

6-2 金属と半導体の接触の電氣的性質

6-2-1 空乏層の性質

pn 接合の場合と同様に、金属-n 形半導体接触の場合を例に接触界面に存在する空乏層の厚さ d および容量 C を解析する。

Fig.1 に 1 次元の解析モデルを示す。また、以下の様に仮定する。

- 1) ドナー濃度は一定
- 2) 外部電圧 V および拡散電圧 V_D はともに空乏層にのみ掛かる

Fig.2 に電荷密度の分布を示す。半導体側にはドナーイオンがあるので正電荷 $(+qN_D)$ が存在する。金属中の電子がこのドナーイオンに引き寄せられるため、自由電子による負の電荷 $(-qN_M\delta(x))$ 、 $\delta(x)$:デルタ関数が界面にのみ存在することになる。以上より、ポアソン方程式から境界条件を使って空乏層内の電圧 $V_n(x)$ を求める。

ポアソン方程式は、

$$\text{半導体領域} \quad \frac{d^2 V_n(x)}{dx^2} = -\frac{\rho(x)}{\epsilon_r \epsilon_0} = -\frac{qN_D}{\epsilon_r \epsilon_0} \quad \cdots(6.1)$$

$$\text{金属領域} \quad \frac{d^2 V_M(x)}{dx^2} = -\frac{\rho(x)}{\epsilon_r \epsilon_0} = \frac{qN_M}{\epsilon_r \epsilon_0} \delta(x) \quad \text{ただし、} \rho(x) = -qN_M \delta(x)$$

ポアソン方程式(6.1)式を積分すると、積分定数を A および B として、

$$V_n(x) = -\frac{qN_D}{2\epsilon_r \epsilon_0} x^2 + Ax + B$$

また、電位に対する境界条件は、金属の電位をゼロ(基準)として、

$$x=d \text{ で} \quad V_n(d) = V_D - V, \quad \frac{dV_n(d)}{dx} = 0$$

$$x=0 \text{ で} \quad V_n(0) = 0, \quad \frac{dV_n(0)}{dx} = \frac{qN_M}{\epsilon_r \epsilon_0}$$

上の境界条件より定数 A 、 B を決定すると、

$$A = \frac{qN_D}{\epsilon_r \epsilon_0} d, \quad B = 0$$

と求められる。よって $V_n(x)$ は

$$V_n(x) = \frac{qN_D}{\epsilon_r \epsilon_0} \left(dx - \frac{1}{2} x^2 \right) \quad \cdots(6.3)$$

$x=d$ の時の電位は $V_D - V$ であるので、

$$V_n(d) = -\frac{qN_D}{2\epsilon_r \epsilon_0} d^2 = V_D - V$$

従って、空乏層の厚さ d は

$$d = \sqrt{\frac{2\epsilon_r \epsilon_0}{qN_D} (V_D - V)} \quad \cdots(6.4)$$

また、空乏層内に蓄積される全電荷 Q は、電荷密度 $+qN_D$ と空乏層の厚さ d の積となるので、

$$Q = qN_D d = \sqrt{2\epsilon_r \epsilon_0 qN_D (V_D - V)}$$

単位面積あたりの空乏層容量 C は

$$C = \left| \frac{dQ}{dV} \right| = \sqrt{\frac{\epsilon_r \epsilon_0 qN_D}{2(V_D - V)}} = \frac{\epsilon_r \epsilon_0}{d} \quad \cdots(6.5)$$

となる。

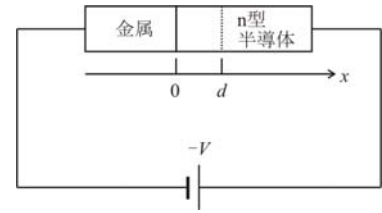


Fig.1 解析座標

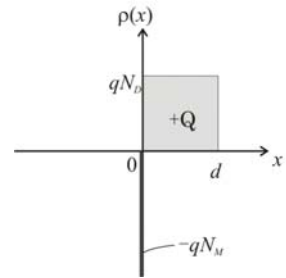


Fig.2 電荷密度分布

参考 $x=0$ における境界条件の導出

金属-半導体界面に負の過剰電荷自由電子が存在している。そこで、デルタ関数 $\delta(x)$ を使って電荷密度を表す。

$$\rho(x) = -qN_M \delta(x)$$

ポアソン方程式より

$$\frac{d^2 V_M(x)}{dx^2} = -\frac{\rho(x)}{\epsilon_r \epsilon_0} = \frac{qN_M}{\epsilon_r \epsilon_0} \delta(x)$$

上式を $x=0$ 付近の微小範囲 $-u \sim +u$ ($u \ll 1$) で積分をする。

$$\text{左辺} = \int_{-u}^{+u} \frac{d^2 V_M(x)}{dx^2} dx = \left[\frac{dV_M(x)}{dx} \right]_{-u}^{+u} = \frac{dV_M(+u)}{dx} - \frac{dV_M(-u)}{dx}$$

$$\text{右辺} = \int_{-u}^{+u} \frac{qN_M}{\epsilon_r \epsilon_0} \delta(x) dx = \frac{qN_M}{\epsilon_r \epsilon_0}$$

よって

$$\frac{dV_M(+u)}{dx} - \frac{dV_M(-u)}{dx} = \frac{qN_M}{\epsilon_r \epsilon_0}$$

半導体領域: $x = +u = +0$

$$\frac{dV_M(+u)}{dx} = \frac{dV_n(0)}{dx}$$

金属領域: $x = -u = -0$

$$\frac{dV_M(-u)}{dx} = \frac{dV_M(0)}{dx} = 0$$

(金属中では $V_M(0) = 0$ 一定であるので)

であるので

$$\frac{dV_n(0)}{dx} = \frac{qN_M}{\epsilon_r \epsilon_0}$$

また、 $x=0$ での電位を基準としているので

$$V_n(0) = 0$$

デルタ関数 $\delta(x)$

関数の形

$$\delta(x-a) = \begin{cases} \infty & (x=a) \\ 0 & (x \neq a) \end{cases}$$

積分すると、1 になる。

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(x-a) dx = 1$$

