

### 3-2 真性半導体のキャリア密度とフェルミ準位

真性半導体では不純物の影響がないため、熱エネルギー等を得て価電子が自由電子となった場合、電子が抜けた穴である正孔を残すので、電子と正孔の数は等しくなる。すなわち、電子密度  $n$  と正孔密度  $p$  の関係は

$$n = p = n_i$$

となる。ここで、 $n_i$  を真性キャリア密度という。真性半導体の  $np$  積は

$$np = n_i^2 = N_c N_v e^{-E_g/kt} \quad \dots(3.15)$$

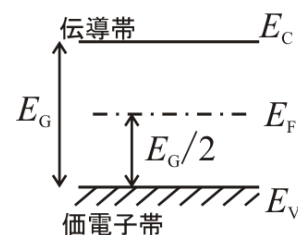
となる。よって

$$n = p = \sqrt{N_c N_v} e^{-E_g/2kt} \quad \dots(3.16)$$

また、フェルミ準位  $E_F$  は

$$E_F = \frac{E_c + E_v}{2} - \frac{3}{4} kT \ln \left( \frac{m_n^*}{m_p^*} \right) = \frac{E_g}{2} + E_v - \frac{3}{4} kT \ln \left( \frac{m_n^*}{m_p^*} \right) \quad \dots(3.18)$$

ここで、 $m_n^* = m_p^*$  の場合を考えると、 $E_F = \frac{E_g}{2} + E_v$  となり、フェルミ準位が禁制帯の中央に位置することになる。実際のフェルミ準位は若干  $E_c$  寄りとなる。



真性半導体

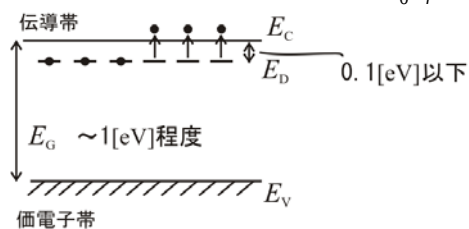
図1 真性半導体のフェルミ準位

### 3-3 不純物準位

・n 形半導体: IV族+ドナー原子(主にV族元素)

5 番目の電子の結合エネルギー = 不純物のイオン化エネルギー  
水素原子モデルから考える(p.12 (2.9)式から)

$$E_I = E_{n=\infty} - E_{n=1} = \frac{m^* q^4}{8 \epsilon_0^2 \epsilon_r^2 h^2} = \frac{13.6}{\epsilon_r^2} \frac{m^*}{m} \text{ [eV]} \quad \dots(3.20)$$



n形半導体

図3 ドナー準位

$E_D$ :ドナー準位(donor level)

伝導帯下端の直ぐ下に存在

伝導帯下端  $E_c$  との差:0.1[eV]以下

ドナーの電子はイオン化エネルギー((3.20)式で  $m^*$  を電子の有効質量とする)を得ると、伝導帯に励起し、伝導電子となる。

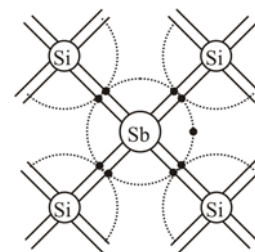
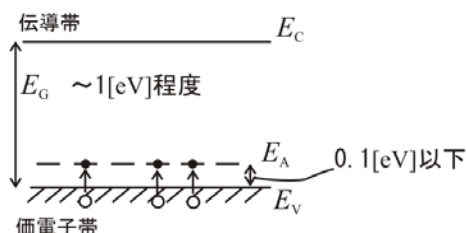


図2 n形半導体の結合モデル

・p 形半導体: IV族+アクセプタ原子(主にIII族元素)

母体原子(Si)から価電子を奪って共有結合する(そのためアクセプタ原子はイオン化)。電子の抜けた穴が正孔(ホール)となって、電気伝導に寄与する。

ドナーの場合と同様に、イオン化エネルギー((3.20)式で  $m^*$  を正孔の有効質量とする)を得て、価電子帯から電子を受け取る。



p形半導体

図5 アクセプタ準位

$E_A$ :アクセプタ準位(acceptor level)

価電子帯上端の直ぐ上に存在

価電子帯上端  $E_v$  との差:0.1[eV]以下

常温(300K)では、熱エネルギーは  $kT \sim 0.026[\text{eV}]$  なので、ほとんどのドナー、アクセプタはイオン化されている。

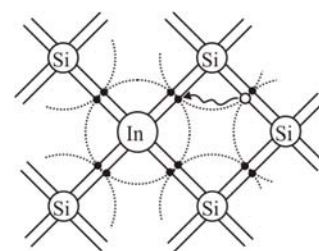


図4 p形半導体の結合モデル