第四章 金属电子

§4.5 热电子发射

固体的功函数(work function)和接触电势差.

依照电子气模型，电子在深度为E_0的势阱内，费米能级为E_F，电子要离开金属至少要从外界得到能量为:

$$\phi = E_0 - E_F \qquad (4\text{-}5\text{-}1)$$

Φ为逸出功或功函数. 当金属丝被加热到很高温度时，有一部分电子获得的能量多于Φ，它们就可能逸出金属，产生热电子发射电流:

1. 阴极射线管，里查逊-杜师曼（Richardson-Dushman）公式:

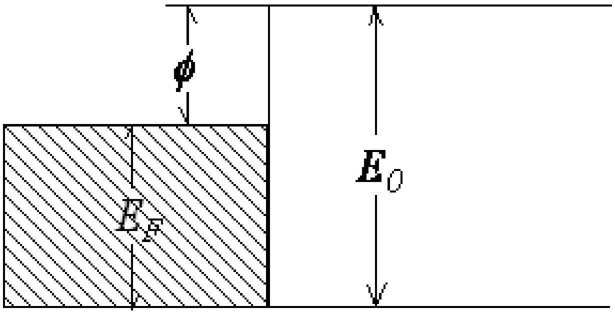


图4-3

$$j = AT^2 e^{-\phi/k_BT} \qquad (4\text{-}5\text{-}2)$$

对 $E = \dfrac{\hbar^2 k^2}{2m}$

如果 $E\begin{cases} mv_x^2/2 > E_0 \\ -\infty < v_y < \infty \\ -\infty < v_z < \infty \end{cases}$ $\vec{v}(\vec{k}) = \dfrac{1}{\hbar}\nabla_k E(\vec{k}) = \hbar\vec{k}/m$ (4-5-3)

对 $v_x - v_x + dv_x$， $dj_x = ev_x dn(v_x, v_y, v_z)$

$$j = \int dj_x$$

由(4-5-3)式：

$$dn(v_x, v_y, v_z) = \frac{1}{V} f(v) g(v) dv_x dv_y dv_z \qquad (4\text{-}5\text{-}4)$$

利用$mv = \hbar k$； $g(\vec{v}) = \dfrac{dN}{d\vec{v}} = \dfrac{dN}{d\vec{k}} \cdot \dfrac{d\vec{k}}{d\vec{v}} = g(\vec{k}) \cdot \dfrac{d\vec{k}}{d\vec{v}}$

$$dk_x dk_y dk_z = (\frac{\hbar}{m})^{-3} dv_x dv_y dv_z \qquad (4\text{-}5\text{-}5)$$

$$\therefore g(v) = 2 \times \frac{1}{(\hbar / m)^3} / (\frac{8\pi^3}{V}) \qquad (4\text{-}5\text{-}6)$$

只有动能比E_0高的电子才可以离开金属，即$\exp[(E-E_0)/kT]>>1$

$$\therefore dn = \frac{1}{V}\frac{1}{e^{(E-E_F)/k_BT}+1}\cdot 2V(\frac{m}{2\pi\hbar})^3 dv_x dv_y dv_z$$

$$= 2e^{-(E-E_F)/k_BT}(\frac{m}{2\pi\hbar})^3 dv_x dv_y dv_z \qquad (4\text{-}5\text{-}7)$$

利用：$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-\alpha x^2} dx = \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}}$

$$\therefore j = \int dj_x = \int e v_x dn$$

$$= 2(\frac{m}{2\pi\hbar})^3 e^{E_F/k_BT}\int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}mv_y^2/k_BT} dv_y \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}mv_z^2/k_BT} dv_z \int_{(\frac{2E_0}{m})^{1/2}}^{\infty} v_x e^{-\frac{1}{2}mv_x^2/k_BT} dv_x$$

$$\therefore j = \frac{4\pi m e (k_BT)^2}{(2\pi\hbar)^3} e^{-(E_0-E_F)/k_BT}, \qquad (4\text{-}5\text{-}8)$$

$$\therefore j = AT^2 e^{-\phi/k_BT} \qquad (4\text{-}5\text{-}2)$$

2. 接触电势差

两块不同的金属I和II相接触，或者用导线联结起来，两块金属就会彼此带电产生不同的电势V_I和V_{II}，这称为接触电势(contact potential)。设两块金属的温度都是T，当它们相接触时，每秒内从金属I的单位表面积所逸出的电子数为（I=j/e）

$$I_I = 4\pi\frac{m(k_BT)^2}{(2\pi\hbar)^3} e^{-\phi_I/k_BT} \qquad (4\text{-}5\text{-}9)$$

从金属II逸出的电子数为:

$$I_{II} = 4\pi \frac{m(k_B T)^2}{(2\pi\hbar)^3} e^{-\phi_{II}/k_B T} \tag{4-5-10}$$

若$\Phi_{II} > \Phi_I$，则从金属I逸出的电子数比金属II逸出的多，于是，两者接触时金属I带正电荷，金属II带负电荷，它们产生的静电势分别为

$V_I > 0$ 和 $V_{II} < 0$.

这样，两块金属中的电子分别具有附加的静电势能为

$-eV_I$ 和 $-eV_{II}$.

它们发射的电子数分别变成

$$I_I' = 4\pi \frac{m(k_B T)^2}{(2\pi\hbar)^3} e^{-(\phi_I + eV_I)/k_B T} \tag{4-5-11}$$

和

$$I_{II}' = 4\pi \frac{m(k_B T)^2}{(2\pi\hbar)^3} e^{-(\phi_{II} + eV_{II})/k_B T} \tag{4-5-12}$$

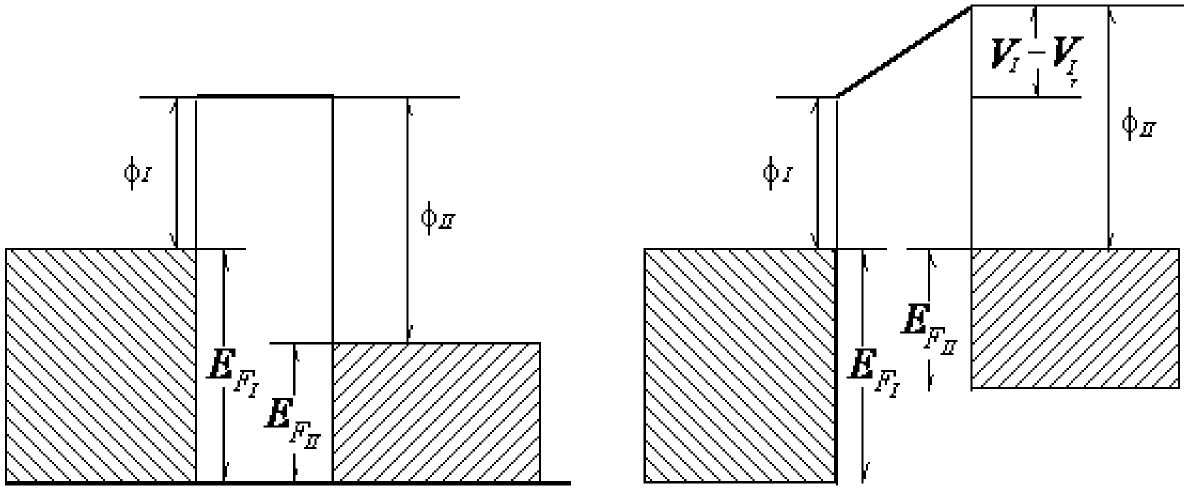
平衡时，$I_I' = I_{II}'$.

$$\phi_I + eV_I = \phi_{II} + eV_{II} \tag{4-5-13}$$

所以，接触电势差为

$$V_I - V_{II} = \frac{1}{e}(\phi_{II} - \phi_I) \tag{4-5-14}$$

接触电势差来源于两块金属的费米能级不一样高. 电子从费米能级高的金属I流到较低的金属II，接触电势差正好补偿了$E_{FI}-E_{FII}$，达到平衡时，两块金属的费米能级就达到同一高度。



(a)两块金属中电子气的势阱 (b)两块金属中的接触电势差的形成

图4-4

[上一页](#) [下一页](#)

[回主目录](#)