

# 10.2 表面电场效应<sup>9</sup>

## 10.2.4 半导体表面层的五种基本状态

4° 反型状态

耗尽状态  $Q_s = -\frac{2\epsilon_s kT}{qL_D} \left( \frac{qV_s}{kT} \right)^{1/2}$

**弱反型**  $V_B < V_s < 2V_B$

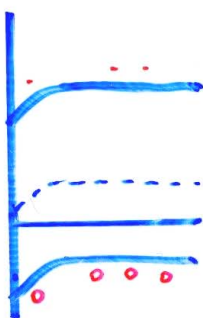
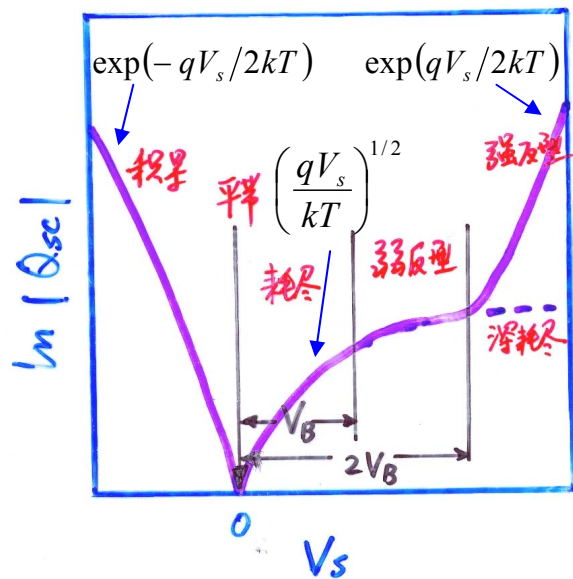
$V_s \uparrow \quad d \uparrow \quad Q_s$  对表面势依赖: 从  $V_s^{1/2}$  到  $\exp(qV_s/2kT)$

“耗尽层近似”依然适用

**强反型** — 表面处少子浓度开始超过体内多子浓度  $\leftarrow V_s \geq 2V_B$

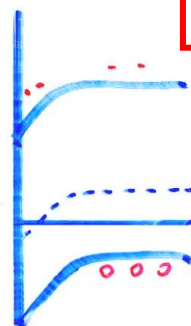
$V_s \uparrow \quad d = d_{\max} \quad Q_s \propto \exp(qV_s/2kT)$

$$d_{\max} = \left( \frac{2\epsilon_s}{q} \frac{2V_B}{N_A} \right)^{1/2}$$



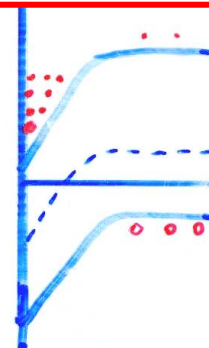
耗尽

$V_s \in (0, V_B)$



弱反型

$V_s \in (V_B, 2V_B)$



强反型

$V_s \geq 2V_B$

外加电场被反型层中积累的电子所屏蔽，耗尽层宽度达到最大。

# 10.2 表面电场效应<sup>10</sup>

## 10.2.4 半导体表面层的五种基本状态

5° 深耗尽状态  $V_s > 2V_B$

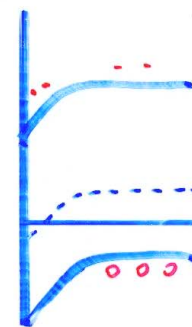
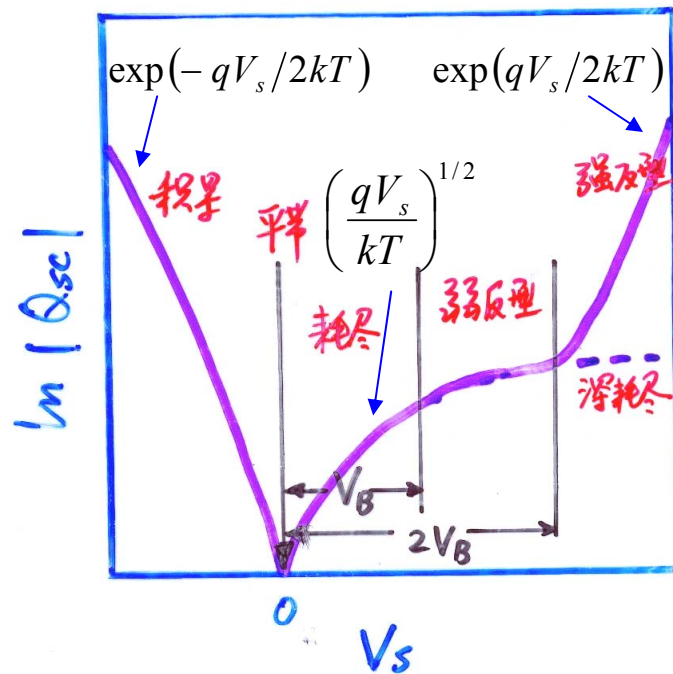
$V_s \uparrow$   $d > d_{\max}$  非平衡状态，空间电荷层的载流子跟不上外加电压变化

从深耗尽到热平衡反型层态所需的热驰豫时间 $\tau_{th}$ 为 $10^0 \sim 10^2 s$ !

反型层的建立不是一个很快的过程!

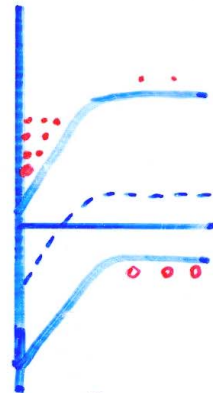
“耗尽层近似”  
依然适用

$$Q_s = -\frac{2\varepsilon_s kT}{qL_D} \left( \frac{qV_s}{kT} \right)^{1/2}$$



弱反型

$V_s \in (V_B, 2V_B)$

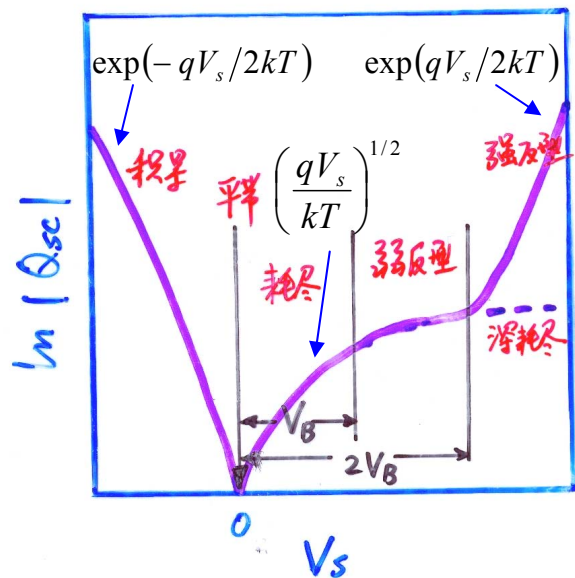
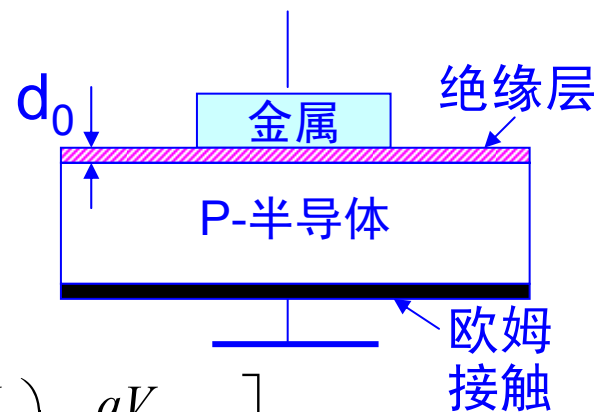


强反型

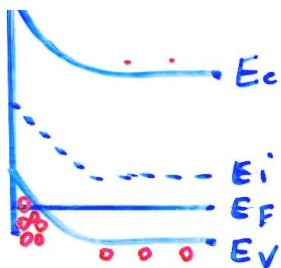
$V_s \geq 2V_B$

# 10.2 表面电场效应<sup>11</sup>

## 10.2.4 半导体表面层的五种基本状态

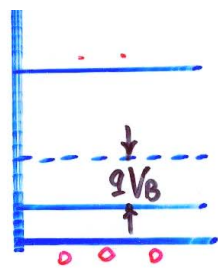


$$Q_s \propto E_s \propto F(V_s) = \left\{ \left[ \exp\left(-\frac{qV_s}{kT}\right) + \frac{qV_s}{kT} - 1 \right] + \frac{n_{p0}}{p_{p0}} \left[ \exp\left(\frac{qV_s}{kT}\right) - \frac{qV_s}{kT} - 1 \right] \right\}^{1/2}$$



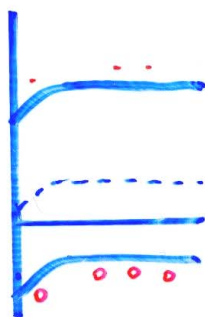
积累

$$V_s < 0$$



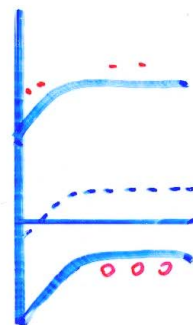
平带

$$V_s = 0$$



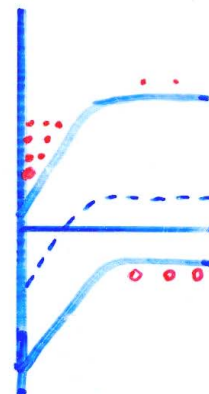
耗尽

$$V_s \in (0, V_B)$$



弱反型

$$V_s \in (V_B, 2V_B)$$



强反型

$$V_s \geq 2V_B$$

# 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

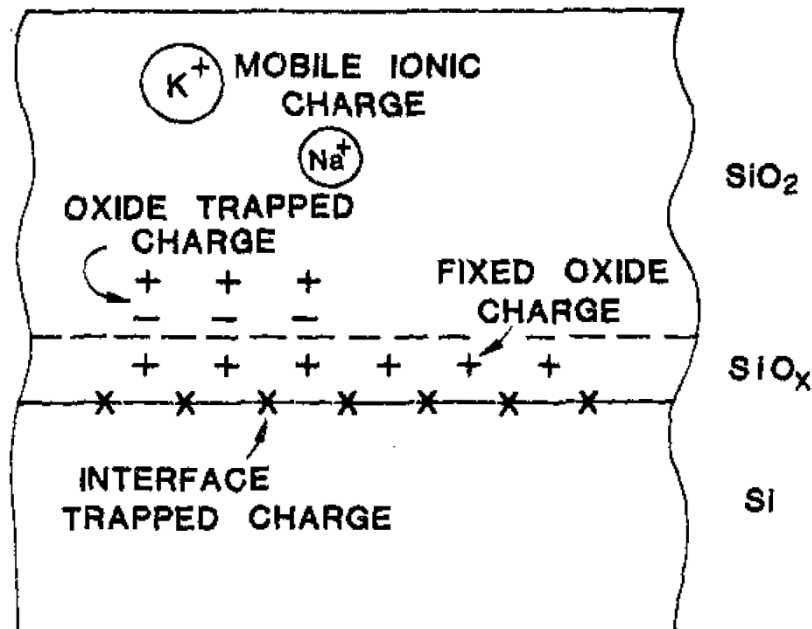
10.3 Si-SiO<sub>2</sub>系统的性质

10.4 MIS结构的C-V特性

10.5 表面电导及迁移率

# 10.3 Si-SiO<sub>2</sub>系统的性质<sub>1</sub>

## 10.3.1 Si-SiO<sub>2</sub>系统中的电荷状态



1. 界面陷阱电荷（快界面态）  $Q_{it}$
2. 氧化层中固定电荷  $Q_f$
3. 氧化层中可动电荷  $Q_m$
4. 氧化层中陷阱电荷  $Q_{ot}$

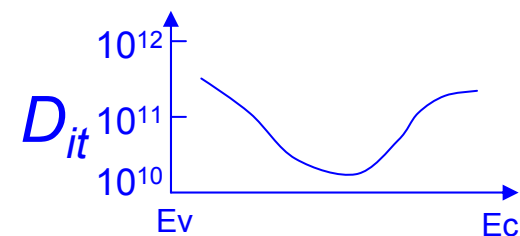
### 1. 界面陷阱电荷（快界面态） $Q_{it}$ 界面态密度 $D_{it}$

1°  $D_{it}$   $10^{10} \sim 10^{12} \text{ cm}^{-2}\text{eV}^{-1}$

2°  $D_{it}$  在禁带中呈现“U”形连续分布

3°  $Q_{it}$  与晶向关系：  $[111] > [110] > [100]$

4°  $Q_{it}$  依赖退火处理



# 10.3 Si-SiO<sub>2</sub>系统的性质<sub>2</sub>

## 10.3.1 Si-SiO<sub>2</sub>系统中的电荷状态

### 2. 氧化层中固定电荷 $Q_f$

- 1° 在外加电场下，不可移动
- 2° 局限于界面20nm范围以内
- 3°  $[111] > [110] > [100]$
- 4° 不依赖于 $V_s$ ，不和体Si交换电荷，即不能充放电
- 5° 不依赖于Si掺杂和氧化层厚度
- 6° Si-SiO<sub>2</sub>界面附近的过剩Si<sup>4+</sup>导致 $Q_f$
- 7° 与热处理有关

### 3. 氧化层中可动电荷 $Q_m$ (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>) B-T实验

### 4. 氧化层中陷阱电荷 $Q_{ot}$

辐射；热载流子注入等