

第五次作业

廖汶锋 无研 231 2023270010

2023 年 1 月 2 日

1. 理想 n 沟 MOSFET，已知器件参数为： $L=1\text{mm}$ ， $C_{ox} = 10^{-7}\text{F/cm}^2$ ， $V_T = 0.6\text{V}$ ，低场迁移率 $\mu = 600\text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ ，不考虑速度饱和效应和迁移率下降效应，求解以下问题：

(1) 如果工作在饱和区，满足 $V_{GS} = 5\text{V}$ ， $I_{Dsat} = 4\text{mA}$ ，沟道宽度应为多少？

(2) 求 $V_{GS} = 2\text{V}$ ， $V_{DS} = 2\text{V}$ 时的漏极电流？

(3) 求 $V_{GS} = 4\text{V}$ ， $V_{DS} = 3\text{V}$ 时的漏极电流？

解答：

$$(1) \text{ 沟道宽度 } W = \frac{2LI_{Dsat}}{\mu C_{ox}(V_{GS}-V_T)^2} = 6.8871\text{mm}。$$

$$(2) \text{ 因为 } 0 = V_{GD} < V_{TN}, \text{ 所以晶体管工作在饱和区，漏极电流 } I_D = I_{Dsat}|_{V_{GS}=2\text{V}} = 4 \times \left(\frac{2-0.6}{5-0.6}\right)^2 = 0.40496\text{mA}。$$

$$(3) \text{ 因为 } 1\text{V} = V_{GD} > V_{TN}, \text{ 所以晶体管工作在饱和区，漏极电流 } I_D = \mu C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right) (V_{GS} - V_T - 0.5V_{DS})V_{DS} = 2.3554\text{mA}。$$

2. 根据萨方程的表达式，求解跨导 g_m 和沟道电导 g_d ，说明提高 g_m 的具体措施(提示：不同区域分别讨论)。

解答：

截止区： $g_m = g_d = 0$ 。

线性区： $g_m = \mu C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right) V_{DS}$ ， $g_d = \mu C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right) (V_{GS} - V_T - V_{DS})$ 。

饱和区： $g_m = \mu C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right) (V_{GS} - V_T)$ ， $g_d = 0$ 。

要提高 g_m ，首先需要保证 $V_{GS} > V_T$ 。其次可以透过提高沟道迁移率 μ 、使用 High-k 介质提高 C_{ox} 、增大宽长比 $\frac{W}{L}$ 来提高 g_m 。另一方面，如果 MOSFET 需要工作在线性区，那么可以使 V_{DS} 尽量大来提高 g_m ；如果 MOSFET 工作在饱和区中，那么可以利用提高 V_{GS} 的手段来提高 g_m 。

3. 对于实际的增强型 NMOSFET，阈值电压 V_T 包括哪几部分？

解答：NMOSFET 阈值电压公式为

$$V_T = \frac{-Q_{SD,max} - Q'_{ss}}{C_{ox}} + 2\phi_{F_p} + \phi_{ms} = \frac{qN_{A,P}}{C_{ox}} \sqrt{\frac{2\epsilon_0\epsilon_r(2\phi_{F_p} + V_{SB})}{qN_{A,P}}} + V_{FB} + 2\phi_{F_p}$$

第一部分：栅氧化层电压，与掺杂浓度 N_A 、相对介电常数 ϵ_r 、表面势 $2\phi_{F_p}$ 与衬底电压 V_{SB} 之和的 1/2 次方成正比。

第二部分：平带电压 $V_{Fp} = \phi_{ms} - Q_{ss}'/C_{ox}$ ，与功函数差成正比。

第三部分：衬底费米势 $\phi_s = 2\phi_{F_p}$ ，与掺杂浓度 N_A 成对数关系。

除此以外，还包含短沟道效应、（反）窄沟道效应、离子注入等等所调整阈值电压项。