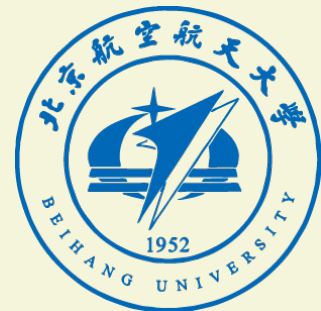


第一次课后习题讲解

张凯丽



- ✗ (a) 突变结是一种理想化的杂质分布，用于 p^+-n 和 n^+-p 结的建模工作。
- ✓ (b) 泊松方程中出现的 ρ 是电荷密度，其单位为库伦 / cm^3 。
- ✗ (c) 冶金结附近的电荷是由 p 型一侧电子和 n 型一侧空穴的积累引起的。
- ✓ (d) 通常的内建电势小于禁带宽度对应的电压值。
- ✓ (e) 通过引入耗尽近似，耗尽层内部的电荷密度完全正比于净杂质浓度。
- ✗ (f) 欧姆接触降低了结的内建电压。
- ✓ (g) 根据耗尽近似得到的解，电场强度正好在冶金结分界处达到最大值。
- ✓ (h) 假设一个 p^+-n 突变结，且 N_A (p 型一侧) $\gg N_D$ (n 型一侧)，则有 $x_p \ll x_n$ 。
- ✗ (i) 结的 p 型和 n 型间的势垒随正向偏压而升高。
- ✓ (j) 线性缓变结的耗尽层宽度正比于 $(V_{bi} - V_A)^{1/3}$ 。

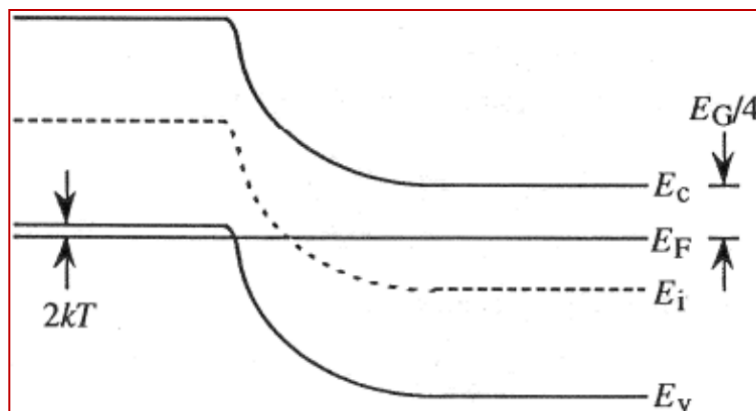
5.2

室温下，对于一个硅的掺杂突变结，已知 p 型一侧 $E_F = E_v - 2kT$ ，而 n 型一侧 $E_F = E_c - E_G/4$ 。

(a) 画出结的热平衡能带图。

(b) 确定内建电压 (V_{bi})，列出表达式并给出计算值。

(a)



(b)

通过公式 (5.12) 可知

$$\begin{aligned}
 V_{bi} &= \frac{1}{q} \left[(E_i - E_F)_{p\text{侧}} + (E_F - E_i)_{n\text{侧}} \right] \cong \frac{1}{q} \left(\frac{E_G}{2} + 2kT + \frac{E_G}{4} \right) = \frac{1}{q} \left(\frac{3E_G}{4} + 2kT \right) \\
 &= \frac{3}{4} (1.12) + 2(0.0259) = 0.89V
 \end{aligned}$$

考虑 $p1-p2$ “同型掺杂”的突变结，参见图 P5.3。

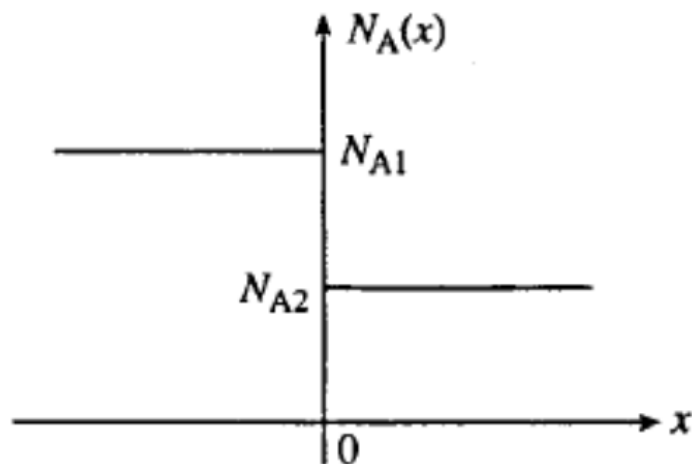


图 P5.3

- 画出结的热平衡能带图，设掺杂是非简并的且 $N_{A1} > N_{A2}$ 。
- 推导出热平衡条件下结的内建电势 (V_{bi}) 表达式。
- 画出结内的电势，电场和电荷的示意图。
- 简要地描述一下耗尽近似。
- 画出的 $p1-p2$ 结中的静电变量，是否可以采用耗尽近似来解出该变量？并解释。

(a) 画出结的热平衡能带图，设掺杂是非简并的且 $N_{A1} > N_{A2}$

考虑 $p1-p2$ “同型掺杂”的突变结，参见图 P5.3。

因为 $N_{A1} > N_{A2}$ 并且在远离结区的的地方， $p = n_i \exp[(E_i - E_F)/kT] \cong N_A$ ，遵循下面公式： $(E_i - E_F)_{x<0} > (E_i - E_F)_{x>0}$ 。因此结的热平衡能带图可以绘制为：

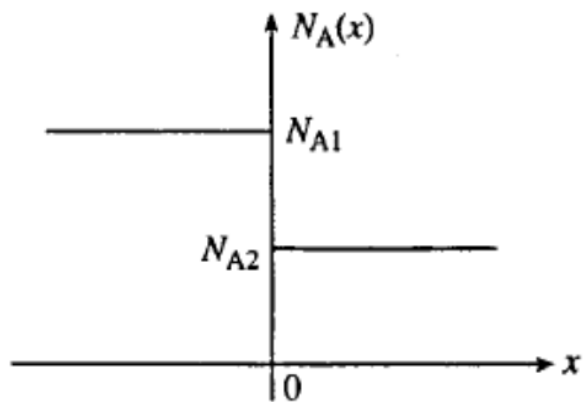
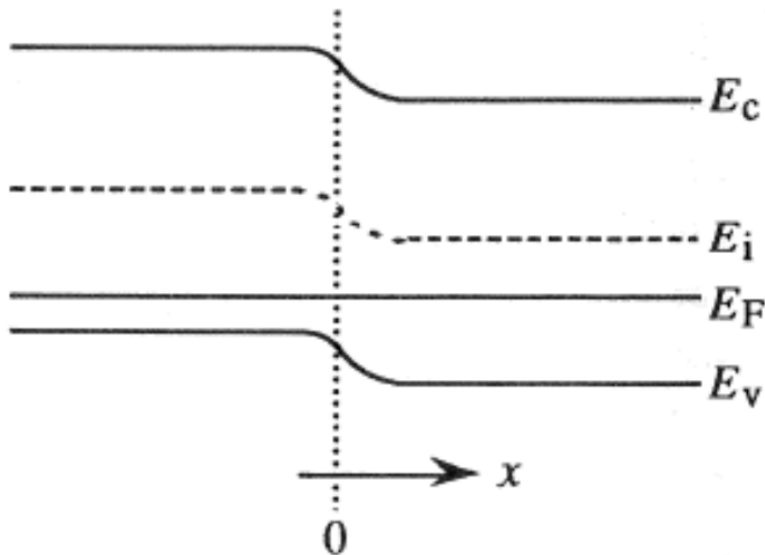


图 P5.3



考虑 p_1 - p_2 “同型掺杂”的突变结，参见图 P5.3。

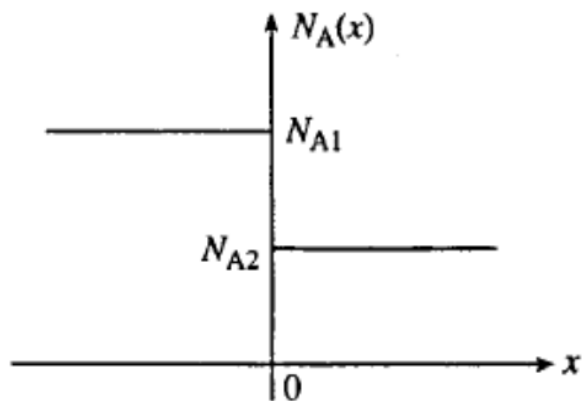


图 P5.3

(b) 推导出热平衡条件下结的内建电势 (V_{bi}) 表达式。

考虑到掺杂是非退化的，可以采用与公式 5.10 相同的计算方法，除了：

$$n(x_n) \cong n_i^2/N_{A2}$$

$$n(-x_p) \cong n_i^2/N_{A1}$$

代入式 (5.8) 得出：

$$V_{bi} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{N_{A1}}{N_{A2}}\right)$$

或者，可以写为：

$$\begin{aligned} V_{bi} &= \frac{1}{q} [E_i(-\infty) - E_i(+\infty)] = \frac{1}{q} [(E_i - E_F)_{p1\text{-side}} - (E_i - E_F)_{p2\text{-side}}] \\ &= \frac{1}{q} [kT \ln(N_{A1}/n_i) - kT \ln(N_{A2}/n_i)] = \frac{kT}{q} \ln(N_{A1}/N_{A2}) \end{aligned}$$

请注意，事实上，

$$V_{bi} \rightarrow 0 \text{ if } N_{A1} = N_{A2}.$$

(c) 画出结内的电势，电场和电荷的示意图。

考虑 p_1 - p_2 “同型掺杂”
的突变结，参见图 P5.3。

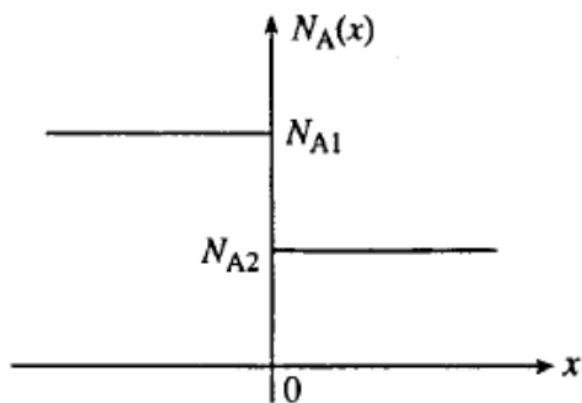
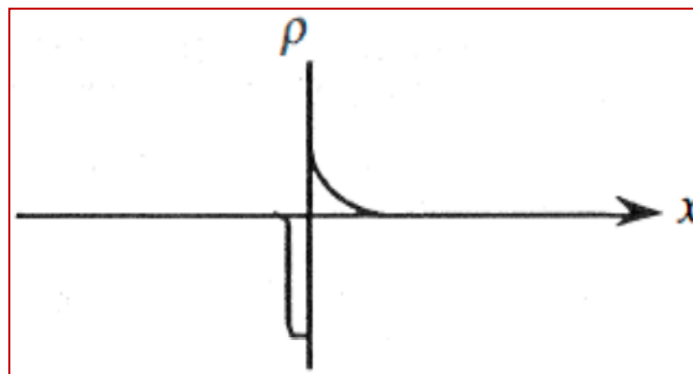
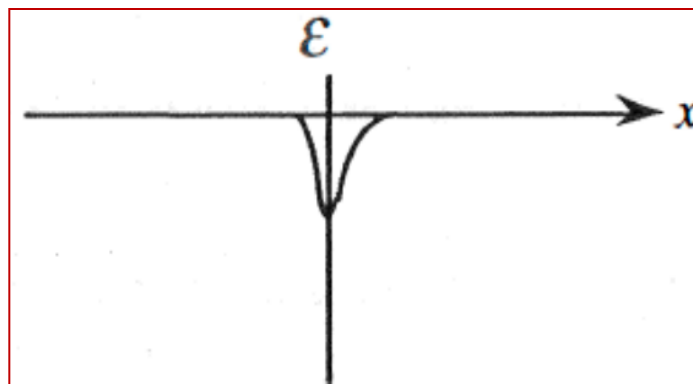
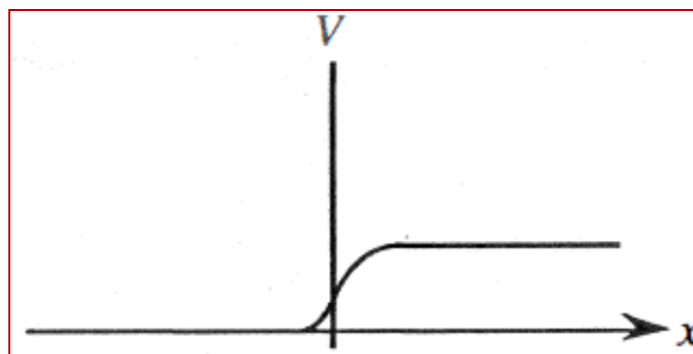


图 P5.3



需要强调的是，以上都是草图。精确的函数依赖关系不能用图形方法来推导。 7

考虑 p_1 - p_2 “同型掺杂”
的突变结，参见图 P5.3。

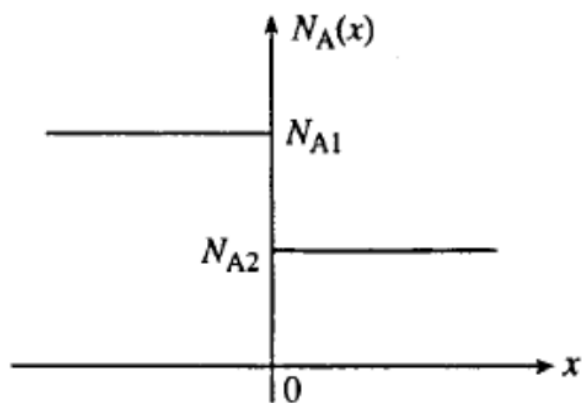


图 P5.3

(d) 简要地描述一下耗尽近似。

(e) 画出的 p_1 - p_2 结中的静电变量，是否可以采用耗尽近似来解出该变量？并解释。

(e) 否，确实 (c) 部分中 p 型图的 $x < 0$ 部分显示的负电荷是由结的高掺杂 N_{A1} 侧的空穴耗尽引起的，从而导致与电离受体相关的净电荷。但是，在结的 N_{A2} 侧的正电荷不能归因于电离供体，没有施主掺杂！正电荷的唯一来源是空穴。在结的 N 侧有一个空穴浓度超过了 N_{A2} （结的 N_{A2} 侧的空穴过剩实际上可以从 (a) 部分的能带图中推断出来）。由于结附近的 $p > N_{A2}$ ，因此我们不能调用耗尽近似。

5.4

室温下，处于热平衡条件下的硅突变结， p 型掺杂 $N_A = 2 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ ，而 n 型掺杂 $N_D = 10^{15}/\text{cm}^3$ 。计算

(a) V_{bi} 。

(b) x_p 、 x_n 和 W 。

(c) $x=0$ 处的 \mathcal{E} 。

(d) $x=0$ 处的 V 。

(e) 画出电荷密度、电场和静电电势随位置变化的草图，并标出大概的比例。

(a)
$$V_{bi} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{N_A N_D}{n_i^2}\right) = (0.0259) \ln\left[\frac{(2 \times 10^{15})(10^{15})}{(10^{20})}\right] = 0.614 \text{ V}$$

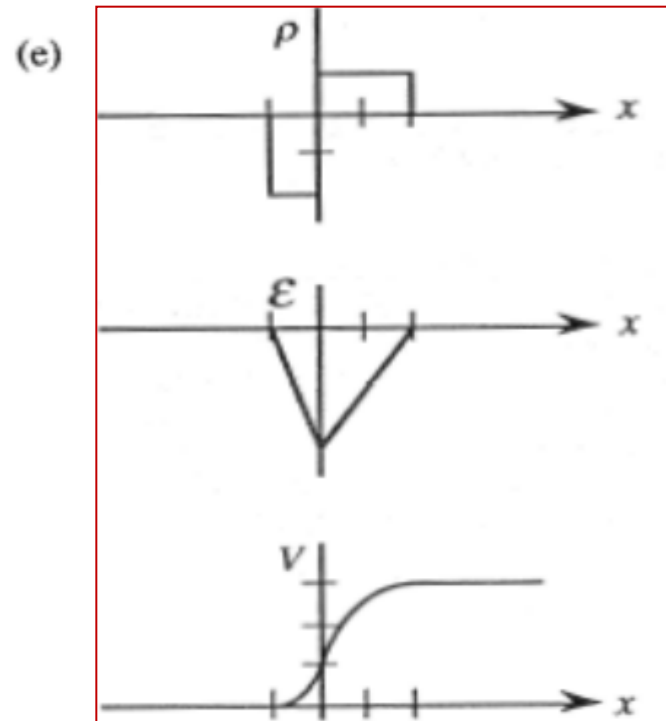
(b)
$$x_p = \left[\frac{2K_S \epsilon_0}{q} \frac{N_D}{N_A(N_A + N_D)} V_{bi} \right]^{1/2} = 3.655 \times 10^{-5} \text{ cm}$$

$$x_n = \left[\frac{2K_S \epsilon_0}{q} \frac{N_A}{N_D(N_A + N_D)} V_{bi} \right]^{1/2} = 7.31 \times 10^{-5} \text{ cm}$$

$$W = x_n + x_p = 1.10 \times 10^{-4} \text{ cm}$$

(c)
$$\mathcal{E}(0) = -\frac{qN_D}{K_S \epsilon_0} x_n = -\frac{(1.6 \times 10^{-19})(10^{15})(7.31 \times 10^{-5})}{(11.8)(8.85 \times 10^{-14})} = -1.12 \times 10^4 \text{ V/cm}$$

(d)
$$V(0) = \frac{qN_A}{2K_S \epsilon_0} x_p^2 = \frac{(1.6 \times 10^{-19})(2 \times 10^{15})(3.655 \times 10^{-5})^2}{(2)(11.8)(8.85 \times 10^{-14})} = 0.205 \text{ V}$$



谢 谢！