

第一章 MOS 管

1.1 MOS 的基本结构

MOS 由源极漏极栅极和衬底构成。源漏为 n 型则为 nMOS，为 p 型则为 pMOS。

1.2 MOS 的平衡能带图

为了使得费米能级连续，接触处的能带下拉，由于氧化物是刚性下拉，另一侧也下降。

$$\frac{p}{p'} = \exp\left(\frac{\phi_S}{kT}\right)$$

1.3 理想 MOS 电容

通过外接电压，使得氧化物能级变平。

通过外加偏置，可以得到积累、耗尽与反型几种状态。

1.4 阈值电压

反型的临界：表面电子浓度与内部空穴浓度相等时的外接电压。

$$\frac{n_i^2}{N_A} \exp \frac{\phi_S}{kT} = N_A$$

$$\phi_S = kT \ln(N_A/n_i)$$

那么

$$V_G = V_{ox} + \phi_S = \frac{Q_S(\phi_S)}{C_{ox}} + \phi_S$$

1.5 低于阈值的状态

由于空穴沿位置上升速度极快，可以看作是一个冲激函数。而积累时 $\phi_S \approx 0$

$$V_G = \frac{Q_S}{C_{ox}}$$

激发的载流子全部存在于界面上，电压全部落在氧化层上， $V_G \approx V_{ox} = Q_S(\phi_S)/C_{ox}$ 。

类似的，反型之后电子浓度也会出现急剧上升，电压的进一步上升基本都会落在 V_{ox} 上，用于能带弯曲的电压只需一小部分就可以引起极大的电荷变化。

1.6 小信号电容

对于积累时，宽度不变，电荷变化；而耗尽时，类似 PN 结，宽度会发生变化，而电荷保持¹在 $-N_A$ ，是一个串联的电容；反型会增加极薄的反型层，空间电荷区基本稳定，但是反型电荷由 δ 近似会发生变化。

$$C_S = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{W}, \text{ where } W \propto \sqrt{V_{bi} - V_A}$$

1.7 高于阈值的状态

电荷随着 V_G 线性增长，随着 V_{th} 指数增长。

$$\begin{aligned} V_G &= \phi_S + V_{ox} \\ &= \phi_S + E_{ox} x_{ox} \\ &= \phi_S - \frac{Q_i + Q_F}{\epsilon_r \epsilon_0} x_{ox} \end{aligned}$$

而阈值电压满足

$$\begin{aligned} V_{th} &= 2\phi_F + E_{ox} x_{ox} \\ &= 2\phi_F - \frac{Q_i(2\phi_F) + Q_F}{\kappa_{ox} \epsilon_0} x_{ox} \\ V_G - V_{th} &= (\phi_S - 2\phi_F) - \frac{Q_i(\phi_S - Q_i(2\phi_F))}{\kappa_{ox} \epsilon_0} x_{ox} \\ &\approx - \frac{Q_F(\phi_S) - Q_F(2\phi_F)}{\kappa_{ox} \epsilon_0} x_{ox} \\ &= \frac{Q_i}{\epsilon_r \epsilon_0} x_{ox} \end{aligned}$$

小信号电容表示为

$$C_G = \frac{dQ_G}{dV_G}$$

$$\frac{dV_G}{dQ_G} = \frac{Q_S/C_{ox}}{dQ_G} + \frac{d\phi_S}{dQ_S}$$

¹电离杂质