

1、施主浓度为 $N_D = 5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 的 n 型硅，室温下功函数为多少？忽略表面态的影响，它分别同 Al, Au 和 Mo 接触时，形成阻挡层还是反阻挡层？硅的电子亲和能取 4.05eV 。设 $W_{\text{Al}} = 4.18\text{eV}$, $W_{\text{Au}} = 5.20\text{eV}$, $W_{\text{Mo}} = 4.21\text{eV}$ 。

解：设室温下杂质全部电离，则

$$n_0 = N_D = N_c \exp\left(-\frac{E_c - E_F}{k_0 T}\right)$$

$$\text{所以 } E_F = E_c + k_0 T \ln \frac{N_D}{N_c} = E_c + 0.026 \ln \frac{5 \times 10^{16}}{2.8 \times 10^{19}} \approx E_c - 0.165(\text{eV})$$

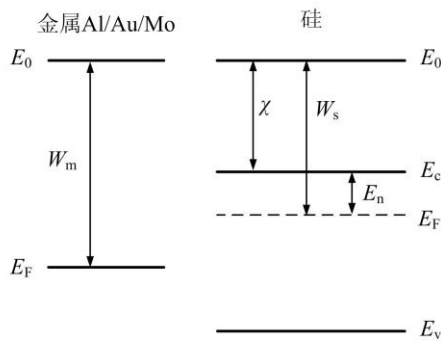
$$n\text{-Si 的功函数为 } W_s = \chi + (E_c - E_F) = 4.05 + 0.165 = 4.215(\text{eV})$$

已知： $W_{\text{Al}} = 4.18(\text{eV})$, $W_{\text{Al}} < W_s$, 二者形成反阻挡层

$W_{\text{Au}} = 5.20(\text{eV})$, $W_{\text{Au}} > W_s$, 二者形成阻挡层

$W_{\text{Mo}} = 4.21(\text{eV})$, $W_{\text{Mo}} < W_s$, 二者形成反阻挡层

能带图见：



2、受主浓度为 $N_A = 5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 的 p 型锗，室温下功函数为多少？忽略表面态的影响，它分别同 Al, Au 和 Pt 接触时，形成阻挡层还是反阻挡层？Ge 的电子亲和能取 4.13eV 。设 $W_{\text{Al}} = 4.18\text{eV}$, $W_{\text{Au}} = 5.20\text{eV}$, $W_{\text{Pt}} = 5.43\text{eV}$ 。

解：设室温下杂质全部电离，则

$$p_0 = N_A = N_v \exp\left(-\frac{E_F - E_v}{k_0 T}\right)$$

$$\text{所以 } E_F = E_v + k_0 T \ln \frac{N_v}{N_A} = E_v + 0.026 \ln \frac{3.9 \times 10^{18}}{5 \times 10^{16}} \approx E_v + 0.11(\text{eV})$$

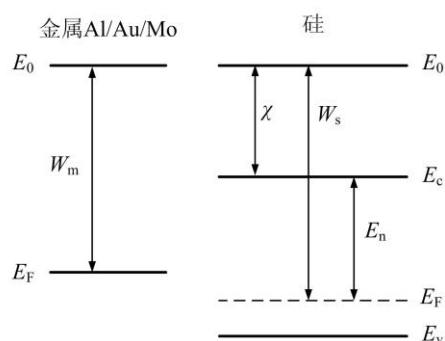
$$p\text{-Ge 的功函数为 } W_s = \chi + (E_c - E_F) = \chi + E_g - (E_F - E_v) = 4.13 + 0.67 - 0.11 = 4.69(\text{eV})$$

已知： $W_{\text{Al}} = 4.18(\text{eV})$, $W_{\text{Al}} < W_s$, 二者形成阻挡层

$W_{\text{Au}} = 5.20(\text{eV})$, $W_{\text{Au}} > W_s$, 二者形成反阻挡层

$W_{\text{Pt}} = 5.43(\text{eV})$, $W_{\text{Pt}} > W_s$, 二者形成反阻挡层

能带图见：



3、掺杂浓度为 $N_D=10^{15}\text{cm}^{-3}$ 的 n 型单晶硅材料和金属 Au 接触，忽略表面态的影响，已知： $W_{\text{Au}}=5.20\text{eV}$, $\chi=4.05\text{eV}$, $N_c=10^{19}\text{cm}^{-3}$, $\ln 10^3=6.54$ 在室温下 $k_0T=0.026\text{eV}$, 半导体介电常数 $\epsilon_r=12$, 试计算：

- (1) 半导体的功函数；
- (2) 在零偏压时，半导体表面的势垒高度，并说明是哪种形式的金半接触，半导体表面能带的状态；
- (3) 半导体表面的势垒宽度。

解：(1) 由 $N_D = n_0 = N_c \exp\left(-\frac{E_c - E_F}{k_0T}\right)$

$$E_c - E_F = k_0T \ln \frac{N_c}{N_D} = 0.026 \ln \frac{10^{19}}{10^{16}} = 0.17\text{eV}$$

$$\therefore W_s = \chi + (E_c - E_F) = 4.05 + 0.17 = 4.22\text{eV}$$

(2) 在零偏压下，半导体表面的势垒高度为：

$$qV_D = W_m - W_s = 5.20 - 4.22 = 0.98\text{eV}$$

对 n 型半导体，因为 $W_m > W_s$ ，所以此时的金半接触是阻挡层接触，半导体表面能带向上弯曲。

(3) 势垒的宽度为：

$$\begin{aligned} x_d &= \left(\frac{2\epsilon_r\epsilon_0V_D}{qN_D} \right)^{1/2} \\ &= \left(\frac{2 \times 12 \times 8.85 \times 10^{-14} \times 0.98}{1.6 \times 10^{-19} \times 10^{16}} \right)^{1/2} \\ &= 3.61 \times 10^{-5} (\text{cm}) \end{aligned}$$

7、某金-半接触构成的阻挡层，其中半导体中施主浓度为 $2.5 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ ，半导体一边的势垒高度为 0.64eV ，金属一边的势垒高度为 0.67eV 。计算

- (1) 分别加上 0.44V 的正向电压和 3V 的反向电压时，半导体一边的势垒宽度之比；

(2) 室温下的反向饱和电流。

已知: $A^*=114 \text{ A}/(\text{cm}^2 \cdot \text{K}^2)$, $q=1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$, $1\text{eV}=1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$ 。

解: (1)

$$\text{由 } x_d = \sqrt{\frac{2\varepsilon_0\varepsilon_s(V_D - V)}{qN_D}}$$

$$\text{得到 } \frac{x_{d1}}{x_{d2}} = \frac{\sqrt{\frac{2\varepsilon_0\varepsilon_s(V_D - V_1)}{qN_D}}}{\sqrt{\frac{2\varepsilon_0\varepsilon_s(V_D - V_2)}{qN_D}}} = \sqrt{\frac{V_D - V_1}{V_D - V_2}} = \sqrt{\frac{0.64 - 0.44}{0.64 + 3}} = \sqrt{\frac{20}{364}} = \sqrt{\frac{5}{91}}$$

(2)

$$J_{ST} = A^* T^2 e^{-\frac{q\phi_{ns}}{k_0 T}} = 114 \times 300^2 \times e^{-\frac{0.67}{0.026}} = 6.6 \times 10^{-5} (\text{A}/\text{cm}^2)$$

测试题第 6 题

6. 有[100]晶向的 n 型 Si 和某一金属接触形成肖特基二极管, 其相关参数为 $W_m=4.7\text{eV}$, $\chi_{\text{Si}}=4.05\text{eV}$, $N_c=2.8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, $N_D=10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $\varepsilon_r(\text{Si})=11.9$ 。忽略表面态, 室温下:

- 1) 计算零偏压下的势垒高度和接触电势差;
- 2) 用高斯定理求零偏压下的势垒宽度;
- 3) 计算正偏 0.3V 下的热发射电流密度。(有效理查逊常数取 $240 \text{ A}/\text{cm}^2 \cdot \text{K}^2$)

$$\text{解: 1) } E_F = E_c + k_0 T \ln \frac{N_D}{N_c} = E_c + 0.026 \ln \frac{10^{15}}{2.8 \times 10^{19}} = E_c - 0.266 (\text{eV})$$

$$\therefore \text{半导体功函数 } W_s = \chi_{\text{Si}} + (E_c - E_F) = 4.05 + 0.266 = 4.32 \text{ eV}$$

$$\text{半导体侧的势垒高度: } qV_D = W_m - W_s = 4.7 - 4.32 = 0.38 \text{ eV}$$

$$\text{肖特基势垒高度: } q\phi_{ns} = W_m - \chi = 4.7 - 4.05 = 0.65 \text{ eV}$$

$$\text{接触电势差: } V_D = 0.38 \text{ V}$$

2) 在 x 处作一高斯面, 耗尽区由电离施主提供正电荷。

$$E(x) = -\frac{\sigma}{\varepsilon_r \varepsilon_0} = -\frac{qN_D(x_d - x)}{\varepsilon_r \varepsilon_0}$$

$$V_s = \int_0^{x_d} E(x) dx = \int_0^{x_d} \frac{qN_D(x - x_d)}{\varepsilon_r \varepsilon_0} dx = \frac{qN_D}{2\varepsilon_r \varepsilon_0} x^2 \bigg|_0^{x_d} - \frac{qN_D x_d}{\varepsilon_r \varepsilon_0} x \bigg|_0^{x_d} = -\frac{qN_D}{2\varepsilon_r \varepsilon_0} x_d^2$$

$$\Rightarrow x_d = \sqrt{\frac{2|V_s|\varepsilon_r \varepsilon_0}{qN_D}} = \sqrt{\frac{2 \times 0.38 \times 11.9 \times 8.854 \times 10^{-14}}{1.6 \times 10^{-19} \times 10^{15}}} = 7.07 \times 10^{-5} \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 3) \quad J|_{V=0.3} &= A^* T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_{\text{ns}}}{k_0 T}\right) \left[\exp\left(\frac{qV}{k_0 T}\right) - 1\right] \\
 &= 240 \times 300^2 \exp\left(-\frac{0.65}{0.026}\right) \left[\exp\left(\frac{0.3}{0.026}\right) - 1\right] = 30.77 \text{ A/cm}^2
 \end{aligned}$$