

4-6 多数キャリアと少数キャリア

真性半導体において、電子密度 n と正孔密度 p の積は $np = n_i^2$ (n_i : 真性キャリア密度) の関係があった。不純物半導体の場合の np 積について n 型半導体を例に考えてみる。

・低温の場合

温度 T が低いときのフェルミ準位 E_F を正孔密度 p を表す式(4.14)に代入すると、

$$p = N_V \sqrt{\frac{N_C}{N_D}} e^{-\frac{E_D + E_C - 2E_F}{2kT}}$$

電子密度 n を表す式(4.26)との積をとると

$$np = N_C N_V e^{-\frac{E_C - E_D}{kT}} = N_C N_V e^{-\frac{E_G}{kT}} = n_i^2$$

となる。

・飽和領域の場合

飽和領域では、不純物のドナーから離れた電子が伝導電子となっているので $n \cong N_D$ である。

この領域のフェルミ準位 E_F を表す(4.30)式を(4.14)式に代入すると、正孔密度 p は

$$p = N_V \frac{N_C}{N_D} e^{-\frac{E_C - E_F}{kT}} = N_V \frac{N_C}{N_D} e^{-\frac{E_G}{kT}}$$

となる。これより、 np 積は

$$np = N_C N_V e^{-\frac{E_G}{kT}} = n_i^2$$

となり、この場合も np 積の関係は真性半導体と同じになる。この

$$np = n_i^2$$

の関係は真性領域を含むすべての温度領域で成立し、この関係が成り立つ状態を「**熱平衡状態**」という。すなわち、 np 積は温度で決まる一定値となり、不純物密度に依存しない。不純物をドーピングすると E_F が変化して n および p が変わるが、それらの積 np は変化しない。

・飽和領域における少数キャリア密度

n 型半導体の少数キャリアである正孔の密度を考える。飽和領域での電子密度 $n \cong N_D$ と $np = n_i^2$ の関係から正孔密度 p は

$$p = \frac{n_i^2}{n} \approx \frac{n_i^2}{N_D} \quad \cdots(4.41)$$

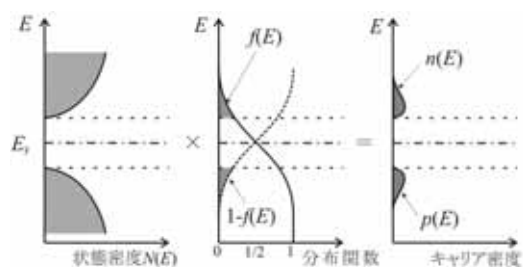
となる。また、同様に、p 型半導体の少数キャリアである電子密度 n は

$$n \approx \frac{n_i^2}{N_A} \quad \cdots(4.42)$$

となる。

・半導体のキャリア密度とフェルミ準位

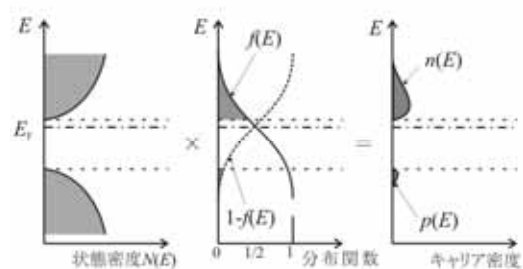
真性および不純物半導体のフェルミ準位 E_F の位置、キャリア密度（電子密度 n 、正孔密度 p ）について整理する（図 1 参照）。



真性半導体

真性半導体

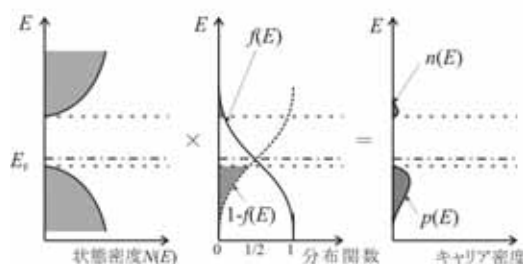
- ・フェルミ準位の位置は禁制帯の**ほぼ**中央。
- ・電子密度 n と正孔密度 p は等しい。



n形半導体

n 型半導体

- ・フェルミ準位は伝導帯のすぐ下にある。
- ・伝導帯における電子密度は高い。
- ・価電子帯における正孔密度は低い。



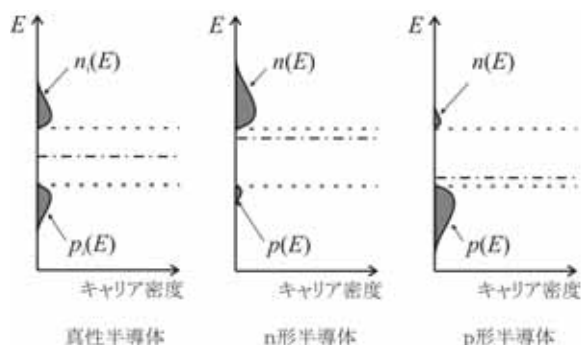
p形半導体

p 型半導体

- ・フェルミ準位は価電子帯のすぐ上にある。
- ・価電子帯における正孔密度は高い。
- ・伝導帯における電子密度は低い。

図 1 半導体のフェルミ準位とキャリア密度

キャリア密度だけを取り出して並べると



真性半導体

n形半導体

p形半導体

となる(塗りつぶしている部分が密度である)。真性半導体の場合、 $n = p$ である。不純物半導体の場合、多数キャリアは密度の高い方のキャリア、少数キャリアは低い方のキャリアを示し、

n 型半導体の場合は、電子が多数キャリア、正孔が少数キャリアとなる。また、

p 型半導体の場合は、正孔が多数キャリア、電子が少数キャリアとなる。