2-2　拡散による電子の運動

分子濃度が不均一な（場所によって異なる）場合、分子は濃度が高い方から低い方へと均一になるように移動する。この現象を**拡散(diffusion)現象**という（例えば、煙突から出た煙や水に垂らしたインク等）。これは、荷電粒子（キャリア）の場合も同じで、荷電粒子が密度の濃い方から低い方へ拡散して移動すると、電荷は時間的に変化する、すなわち電流が流れることになる。この拡散による電流を**拡散電流(diffusion current)**という。

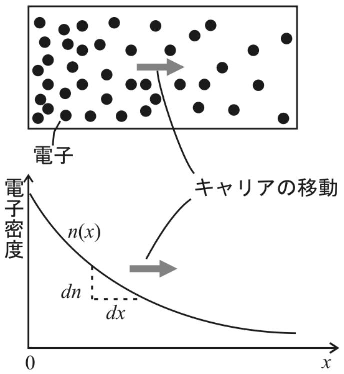

図 1　キャリアの拡散

図 1 に示すように、簡単のため一次元モデル（単位面積）、キャリアとして電子を考える。今、x が大きくなるに従って電子密度 $n(x)$ が小さくなっているとすると、傾きは$-\dfrac{dn}{dx}<0$ より負となる。電子の移動による電流密度は

$$J_n = (-q)\left(-D_n\frac{dn}{dx}\right) = qD_n\frac{dn}{dx} \qquad \cdots(2.13)$$

と表される。ここで D_n は電子の**拡散定数**(diffusion constant)という。

正孔の場合も同様に

$$J_p = (+q)\left(-D_p\frac{dp}{dx}\right) = -qD_p\frac{dp}{dx} \qquad \cdots(2.14)$$

と表される（D_p は正孔の拡散定数）。電子と正孔が同時に存在し拡散する場合は

$$J = J_n + J_p = q\left(D_n\frac{dn}{dx} - D_p\frac{dp}{dx}\right)$$

となる。拡散定数 D と移動度μ には

$$\frac{D}{\mu} = \frac{kT}{q} \qquad \cdots(2.12)$$

の関係がある（k はボルツマン定数、T は温度）。この関係を**アインシュタインの関係式(Einstein's relationship)**という。

半導体中を流れる電流はドリフト電流と拡散電流の二つの成分からなっている。

（1）ドリフト電流：キャリアが電界に引かれて運動することで流れる電流。

（2）拡散電流：キャリアが密度差によって運動することで流れる電流。

それゆえ、電界とキャリア密度の勾配が存在している半導体に流れる電流は、

（ドリフト電流）＋（拡散電流）

電子：　$$J_n = qn\mu_n E + qD_n\frac{dn}{dx} \qquad \cdots(2.17)$$

正孔：　$$J_p = qp\mu_p E - qD_p\frac{dp}{dx} \qquad \cdots(2.18)$$

と表される。

拡散定数 D の単位は

$$D = \frac{k\left[\dfrac{\mathrm{J}}{\mathrm{K}}\right]T[\mathrm{K}]\mu\left[\dfrac{\mathrm{m^2}}{\mathrm{Vs}}\right]}{q[\mathrm{C}]} = \left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{C}}\right]\left[\frac{\mathrm{m^2}}{\mathrm{Vs}}\right] = \left[\frac{\mathrm{Nm}}{\mathrm{C}}\right]\left[\frac{\mathrm{m^2}}{\mathrm{Vs}}\right] = \left[\frac{\mathrm{Vm}}{\mathrm{m}}\right]\left[\frac{\mathrm{m^2}}{\mathrm{Vs}}\right] = \left[\frac{\mathrm{m^2}}{\mathrm{s}}\right]$$

(ただし、$[\mathrm{J}]=[\mathrm{N}][\mathrm{m}]$、$\left[\dfrac{\mathrm{N}}{\mathrm{C}}\right]=\left[\dfrac{\mathrm{V}}{\mathrm{m}}\right]$)

である。