

涉及具体数值的计算结果保留三位有效数字，计算过程请标注必要的单位。

1. (1) 画出 N 型 Si 衬底理想 MOS 电容的三种状态（积累、耗尽、反型）的能带图，标出金属费米能级 (E_{FM})、半导体费米能级 (E_{FS})、导带 (E_C)、价带 (E_V)、本征费米能级 (E_i)、表面势 (qV_s) 及不同状态时的栅压条件（栅压大于、小于、远大于或远小于 0）。(2) 针对上述电容，在不考虑金属-半导体功函数差、界面电荷等非理想因素时，推导出强反型时的表面势 (V_s) 及外加栅压 (V_g) 的表达式，其中氧化层电容、n 型衬底掺杂浓度、本征载流子浓度分别为 C_{ox} 、 N_D 、 n_i 。

2. 考虑一 $t_{ox}=35\text{ nm}$ 的铝栅-二氧化硅-p 型 Si 的 MOS 结构。Si 掺杂浓度为 $3\times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ ，平带电压 V_{FB} 为 -1.5 V ，试确定固定氧化层电荷 Q_{ss} （不考虑氧化层移动电荷 Q_{ox} ），并指明的固定电荷的正负。若其他条件不变，已知固定氧化层电荷密度 Q_{ss} 为 $-2\times 10^{-7}\text{ C/cm}^2$ ，求此时的平带电压值。Si 的电子亲和能、禁带宽度、本征载流子浓度分别按照 4.05 eV 、 1.12 eV 、 $1.5\times 10^{10}\text{ cm}^{-3}$ 计算，铝的功函数按照 4.1 eV 计算。

3. 理想 n 沟道（p 型衬底）MOSFET，说明以下结构的改变将分别对阈值电压 V_T 产生什么影响并简单解释原因。（注：a. 此处“理想”指无氧化层固定正电荷 Q_{ss} 和氧化层移动电荷 Q_{ox} 。b. Al 的功函数为 4.1 eV ，Cu 的功函数为 4.7 eV ）

- (1) 进行离子化辐射，导致明显的氧化层固定正电荷 $Q_{ss}\neq 0$ ；
- (2) 将栅极材料由 Al 改为 Cu；
- (3) 提高衬底的掺杂浓度
- (4) 减薄氧化层的厚度；
- (5) 在硅表面附近注入硼离子。

4. 一个 MOSFET，其器件参数为 $\Phi_{ms}=-0.46\text{ eV}$ ， $Q_{ss}/q=2\times 10^{11}\text{ cm}^{-2}$ ，氧化硅厚度 $t_{ox}=0.05\text{ }\mu\text{m}$ ，衬底施主杂质掺杂浓度为 $N_D=5\times 10^{15}\text{ cm}^{-3}$ 。（Si 的电子亲和能、禁带宽度、本征载流子浓度分别按照 4.05 eV 、 1.12 eV 、 $1.5\times 10^{10}\text{ cm}^{-3}$ 计算， SiO_2 相对介电常数为 3.9， $k_0T=26\text{ meV}$ ）

- (1) 求 V_{FB} 及 V_T ；
- (2) 假设利用离子注入技术在靠近硅-氧化硅界面处注入了剂量为 $1.5\times 10^{12}\text{ cm}^{-2}$ 的硼离子，求 ΔV_T ；
- (3) 离子注入前后的 MOSFET 是增强型还是耗尽型？

5. 一铝栅-二氧化硅-Si MOS 电容器的高频特性曲线如图 1 所示。器件的面积为 $2\times 10^{-3}\text{ cm}^2$ ，Si 掺杂浓度为 $2\times 10^{16}\text{ cm}^{-3}$ 。（1）半导体是 n 型的还是 p 型的？（2）求平带电容。（3）画出其低频 CV 曲线，并标出耗尽、弱反型、强反型的区域及条件（表面势 V_s 与 $|V_B|$ 的关系）。

