

第七章 半导体器件物理基础

半导体器件有67种，110种变种
由少数基本模块组成（实现其功能）

PN结

晶一半接触

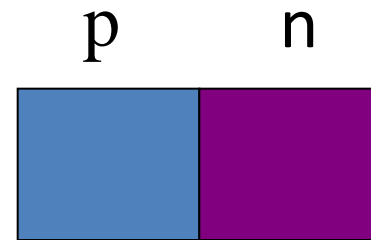
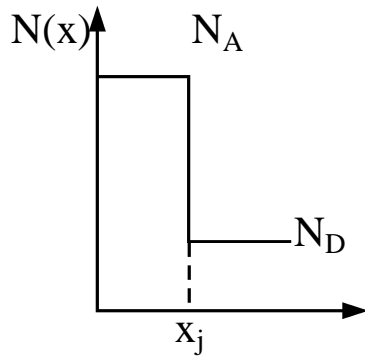
MOS结构

异质结

超晶格

第一节 PN结

一、形成和杂质分布



二、平衡p-n结

1、空间电荷区与自建场

n: 多电子, 少空穴

p: 多空穴, 少电子

1) 存在浓度梯度—扩散

n区: 电子—p区, 剩下正电荷离子, 正电荷区

p区: 空穴—n区, 剩下负电荷离子, 负电荷区

空间电荷: pn结附近电离施主和电离受主所带的电荷

空间电荷区: 空间电荷所在的区域

2) 电荷分布不均, 形成内电场 (自建场)

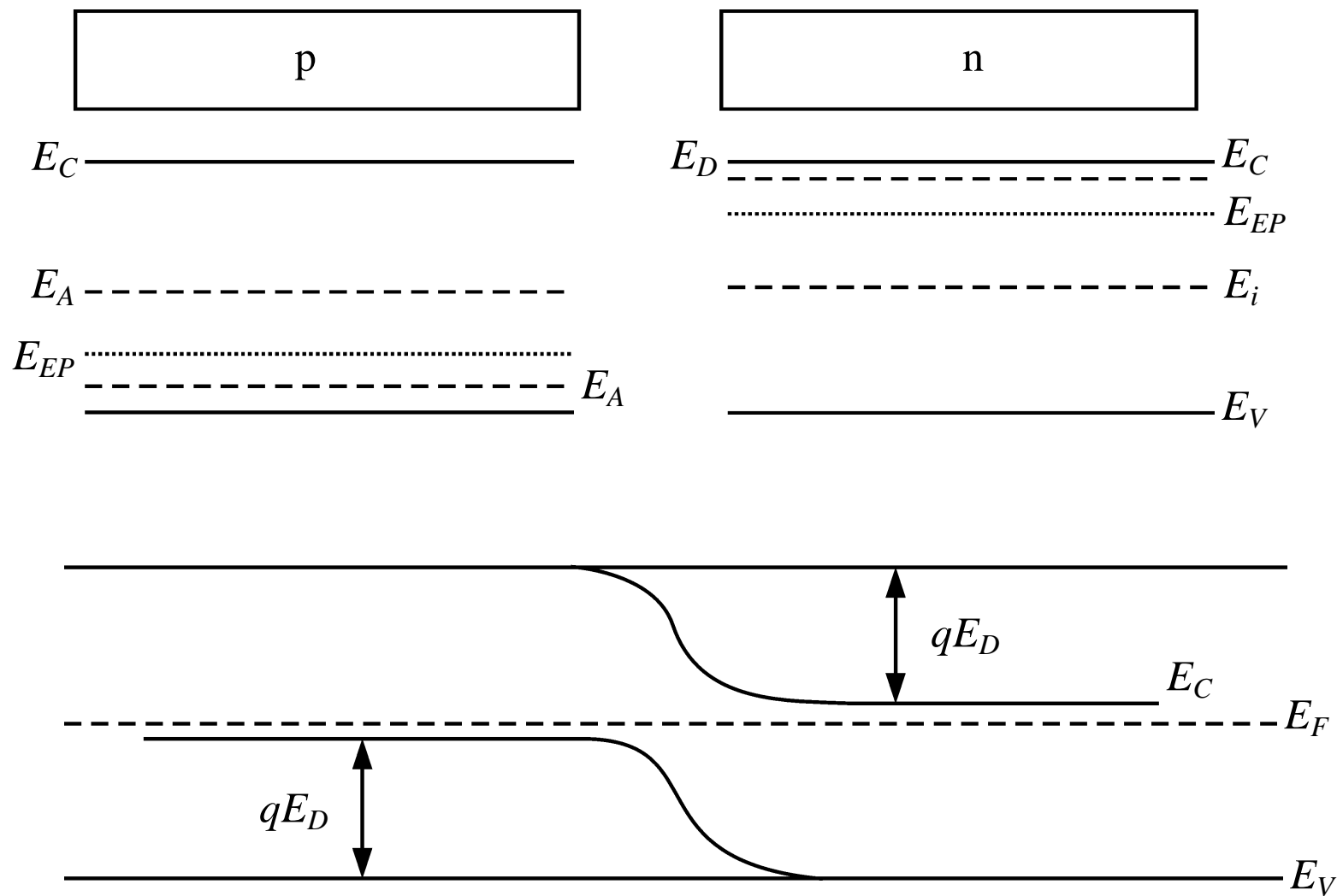
方向: n区—p区

载流子漂移运动, 与扩散方向相反, 阻碍作用

扩散 运动	空间电 荷增多	空间电 荷区扩展	自建电 场增强	漂移运 动增强	两运动 平衡	无电流
----------	------------	-------------	------------	------------	-----------	-----

pn结: 空间电荷一定
空间电荷区宽度一定
内建场一定

2、平衡pn结能带图



弯曲原因

内建电
场增强

空间电
荷多

电势 $V(x)$
由n—p下降

电子势能
由n—p上升

E_F 统一
为止

n区能
带下降

p区能
带上移

有了能带弯曲

电子从n—p需克服势垒

空穴从p—n需克服势垒

3、平衡pn结接触电势差

pn结空间电荷区存在电场

空间电荷区两端存在电势差 V_D

n区电势高于p区

定义p区为0，则n区为 V_D

qV_D —p-n结的势垒高度

补偿了n区、p区费米能级之差，平衡时处处相等

$$qV_D = E_{Fn} - E_{FP}$$

$$n_0 = n_i \exp\left(\frac{E_F - E_i}{K_B T}\right)$$

$$n_{n0} = n_i \exp\left(\frac{E_{Fn} - E_i}{K_B T}\right)$$

$$n_{p0} = n_i \exp\left(\frac{E_{Fp} - E_i}{K_B T}\right)$$

$$\ln \frac{n_{n0}}{n_{p0}} = \frac{1}{K_B T} (E_{Fn} - E_{Fp})$$

$$n_{n0} \approx N_D$$

$$p_{p0} \approx N_A$$

$$n_{p0} \approx n_i^2 / N_A$$

$$V_D = \frac{1}{q} (E_{Fn} - E_{Fp}) = \frac{K_B T}{q} \left(\ln \frac{n_{n0}}{n_{p0}} \right) = \frac{K_B T}{q} \ln \left(\frac{N_D N_A}{n_i^2} \right)$$

第二节 半导体表面

什么叫表面？

表面与体内有很大的不同

1、半导体表面态

1) 纯净表面

超高真空下解理、离子轰击、生长等

周期势场被破坏 产生附加能级

表面处势场中断，产生附加能级-表面能级

电子被束缚在表面附近-电子表面态

表面态密度=表面悬挂键密度 10^{15}

2、实际的表面

实际表面会吸附杂质、氧化等

表面态密度下降 会不会为零？

施主表面态：

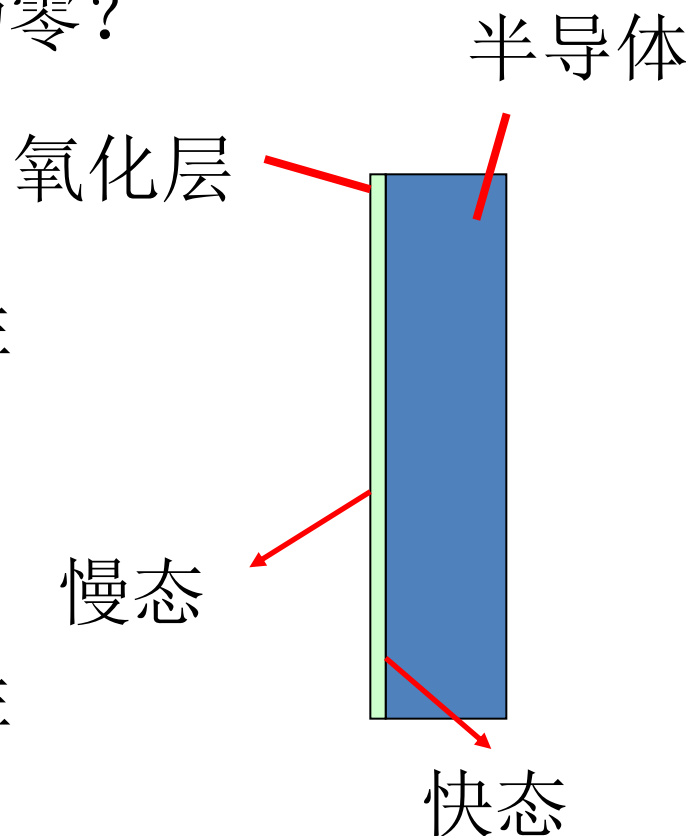
表面能级释放电子后呈正电性

位置靠近价带

受主表面态：

表面能级获得电子后呈负电性

位置靠近导带



3、表面电场效应

表面存在一个电场

施主表面态和受主表面态与体内电子态之间交换电子；
功函数不同的金属和半导体接触；

MOS结构或MIS结构；

金属和半导体之间施加电压，产生垂直表面的电场。

1) 半导体表面三种状态 (n)

表面带正电（施主） 近表面负电荷

积累了电子 静电场 表面—内部 电势差 >0

表面势能低于体内 能带向下弯曲 电子势阱

表面带负电（受主） 近表面正电荷

排斥电子 静电场内部一表面 电势差 <0

表面势能高于体内 能带向上弯曲 电子耗尽

表面带负电很大 正电荷增加 表面电场增强

能带弯曲加剧 E_F 可能低于 E_i

表面处空穴浓度超过了电子浓度

与原材料型相反 反型层

反型层和半导体内部之间夹有一层耗尽层

4) 理想MOS结构

金属与半导体功函数相同；

在氧化层内没有任何电荷且氧化层完全不导电；

氧化层与半导体界面处不存在任何界面态

M带正，半导体近界面处感应出负电荷，积累层

M带负，半导体界面感应出正电荷，耗尽层、反型层

空间电荷区内电荷的分布情况随金属与半导体间所加电压的变化，基本上可归纳成积累、耗尽和反型三种情况

第三节 金一半接触

根据半导体掺杂浓度不同，产生整流（单向），
欧姆（双向）

1、金一半接触的势垒模型

金属和半导体的功函数

功函数：电子从费米能级到真空能级所需的最小能量

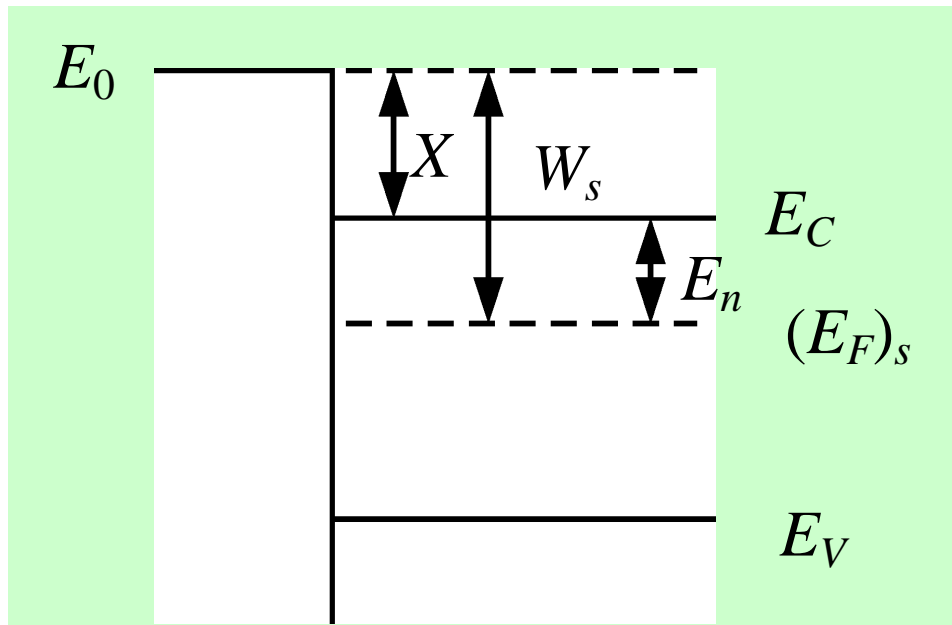
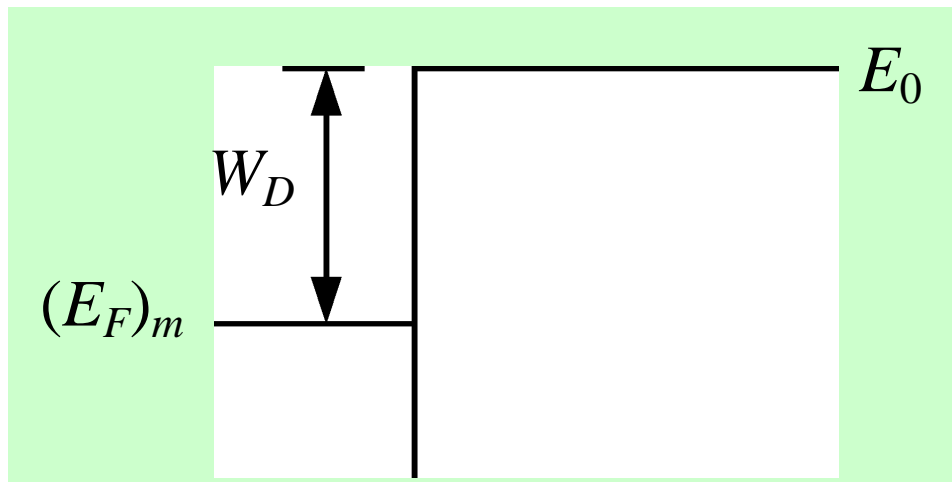
金属：

$$W_m = E_0 - (E_F)_m$$

大，不易离开

半导体：

$$W_s = E_0 - (E_F)_s$$



电子亲和能：半导体导带底的电子逸出体外所需要的最小能量

$$X = E_0 - E_C$$

$$W_s = X + [E_C - (E_F)_s] = X + E_n$$

2、肖特基势垒模型

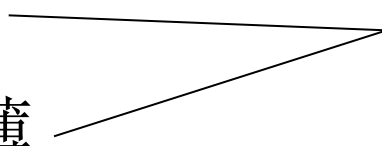
理想模型

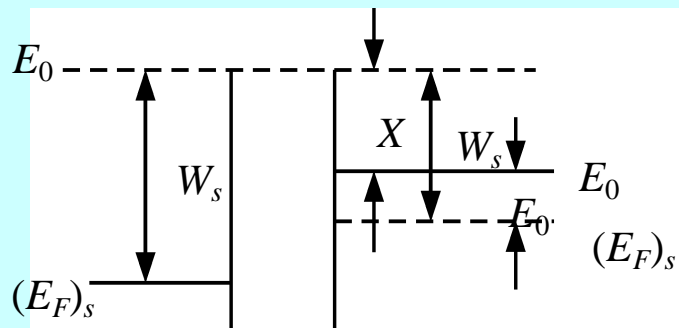
不存在表面态

没有氧化层或很薄

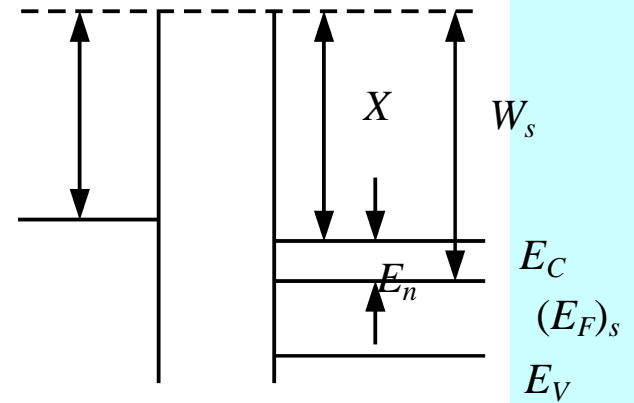
载流子易交换

N型半导体

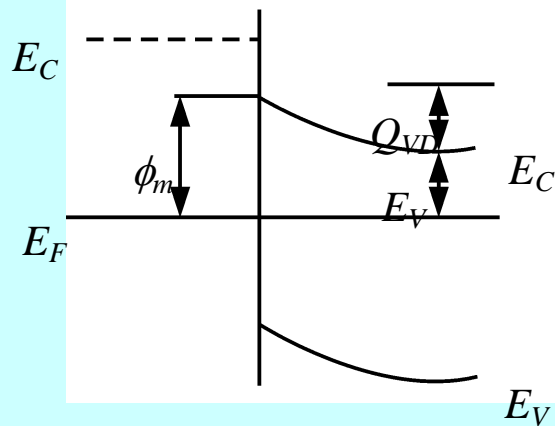




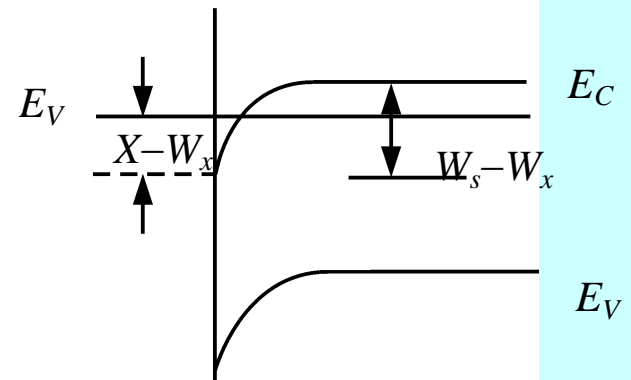
(a)



(c)



(b)



(e)

$$qV_D = -qV_s = W_m - W_s$$

$$\phi_m = qV_D + E_n = W_m - W_s + E_n = W_m - X$$

	n型	P型
$W_m > W_s$	阻挡层	反阻挡层
$W_m < W_s$	反阻挡层	阻挡层