

# 半导体物理

课后作业09 参考解答

主讲人：蒋玉龙

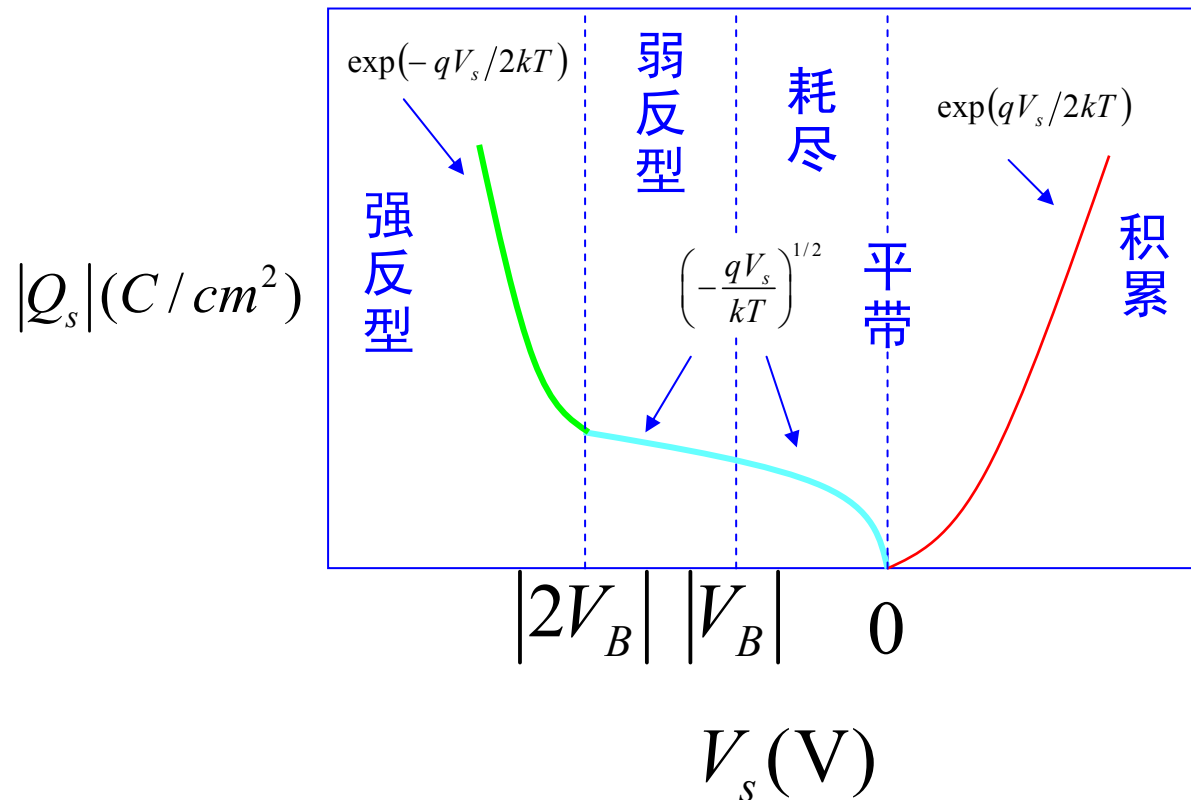
微电子学楼312室， 65643768

Email: [yljiang@fudan.edu.cn](mailto:yljiang@fudan.edu.cn)

<http://10.14.3.121>

# 课后作业09

1、画出n型Si的空间电荷层电荷面密度 $Q_s$ 与其表面势 $V_s$ 的对应关系，并标出空间电荷层各个状态对应的 $V_s$ 区间。（ $Q_s$ 使用自然对数坐标，参考课本202页的图）



# 课后作业09

2、用最直观、简单的方法推导出室温下掺杂浓度为 $N_A$ 的p型Si表面恰为本征时的表面电场强度、表面电荷密度和表面层电容的表达式。

$$V_B = \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{N_A}{n_i} \right) \longrightarrow V_s = V_B = \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{N_A}{n_i} \right)$$

本征时可按耗尽层近似处理

$$E_s = E(0)$$

$$= \frac{|Q_s|}{\epsilon_{Si}} = \frac{qN_A d}{\epsilon_{Si}}$$

$$V_s = \frac{1}{2} E_s d = \frac{qN_A d^2}{2\epsilon_{Si}}$$

$$= \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{N_A}{n_i} \right)$$

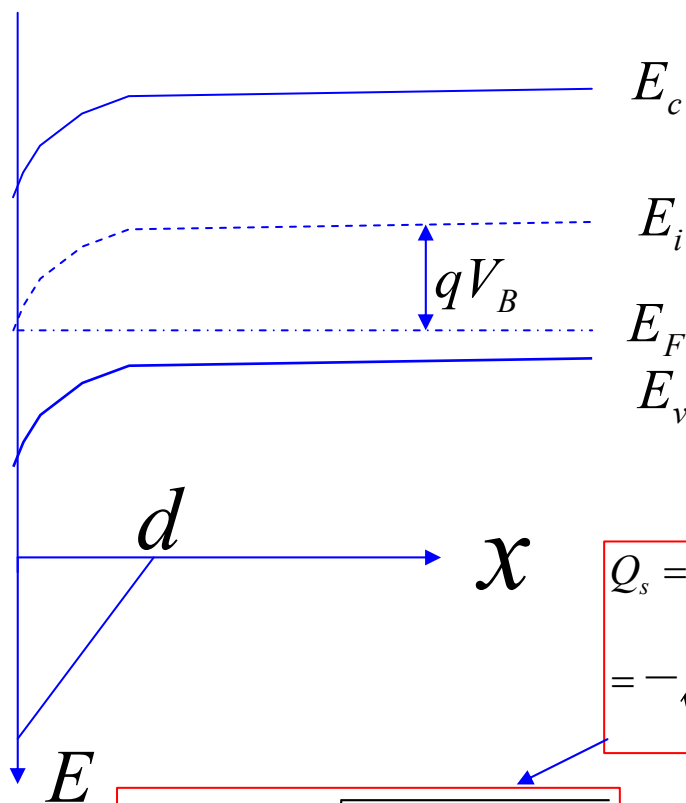
$$d = \sqrt{\frac{2\epsilon_{Si} kT}{q^2 N_A} \ln \left( \frac{N_A}{n_i} \right)}$$

$$Q_s = -qN_A d$$

$$= -\sqrt{2\epsilon_{Si} kT N_A \ln \left( \frac{N_A}{n_i} \right)}$$

$$E_s = \frac{|Q_s|}{\epsilon_{Si}} = \sqrt{\frac{2kT N_A}{\epsilon_{Si}} \ln \left( \frac{N_A}{n_i} \right)}$$

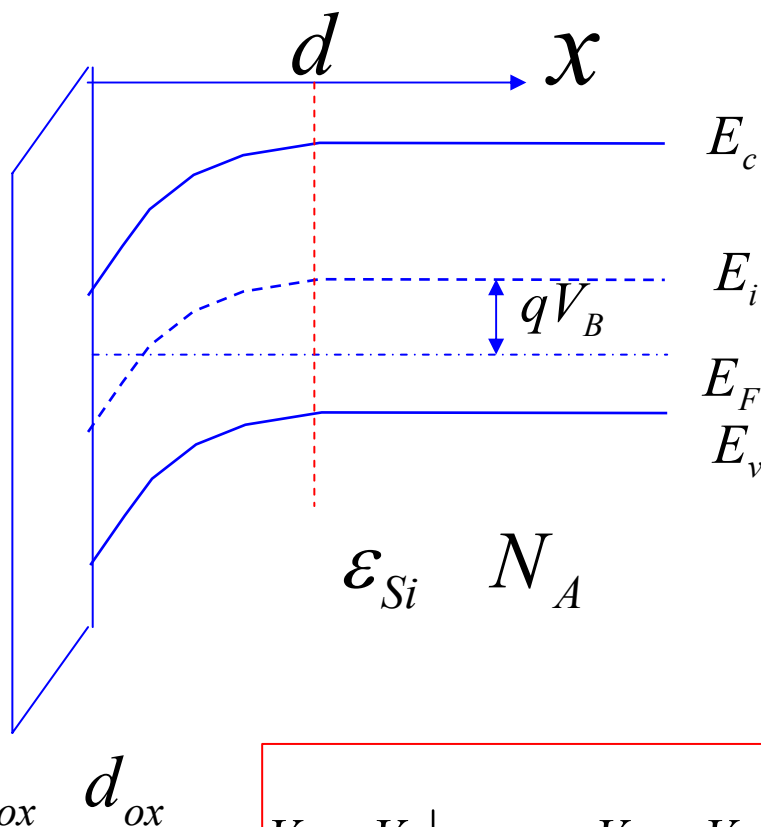
$$C_s = \frac{\epsilon_{Si}}{d} = \left[ \frac{2kT}{q^2 \epsilon_{Si} N_A} \ln \left( \frac{N_A}{n_i} \right) \right]^{-\frac{1}{2}}$$



# 课后作业09

3、用最直观、简单的方法导出室温下p-Si衬底对应的理想MIS结构的开启电压表达式。（Si介电常数为 $\epsilon_{Si}$ ，掺杂浓度为 $N_A$ ， $SiO_2$ 层介电常数为 $\epsilon_{ox}$ ，厚度为 $d_{ox}$ ）

此时仍可按耗尽层近似处理



$$V_s = 2V_B = \frac{2kT}{q} \ln\left(\frac{N_A}{n_i}\right) = \frac{1}{2} E_s d$$

$$E_s = \frac{Q_s}{\epsilon_{Si}} = \frac{qN_A d}{\epsilon_{Si}}$$

$$E_s = \frac{Q_s}{\epsilon_{Si}} = \sqrt{\frac{4kTN_A \ln\left(\frac{N_A}{n_i}\right)}{\epsilon_{Si}}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4\epsilon_{Si}kT}{q^2 N_A} \ln\left(\frac{N_A}{n_i}\right)}$$

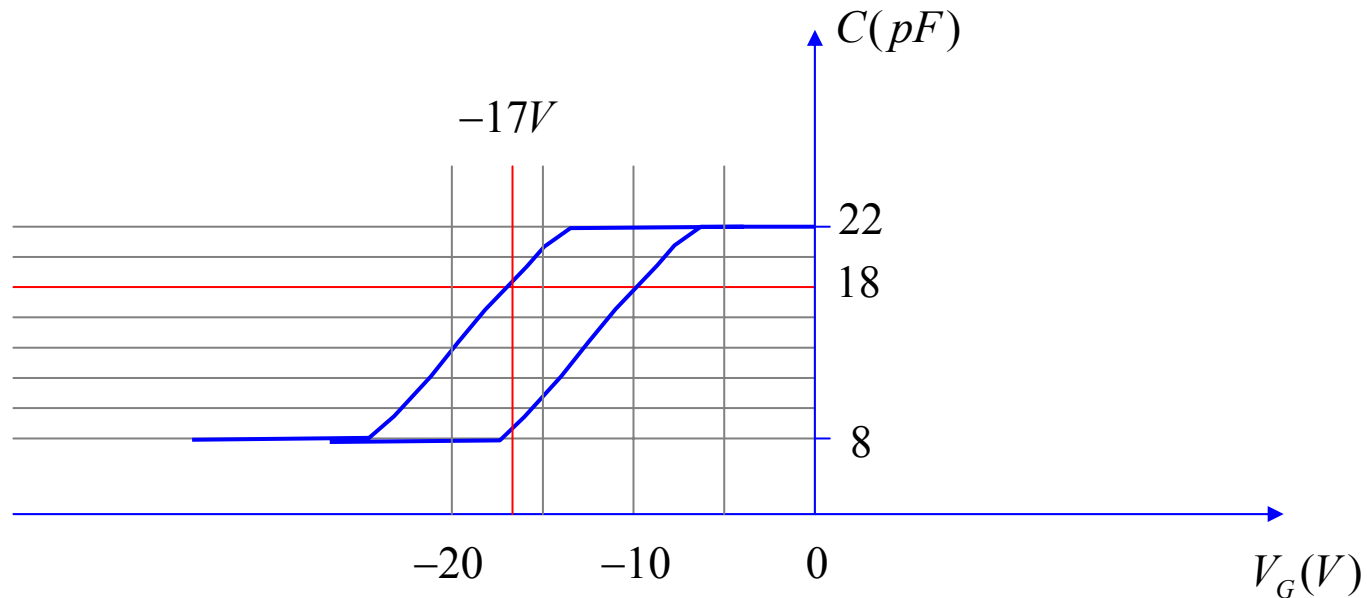
$$D_{ox} = D_{Si}(x=0) \rightarrow \epsilon_{ox} E_{ox} = \epsilon_{Si} E_s$$

$$E_{ox} = \frac{\epsilon_{Si} E_s}{\epsilon_{ox}} = \sqrt{\frac{4kT \epsilon_{Si} N_A \ln\left(\frac{N_A}{n_i}\right)}{\epsilon_{ox}^2}}$$

$$V_T = V_G|_{V_s=2V_B} = V_{ox} + V_s = d_{ox} \sqrt{\frac{4kT \epsilon_{Si} N_A \ln\left(\frac{N_A}{n_i}\right)}{\epsilon_{ox}^2}} + \frac{2kT}{q} \ln\left(\frac{N_A}{n_i}\right)$$

# 课后作业09

4、用n型Si单晶片做为衬底制备MIS电容。金属电极使用Al，面积为 $1.6 \times 10^{-7} \text{m}^2$ ，功函数为 $4.25 \text{eV}$ 。绝缘层采用 $\text{SiO}_2$ ，相对介电常数3.9。在 $200^\circ\text{C}$ 下做高频正负偏压B-T实验，测量所得C—V曲线如图所示。求该 $\text{SiO}_2$ 中的可动电荷面密度。



# 课后作业09

1) 高频实验可以给出衬底掺杂浓度 $N_D$

$$C_{ox} = A \frac{\epsilon_{ox}}{d_{ox}} = 1.6 \times 10^{-3} \times \frac{3.9 \times 8.85 \times 10^{-14}}{d_{ox}} = 22 \times 10^{-12} F$$

↓

$$d_{ox} = 2.5 \times 10^{-5} cm = 0.25 \mu m$$

$$\frac{C'_{min}}{C_{ox}} = \frac{8}{22} = \frac{1}{1 + \frac{\epsilon_{ox}}{\epsilon_s} \left[ \frac{4\epsilon_s kT}{q^2 N_D} \ln \left( \frac{N_D}{n_i} \right) \right]^{1/2} d_{ox}}$$

课本210页

查表

$$N_D = 5 \times 10^{14} cm^{-3}$$

# 课后作业09

2) 根据 $N_D$ 可算出 $C_{FB}$

$$C_{FB} = C_{ox} / \left( 1 + \frac{\epsilon_{ox}}{d_{ox}} \left( \frac{kT}{q^2 N_A \epsilon_s} \right)^{\frac{1}{2}} \right)$$

课本208页

查表

$$C_{FB} = 0.82 C_{ox} = 18 pF$$

3) 根据 $C_{FB}$ 可得到 $V_{FB}$

由C-V曲线可知, 18pF对应电压为-17V

4) 根据B-T实验原理, 求可动电荷密度, 需要知道 $\Delta V_{FB}$

$$\text{由C-V曲线可知 } |\Delta V_{FB}| = \frac{Q_m}{C_{ox}} = 7V$$

5) 可动电荷密度

$$Q_m = |\Delta V_{FB}| C_{ox} = \frac{7 \times 22 \times 10^{-12}}{1.6 \times 10^{-3}} = 9.6 \times 10^{-8} C/cm^2 = 6.0 \times 10^{11} q/cm^2$$