

ゼミの復習 (まとめ)

E98079 梶山 浩一

現状の不純物・欠陥の評価方法 2

以下、n 型半導体について議論する。

・ドナーとアクセプタが 1 種類ずつ存在する場合

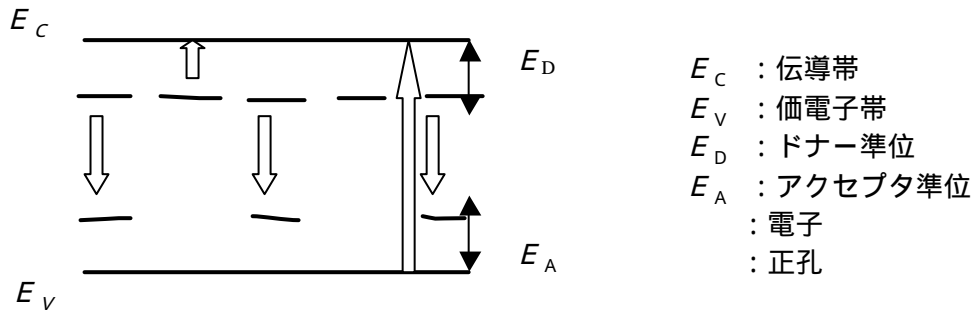


図 1 エネルギー帯図

図 1 において、外部からのエネルギーを考えない場合ドナー準位にいる電子はアクセプタ準位に落ち込み (の過程) アクセプタに捕獲される。すると、ドナー、アクセプタは各々イオン化するので電荷中性条件は

$$n(T) + N_A^-(T) = N_D^+(T) + p(T) \quad (1)$$

と表される。 $n(T)$ は伝導帯における多数キャリア (電子) 濃度、 $N_A^-(T)$ は電子を捕らえてイオン化したアクセプタ密度、 $N_D^+(T)$ は電子を放出してイオン化したドナー密度、 $p(T)$ は価電子帯における少数キャリア (正孔) 濃度であり、各々温度に依存する。(1) 式の左辺は負電荷の総和、右辺は正電荷の総和である。

図 1 の の過程での励起 ($p(T)$) が無視できる低温領域では、(1) は

$$\begin{aligned} n(T) &= N_D^+(T) - N_A^-(T) \\ &= N_D \cdot f_h(E_D) - N_A^-(T) \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、Si について図 1 の の過程での励起が無視できる温度領域について考える。電子の運動エネルギーと温度との関係は

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} m v^2 &= \frac{3}{2} k T \\ &\cong k T \end{aligned} \quad (3)$$

で表される。 k は Boltzmann 定数

だから、(3) 式より室温 (300 K) での電子のエネルギーは約 26 meV となる。Si のエネルギーギャップ E_g は 1.1 eV なので、価電子帯の電子は室温程度では全く励起することはできない。よって、このことを考慮すると

$$N_A^-(T) = N_A \quad (4)$$

となり、(2) 式は

$$n(T) = N_D \{1 - f(E_D)\} - N_A \quad (5)$$

と書ける。

$$f(E_D) = \frac{1}{1 + \frac{1}{2} \exp\left(\frac{E_F - E_D}{kT}\right)} \quad (6)$$

$$n(T) = 2 \left(\frac{2 m^* k T}{h^2} \right)^{3/2} M_C \exp\left(-\frac{E_F}{kT}\right) \quad (7)$$

(5) 式に (6) (7) 式を代入すると

$$\frac{1}{T^{3/2}} \frac{n(T) \{n(T) + N_A\}}{(N_D - N_A) - n(T)} = 2 \left(\frac{2 m^* k}{h^2} \right)^{3/2} M_C \exp\left(-\frac{E_D}{kT}\right) \quad (8)$$

(8) 式の両辺を対数にとり、 N_A と $(N_D - N_A)$ をパラメータとして、左辺を縦軸に、右辺を横軸にグラフを描けば、 E_D 、 N_A 、 N_D がわかる。

・ 2種類以上のドナーが存在する場合

複数 (m種類) のドナーが存在すれば、当然ドナー準位もその数だけ存在することになる。すると、電荷中性条件は

$$n(T) + N_A = \sum_{i=1}^m N_{D_i} f_h(E_{D_i}) + N_D \quad (9)$$

この場合、今までの方法では評価することができないため、ホール効果測定により得られた温度依存性にフィッティングするように N_A 、 N_D 、 N_{D_i} 、 E_{D_i} を変化させて、各々のドナーを評価する **カーブフィッティング法** を用いる。この方法はあらかじめドナーの種類を仮定する必要がある。