

金半接触

复旦大学 微电子学系

13307130163

李琛

June 12, 2015

Contents

1	金半接触能级图	2
1.1	金属与半导体的功函数	2
1.2	接触电势差	2
1.3	表面态对接触势垒的影响	3
1.4	金半接触的静电特性	3
2	金半接触的整流输运理论	4
2.1	扩散电流	4
2.2	热电子发射电流	4
2.3	肖特基二极管与pn结二极管的比较	5
2.4	隧穿电流和镜像力的影响	5
3	少子注入与欧姆接触	5
3.1	少子注入	5
3.2	欧姆接触	5

1 金半接触能级图

1.1 金属与半导体的功函数

- 功函数 真空能级 E_0 和费米能级 E_F 之差 $W = E_0 - E_F$
- 半导体的亲和能 χ 真空能级 E_0 和导带底 E_C 之间的能量差 $\chi = E_0 - E_C$
Si的电子亲和能: 4.05eV
- 金属的功函数和半导体的亲和能是固定的, 但是半导体的功函数会随掺杂浓度不同而改变

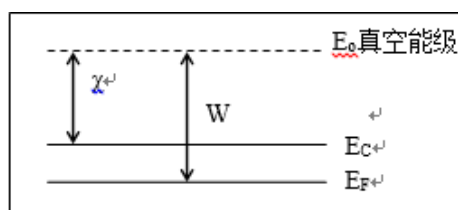


Figure 1: 功函数示意图

1.2 接触电势差

- D 很大时接触电势差: $\phi_{ms} = \phi_m - \phi_s = \frac{1}{q}(W_m - W_s)$
- $D = 0$ 时, 肖特基势垒 $q\phi_{ns} = W_m - \chi$, $qV_D = W_m - W_s$
- 阻挡层: 高阻, 整流 反阻挡层: 低阻, 欧姆
- N型 $\begin{cases} \text{整流} & W_m > W_s \\ \text{欧姆} & W_m < W_s \end{cases}$ P型 $\begin{cases} \text{整流} & W_m < W_s \\ \text{欧姆} & W_m > W_s \end{cases}$

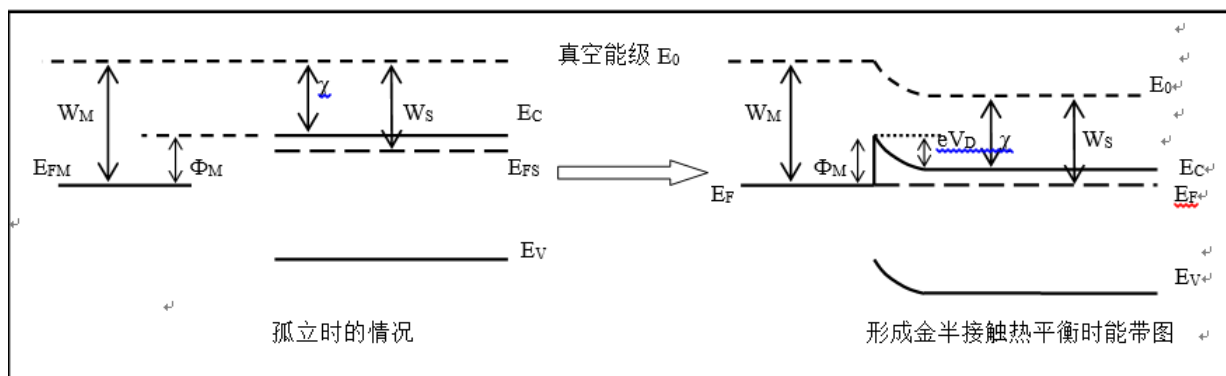


Figure 2: 金半接触能带图

- 金属-n型半导体的SBH: $\phi_{Bn} = W_m - \chi$
金属-p型半导体的SBH: $\phi_{Bp} = E_g + \chi - W_m$
 $\phi_{Bn} + \phi_{Bp} = E_g$, 对同一种金属, 理想情况下n型半导体接触的表面势垒和p型半导体接触的表面势垒高度之和等于禁带宽度

1.3 表面态对接触势垒的影响

- 表面态产生原因: 原子周期性排列的终止
- 钉扎效应 在半导体表面, 费米能级的位置由表面态费米能级 E_{Fs} 决定, 而与半导体的掺杂浓度无关
- 费米能级钉扎效应 如果表面态密度无限大, 尽管有电子流入表面态, 但是 E_{Fs} 仍不变。金属和半导体的费米能级都钉扎在 E_{Fs} 上。

$$q\phi_{ns} \approx \frac{2}{3}E_g \quad qV_D \approx \frac{2}{3}E_g - (E_C - E_F)$$

1.4 金半接触的静电特性

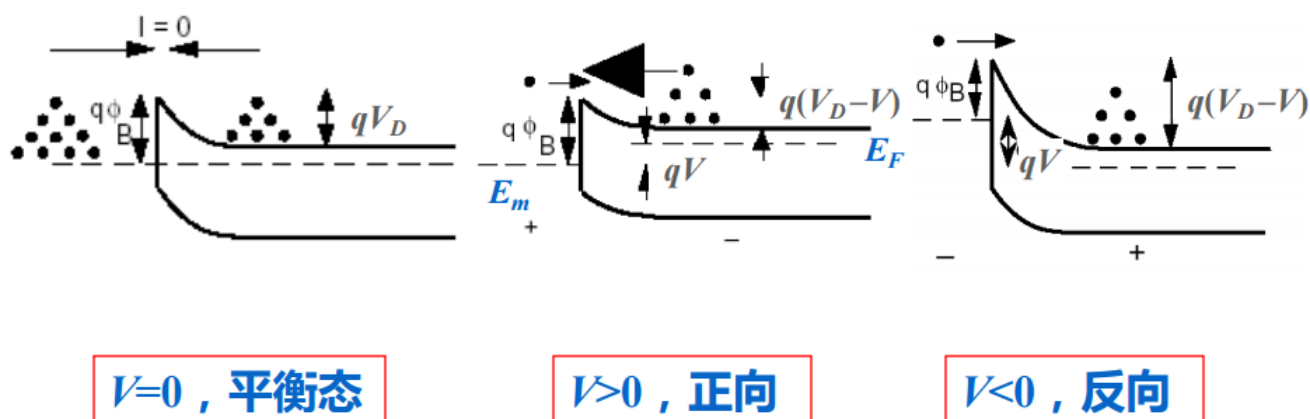


Figure 3: 外偏压下金半接触能带图

前提假设: 耗尽层近似, 并用泊松方程求解

$$\frac{d^2V}{dx^2} \begin{cases} -\frac{qN_D}{\epsilon_0\epsilon_r} & 0 \leq x \leq x_d \\ 0 & x > x_d \end{cases}$$

$$E(x) = \frac{qN_D}{\epsilon_0\epsilon_r}(x - x_d)$$

$$V(x) = \frac{qN_D}{2\epsilon_0\epsilon_r}(x - x_d)^2, x_d = \left(\frac{2\epsilon_0\epsilon_r}{qN_D}V_D\right)^{1/2}$$

肖特基势垒电容 加反向偏压时也可当平行板电容处理

$$C_T = A \left[\frac{\epsilon_0\epsilon_r q N_D}{2(V_D - V)} \right]^{1/2}$$

2 金半接触的整流输运理论

2.1 扩散电流

- 适用于势垒宽度 \gg 电子平均自由程即 $l_n \ll d$
- 同时考虑势垒区扩散和漂移电流

$$J = J_{SD} \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right]$$

$$J_{SD} \propto T^{-1/2} \exp(\phi_B/k_B T)$$

实验中一般 $J_{SD} \propto T^2 \exp(\phi_B/k_B T)$ 即热电子发射

2.2 热电子发射电流

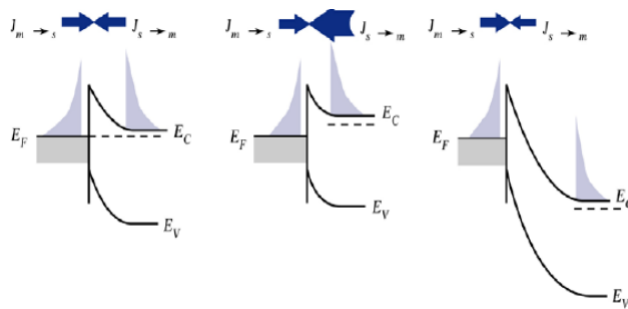


Figure 4: 热电子发射

- 适用于势垒宽度 \ll 电子平均自由程即 $l_n \gg d$
- 同时考虑势垒区扩散和漂移电流

- 半导体至金属的电流 $j_{S \rightarrow M}$ 随电压变化，而金属至半导体的电流 $j_{M \rightarrow S}$ 由于金属一侧势垒恒定而不随电压改变，且当没有外加电压(即 $V = 0$)时有 $j_{S \rightarrow M} + j_{M \rightarrow S} = 0$

$$j_{S \rightarrow M} = A^* T^2 \exp\left(-\frac{\phi_B}{k_B T}\right) \exp\left(-\frac{qV}{k_B T}\right)$$

A^* is Richardson Constant

$$j_{M \rightarrow S} = j_{S \rightarrow M}(V = 0) = A^* T^2 \exp\left(-\frac{\phi_B}{k_B T}\right)$$

$$J = j_{M \rightarrow S} + j_{S \rightarrow M} = J_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right]$$

2.3 肖特基二极管与pn结二极管的比较

- 较小的开启电压
- 较大的反向电流
- 较低的击穿电压
- 多子器件，载流子无存储，多用于高频

2.4 隧穿电流和镜像力的影响

- 镜像力 镜像力使势垒高度降低,在反向电压较高时比较重要

$$q\Delta\phi = \frac{q^2 N_D}{\epsilon_0 \epsilon_r} x_m x_d = \frac{1}{4} \left[\frac{2q^7 N_D}{\pi^3 \epsilon_0^3 \epsilon_r^3} (V_D - V) \right]^{1/4}$$

- 隧道效应 隧道效应引起势垒降低，反向电流增大
推导采用了WKB近似

$$q\Delta\phi = \left[\frac{2q^3 N_D}{\epsilon_0 \epsilon_r} (V_D - V) \right]^{1/2} \quad x_c, x_c \text{ 为临界厚度}$$

3 少子注入与欧姆接触

3.1 少子注入

$$\text{少子注入比 } \gamma = \frac{J_p}{J} = \frac{J_p}{J_p + J_n}$$

3.2 欧姆接触

当半导体高掺杂时，势垒很薄，这时电子隧穿效应为主，此时金半接触表现出电阻性质，称为欧姆接触.此时 $J \propto V$