July 21, 2009

8　金属と半導体の接触　metal-semiconductor contact

半導体と金属との接触：1874 年 Braun(独)が硫化物(PbS や FeS_2)に金属針を立てて非直線性(整流作用)を発見。整流器として実用化されたのは 1920 年代以後で、整流現象を説明する理論としては、拡散理論、ショットキーモデル、エミッション理論等が発表された。

8-1　金属−半導体接触のエネルギー帯図

・**仕事関数 work function**：真空準位とフェルミ準位とのエネルギーの差

・**電子親和力 electron affinity**：真空準位と伝導帯下端とのエネルギーの差(金属ではフェルミ準位に等しい)

金属、n 形・p 形半導体のエネルギーバンド図を Fig.1 に示す。金属と半導体の接触では、両者の仕事関数の大小関係によって接触の状況が異なる。ここでは n 形半導体を例にとって説明を行っていく。

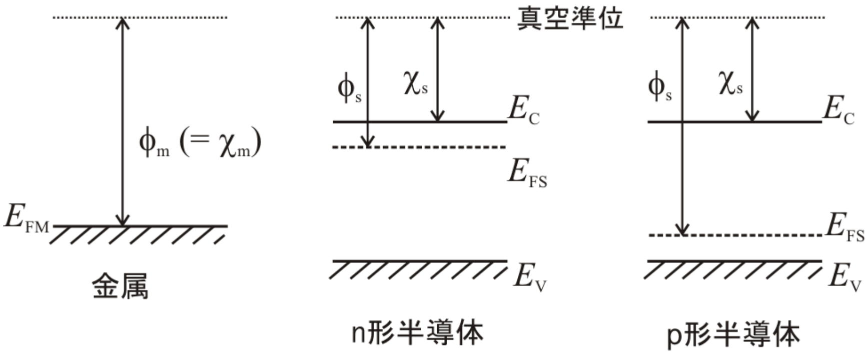


Fig.1　金属、n および p 形半導体のバンド図

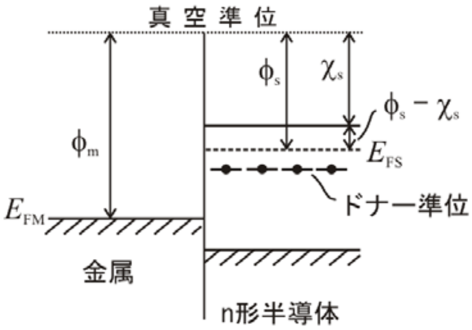
8-1-1　$\phi_m > \phi_s$ の場合

<u>**(a)　接触直後**</u>

①接触界面付近の伝導帯とドナー準位にいる電子は金属側に移動する(金属のフェルミ準位の方がエネルギーが低いため)。

②ドナー準位から電子がいなくなりドナーイオン(⊕電荷)が取り残される。この⊕電荷に金属中の電子が引き寄せられ、これにより今度は半導体中の電子にとっての障壁が生じる。

③電子の移動は適当なところで釣り合いが取れ、平衡状態になる。



(a)　接触直後

<u>**(b)　平衡状態**</u>

①半導体中の電子が金属側へ移動したため、(主に)半導体のフェルミ準位が下がり、両者のフェルミ準位が一致する。

②⊕電荷のドナーイオンが⊖電荷の電子を引き寄せるため、障壁が生ずる。

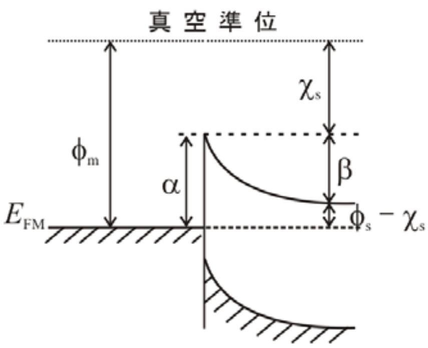
電子にとっての障壁の高さを考えると、金属側の電子にとっての高さαは

$$\alpha = \phi_m - \chi_s (= \beta + \phi_s - \chi_s)$$

反対に、半導体側の電子にとっての障壁高さβは

$$\beta = \alpha - (\phi_s - \chi_s) = \phi_m - \phi_s \equiv qV_D$$

となる。ここで、V_Dは拡散電位である。金属および半導体から見た障壁高さの関係は$\alpha > \beta$である(Fig.2(b))。



(b)　平衡状態

Fig.2　金属、n 形半導体接触

空乏層幅 *d*

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 を求める。

Fig.3 に 1 次元の解析モデル示す。また、以下の様に仮定する。

1) ドナー濃度は一定
2) 拡散電圧 V_D はともに空乏層にのみ掛かる
3) 半導体内部の電位を基準とする

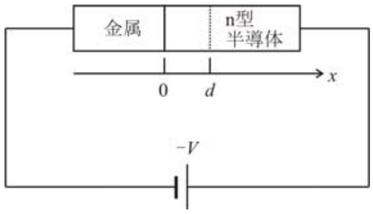


Fig.3 解析座標

Fig.4 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 $\phi(x)$ を求める。

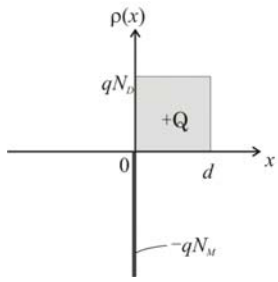


Fig.4 電荷密度分布

ポアソン方程式は、半導体空乏層領域において

$$\frac{d^2\phi(x)}{dx^2} = -\frac{\rho(x)}{\varepsilon} = -\frac{qN_D}{\varepsilon} \qquad \cdots(8.1)$$

と表される。上式(8.1)式を積分すると、積分定数を A および B として、

$$\phi(x) = -\frac{qN_D}{2\varepsilon}x^2 + Ax + B$$

また、電位に対する境界条件は、半導体内部の電位をゼロ(基準)として、

$x = d$ で　　$\phi(d) = 0$ 、　　$\dfrac{d\phi(d)}{dx} = 0$

$x = 0$ で　　$\phi(0) = -V_D$

上の境界条件より定数 A、B を決定すると、

$$A = \frac{qN_D}{\varepsilon}d \ 、\qquad B = -\frac{qN_D}{2\varepsilon}d^2$$

と求められる。よって $\phi(x)$ は

$$\phi(x) = -\frac{qN_D}{2\varepsilon}\left(x - d\right)^2 \qquad \cdots(8.2)$$

$x = 0$ の時の電位は $-V_D$ であるので、

$$\phi(0) = -\frac{qN_D}{2\varepsilon}d^2 = -V_D$$

従って、空乏層の厚さ d は

$$d = \sqrt{\frac{2\varepsilon V_D}{qN_D}} \qquad \cdots(8.3)$$

となる。

以上のように、金属側から見た障壁高さと半導体側から見た障壁高さが異なる場合、電子の流れは方向により異なってくるので、整流作用が生じる。このような金属-半導体接触を「**整流接触**」という。