

6 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 FeS₂)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、エミッシヨン理論等が発表された。

6-1 金属と半導体の接触の電位障壁

6-1-1 金属と n 形及び p 形半導体との接触

- ・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。

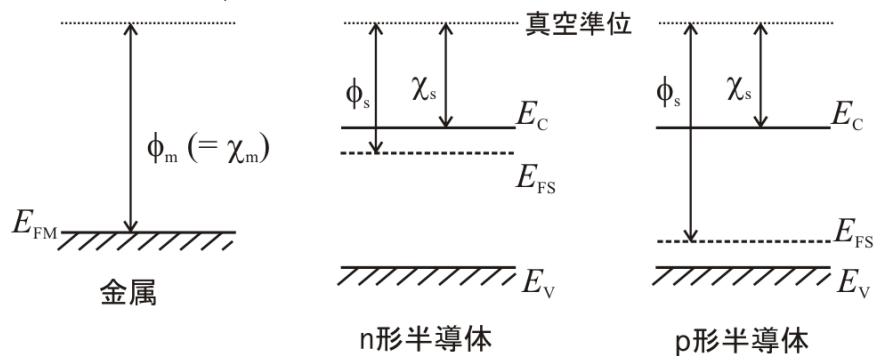
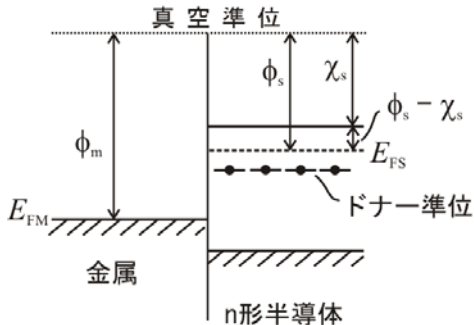
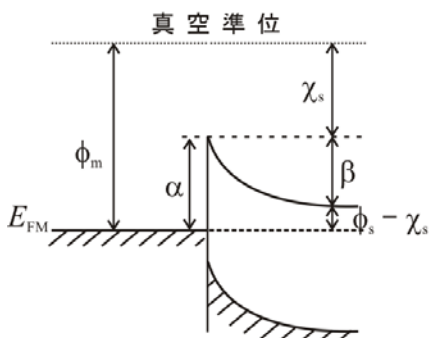


Fig.1 金属、n および p 形半導体のバンド図

$\phi_m > \phi_s$ の場合



(a) 接触直後



(b) 平衡状態

Fig.2 金属、n 形半導体接触

(a) 接触直後

- 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。

(b) 平衡状態

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。

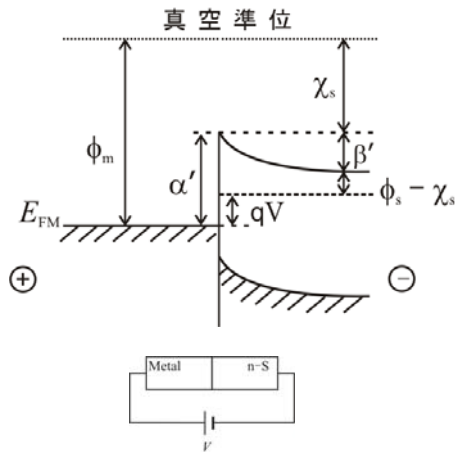
電子にとっての障壁の高さを考えると、金属側の電子にとっての高さ α は

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

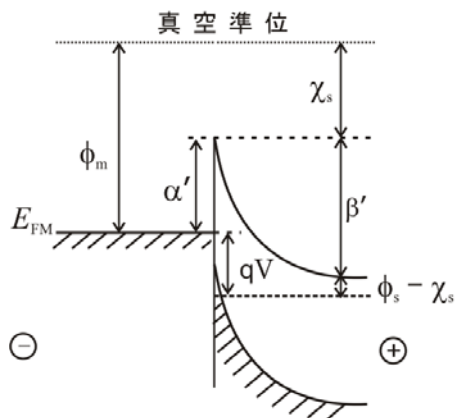
反対に、半導体側の電子にとっての障壁高さ β は

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

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))。



(a) 順方向バイアス



(b) 逆方向バイアス

Fig.3 外部電圧印加時

(c) 順方向バイアス

金属と n 形半導体の接触に外部から電圧を印加した場合を考える。このとき、n 形半導体側にマイナスの電圧を印加した状態を順方向バイアスという。外部電圧 V を掛けた場合、pn 接合のときと同様にフェルミ準位に qV のエネルギー差が生じる (Fig.3(a))。

それぞれの側から見た障壁の高さは、金属側の電子にとっての高さ α' は

$$\alpha' = \phi_m - \chi_s = \alpha$$

となり、平衡状態と変化はない。半導体側の電子にとっての障壁高さ β' は

$$\beta' = \alpha' - (\phi_s - \chi_s) - qV = \phi_m - \phi_s - qV \equiv q(V_D - V)$$

となり、外部電圧によって障壁の高さが低くなる。よって、障壁高さが減少した分だけ、障壁を乗り越えて金属側へ移動できる電子数は多くなるので、半導体から金属側への電子流は増加することになる。

(d) 逆方向バイアス

順方向と逆に外部電圧を印加した場合 (逆方向バイアス) を考える。このときも同様にフェルミ準位に qV のエネルギー差が生ずるが、Fig.3(b) に示す様に、変化の方向は逆となる (半導体のフェルミ準位の方が金属よりも下になる)。

金属側の電子にとっての高さ α' は順バイアスと同様に変化しない。半導体側の電子にとっての障壁高さ β' は

$$\beta' = q(V_D + V)$$

となる。ここで、金属から半導体側へ移動する電子の数は V に依らないので、電子流は一定である。

以上より、印加電圧の方向によって流れる電流が異なることから、この接触は整流作用を持つことがわかる。このような金属と半導体の接触を「**整流接触**」という。