

半导体物理

课后作业07 参考解答

主讲人：蒋玉龙

微电子学楼312室， 65643768

Email: yljiang@fudan.edu.cn

<http://10.14.3.121>

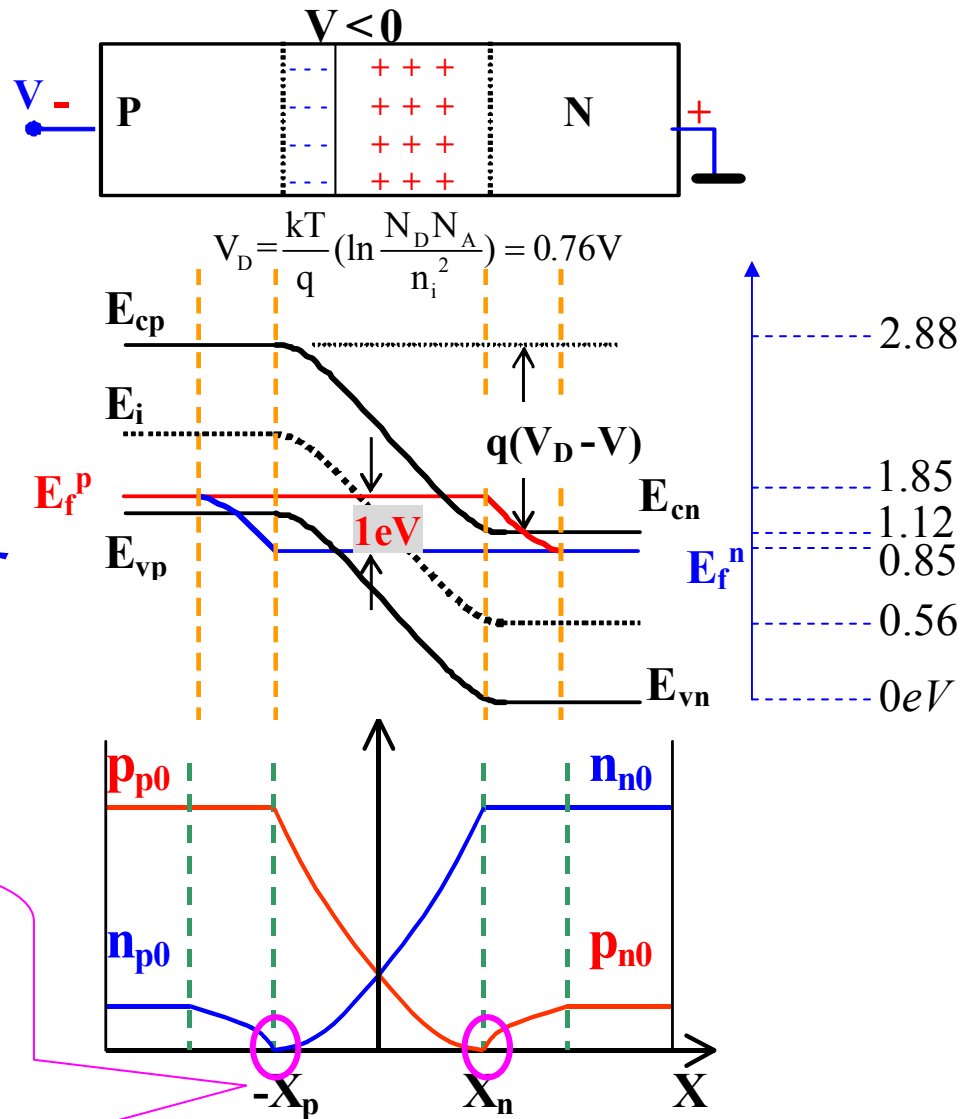
课后作业07

1、已知室温下Si的pn结中各区掺杂浓度如下： $N_A = 1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ， $N_D = 1 \times 10^{15} / \text{cm}^3$ 。

(1) 画出反向1V情况下，该pn结对应的能带图（假设半导体中性区足够厚，以N型区价带顶作为能量零点，标出各个能级的具体能量值）

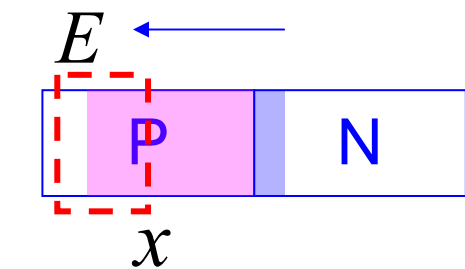
(2) 简单说明理想情况下反向电流对电压为什么不敏感。

反向电流来源于少子从体内向耗尽区边缘的扩散电流，该电流大小取决于耗尽区边缘处的少子浓度梯度，而很小的反向电压就可以使该处的少子浓度近乎为零，这样即使反向电压再增加，该处少子浓度梯度对反向电压也不再敏感了。



课后作业07

2、有一个锗pn结，其p区掺杂浓度 N_A 与n区掺杂浓度 N_D 存在 $N_D=100N_A$ 的关系。其中 N_A 的大小相当于一亿个Ge原子中有一个受主原子。利用高斯定理计算室温下该pn结的接触电势差。



$$\oiint \vec{D} \cdot d\vec{S} = \epsilon_r \epsilon_0 \oiint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \iiint \rho dV = Q$$

一维体系近似，建立如图所示坐标系，以p区为例，做红色高斯包络面

$$E(x) = \frac{\sigma}{\epsilon_r \epsilon_0} = -\frac{qN_A(x_p + x)}{\epsilon_r \epsilon_0}$$

同理可得n区电场

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

$$E(0) = -\frac{qN_A x_p}{\epsilon_r \epsilon_0}$$

$$= -\frac{qN_D x_n}{\epsilon_r \epsilon_0}$$

$$N_D = 100N_A$$

$$x_p = 100x_n$$

$$V_D = \frac{1}{2}(x_n + x_p)|E(0)|$$

$$= \frac{1.01x_p}{2} \cdot \frac{qN_A x_p}{\epsilon_r \epsilon_0} \approx \frac{qN_A x_p^2}{2\epsilon_r \epsilon_0}$$

$$V_D = \frac{1}{2}(x_n + x_p)E(0)$$

课后作业07

3、一个硅pn结二极管具有下列参数： $N_D=1E16/cm^3$ ， $N_A=5E18/cm^3$ ， $\tau_n=\tau_p=1\mu s$ ，二极管面积 $A=0.01cm^2$ 。设结两边的宽度远大于各自少子的扩散长度。求室温下正向电流为1mA时的外加电压。设p区 $\mu_n=500cm^2/V\cdot s$ ，n区 $\mu_p=180cm^2/V\cdot s$ 。

已知电子和空穴的迁移率，根据爱因斯坦关系可求得扩散系数为：

$$D_n = \frac{kT}{q} \mu_n = 0.026 \times 500 = 13cm^2/s; D_p = \frac{kT}{q} \mu_p = 0.026 \times 180 = 4.68cm^2/s$$

则扩散长度为： $L_p = \sqrt{\tau_p D_p} = 2.2 \times 10^{-3}cm$ $L_n = \sqrt{\tau_n D_n} = 3.6 \times 10^{-3}cm$

又知： $I = I_s \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right]$ $I_s = A \left(\frac{qD_p n_i^2}{L_p N_D} + \frac{qD_n n_i^2}{L_n N_A} \right)$

由电流电压方程 $I = I_s (e^{\frac{V}{0.026}} - 1)$

$$\Rightarrow V = 0.026 \cdot \ln\left(\frac{I}{I_s} + 1\right) = 0.61V$$

课后作业07

4、一个pn结电容器，其反向2V时的电容为200pF，求反向多大电压下其电容为100pF？设 $V_D=0.85V$ 。

势垒电容表达式为：
$$C_T = A \left[\frac{\epsilon_0 \epsilon_r q}{2(V_D - V)} \frac{N_A N_D}{N_A + N_D} \right]^{1/2}$$

则：

$$\frac{C_T(-2V)}{C_T(x)} = \frac{A \left[\frac{\epsilon_0 \epsilon_r q}{2(V_D + 2)} \frac{N_A N_D}{N_A + N_D} \right]^{1/2}}{A \left[\frac{\epsilon_0 \epsilon_r q}{2(V_D - x)} \frac{N_A N_D}{N_A + N_D} \right]^{1/2}} = \left(\frac{V_D - x}{V_D + 2} \right)^{1/2} = \frac{200}{100}$$

\downarrow

$$x = -10.55V$$

故知当加上10.6V的反向偏压时，能使电容减小到100pF。