

2-9-1 熱平衡状態

外部から熱以外の刺激(例えば、光、電圧、磁界)を加えていない、安定した状態のことを熱平衡状態(thermal equilibrium)と呼ぶ。

2-9-2 熱による電子・正孔対の生成

熱により、価電子帯の電子が伝導帯に励起されるとき、価電子帯には正孔が生成され、伝導帯には電子が生成される。生成される量は、正孔と電子では同じである。

単位時間当たり、単位体積当たりの正孔(または電子)が生成される量を G [$\text{m}^{-3}\text{s}^{-1}$] とすると、単位時間当たりに増加する正孔密度および電子密度は

$$\frac{dp(t)}{dt} = G \quad \text{または} \quad \frac{dn(t)}{dt} = G$$

と表せる。

2-9-3 電子・正孔対の消滅

伝導帯にある電子は、価電子帯にいる正孔を見つけて、再結合し、電子と正孔は消滅する。

単位時間当たり、単位体積当たりの正孔(または電子)が消滅する量は、時刻 t に伝導帯にいる電子の密度 $n(t)$ と価電子帯にいる正孔の密度 $p(t)$ の積に比例する。比例係数(再結合割合)を r とすると、単位時間当たりに増加する正孔密度および電子密度は

$$\frac{dp(t)}{dt} = -rp(t)n(t) \quad \text{または} \quad \frac{dn(t)}{dt} = -rp(t)n(t)$$

と表される(増加を正としているため、右辺は負になる)。

2-9-4 熱平衡状態での電子・正孔対の生成・消滅

単位時間当たりの正孔密度(または電子密度)の変化は、生成と消滅が独立して起こるため、両者を足し合わせればよいことになる。したがって、

$$\frac{dp(t)}{dt} = G - rp(t)n(t) \quad \text{または} \quad \frac{dn(t)}{dt} = G - rp(t)n(t)$$

で表せる。

熱平衡状態では、時刻とともに正孔密度(または電子密度)は変化しない ($\frac{dp(t)}{dt} = 0$ または $\frac{dn(t)}{dt} = 0$)。さらに、 G と r は一定であるから、以下のようにならば pn 積は一定 (n_i^2) になる。

$$pn = \frac{G}{r} = \text{一定} \equiv n_i^2$$

ここで、 n_i は真性キャリア密度(intrinsic carrier density)である。