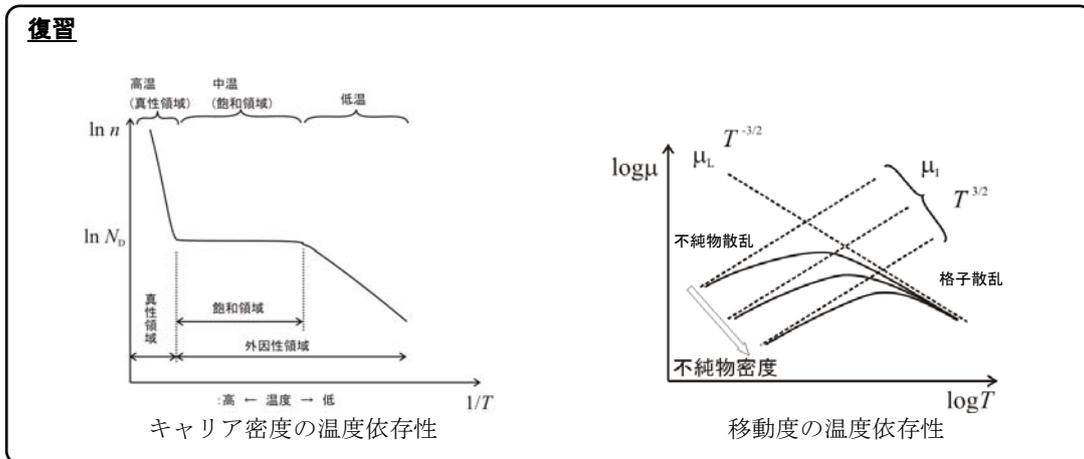
$$\rho \propto \frac{1}{\text{移動度}[\mu_n, \mu_p] \times \text{キャリア密度}[n, p]}$$

であることがわかる。すなわち、(キャリアを生成する)不純物濃度と抵抗率  $\rho$  は反比例の関係になる(ただし、不純物濃度が増加すると移動度が減少するため、抵抗率  $\rho$  は不純物濃度と正確に反比例しない)。

このように、半導体の抵抗率(導電率)は不純物をドーピングすることにより制御することができる。

4-3-3 半導体の抵抗率の温度依存性

半導体のキャリア密度と移動度は、共に温度によって変化する。



●不純物半導体

低温(A 領域)

- ・ドナーから伝導帯へ電子が励起する
  - ・不純物散乱が支配的
- } ⇒  $\rho$ は減少

飽和領域(B 領域)

- ・ドナーは全てイオン化する
  - ・格子散乱が支配的
- } ⇒  $\rho$ は増加

真性領域(C 領域)

- ・価電子帯から伝導帯へ電子が励起する
  - ・キャリア増加の方が移動度の減少よりも優勢
- } ⇒  $\rho$ は急激に減少

●真性半導体

- ・格子散乱が支配的 ⇒  $\rho$ は減少

$$\rho_i = \frac{1}{en_i(\mu_n + \mu_p)} \quad \dots(4.13)$$

- ・温度上昇で  $\rho$  が減少する → 抵抗温度係数は「負」

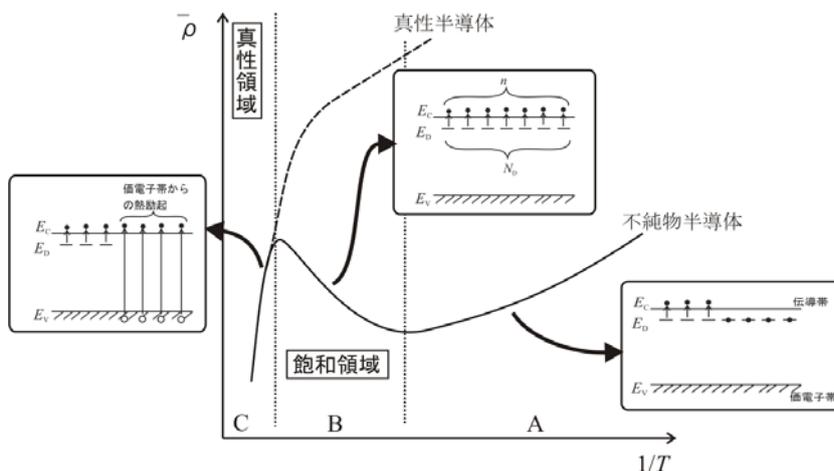


図3 抵抗率の温度依存性