

半导体物理

主讲人：蒋玉龙

微电子学楼312室， 65643768

Email: yljiang@fudan.edu.cn

<http://10.14.3.121>

第十章 半导体表面与MIS结构

10.1 表面态概念

10.2 表面电场效应

10.3 Si-SiO₂系统的性质

10.4 MIS结构的C-V特性

10.5 表面电导及迁移率

10.1 表面态概念¹

10.1.1 表面的特殊性

1. 表面处晶体的周期场中断；
2. 表面往往易受到损伤、氧化和沾污，从而影响器件的稳定性；
3. 表面往往需要特殊保护措施，如钝化等
4. 表面是器件制备的基础，如MOSFET等

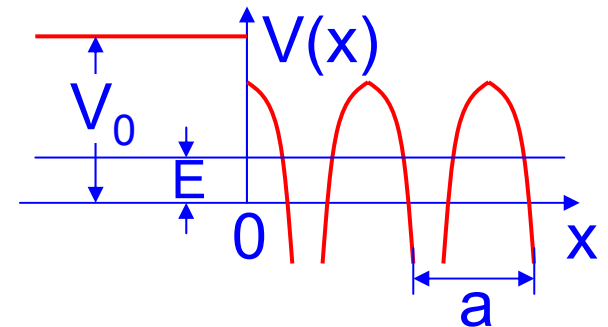
10.1 表面态概念₂

10.1.2 理想表面

理想一维晶体的表面态：薛定谔方程

$$-\frac{\hbar^2}{2m_0} \frac{d^2\psi}{dx^2} + V_0\psi = E\psi \quad (x \leq 0)$$

$$-\frac{\hbar^2}{2m_0} \frac{d^2\psi}{dx^2} + V(x)\psi = E\psi \quad (x \geq 0)$$



$$V(x+a) = V(x)$$

$E < V_0$ 第一组解：等同于一维
无限周期场的解

第二组解：对应于表面态

表面能级

$$\begin{cases} \psi_1(x) = A \exp \left\{ \frac{[2m_0(V_0 - E)]^{\frac{1}{2}}}{\hbar} x \right\} & (x \leq 0) \\ \psi_2(x) = A_1 u_k(x) e^{ik'x} e^{-k''x} & (x \geq 0) \end{cases}$$

在表面 ($x=0$) 两边，波函数指数衰减，说明电子分布几率主要集中在 $x=0$ 处，即电子被局限在表面附近。

每个表面原子对应禁带中一个表面能级，这些能级组成表面能带。

10.1 表面态概念₃

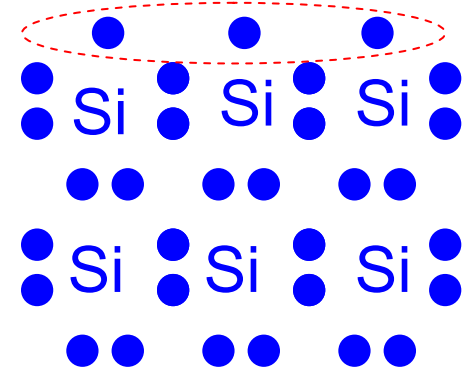
10.1.2 理想表面

理想一维晶体的表面态：化学键理论

例子：硅晶体

—表面处每个硅原子将有一个未配对电子——悬挂键，对应的电子能态就是表面态

—硅晶体表面原子密度 $\sim 10^{15}\text{cm}^{-2}$ ，悬挂键密度也应 $\sim 10^{15}\text{cm}^{-2}$



10.1 表面态概念₄

10.1.3 真实表面

1. 清洁表面

在超高真空 (UHV) ($\sim 10^{-9}$ Torr) 环境中解理晶体, 可以在短时间内获得清洁表面, 但与理想表面不同: 解理后的表面易形成再构

2. 真实表面

- 自然氧化层 ($\sim \text{nm}$) 一大部分悬挂键被饱和, 使表面态密度降低
- 表面态密度 $10^{10} \sim 10^{12} \text{ cm}^{-2}$
 - 施主型: 俘获电子后呈现电中性, 空态时呈现出正电荷态
 - 受主型: 俘获电子后呈现负电荷态, 空态时呈现出电中性

3. 界面

掺杂不同—Si pn (同质结)

金半接触—肖特基接触

不同半导体—异质结

晶粒间界—多晶结构

金属—氧化物—半导体—MOSFET

第十章 半导体表面与MIS结构

10.1 表面态概念

10.2 表面电场效应

10.3 Si-SiO₂系统的性质

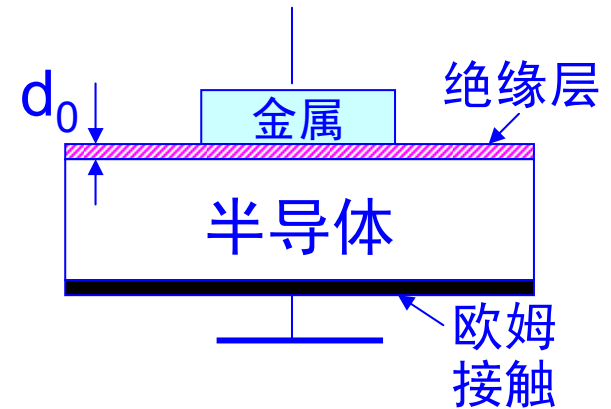
10.4 MIS结构的C-V特性

10.5 表面电导及迁移率

10.2 表面电场效应₁

10.2.1 空间电荷层

半导体表面层产生电场起因 { 外加偏压
功函数差
电荷 (固定电荷, 界面态等)



MIS结构实际上就是个电容

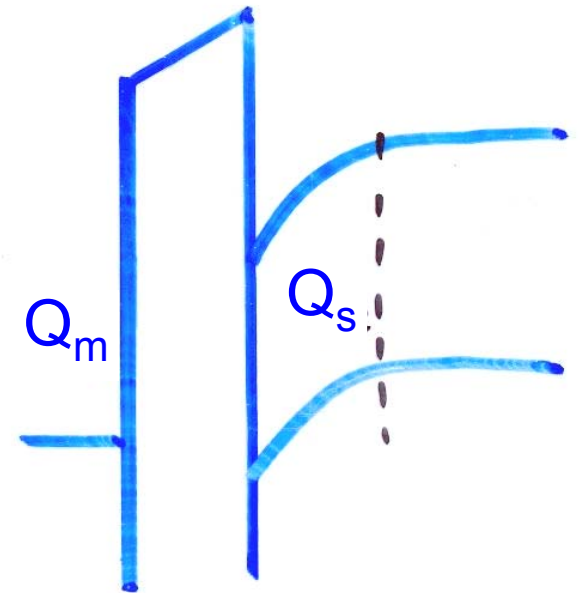
$$Q_m = -Q_s$$

空间电荷层
(space charge)

金属
metal

氧化层外的金
属一侧电荷

半导体内的
空间电荷



半导体中自由载流子密度低得多，对应 Q_s 的电荷量需要分布在一定厚度的表面层内，这个带电的表面层叫做**空间电荷层**。