

## § 15.12 半导体

导电性能介于导体和绝缘体之间



巴丁  
(1908~1991)  
美国物理学家

布拉顿  
(1902~1987)  
美国物理学家

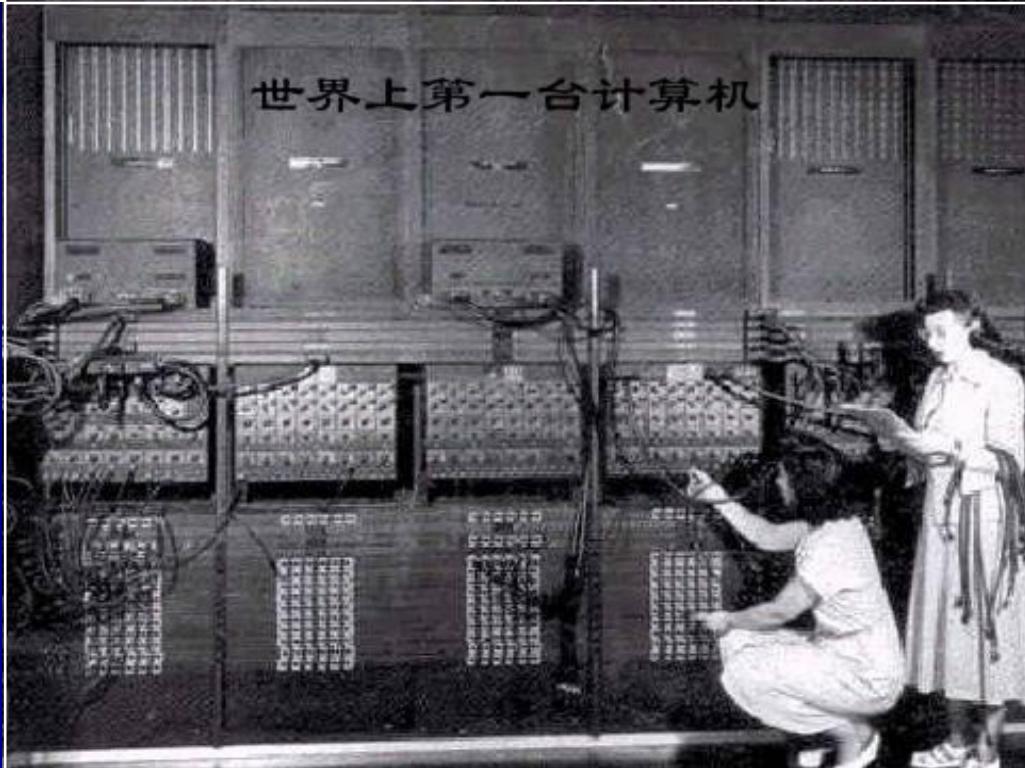
肖克利  
(1910~1989)  
美国物理学家

1947年美国贝尔实验室的巴丁、布拉顿和肖克利合作发明了晶体管装置，于1956年获诺贝尔物理学奖。这一发明引发了电子技术的根本性变革，对科学技术的发展具有划时代的意义，给人类社会生活带来了不可估量的影响。

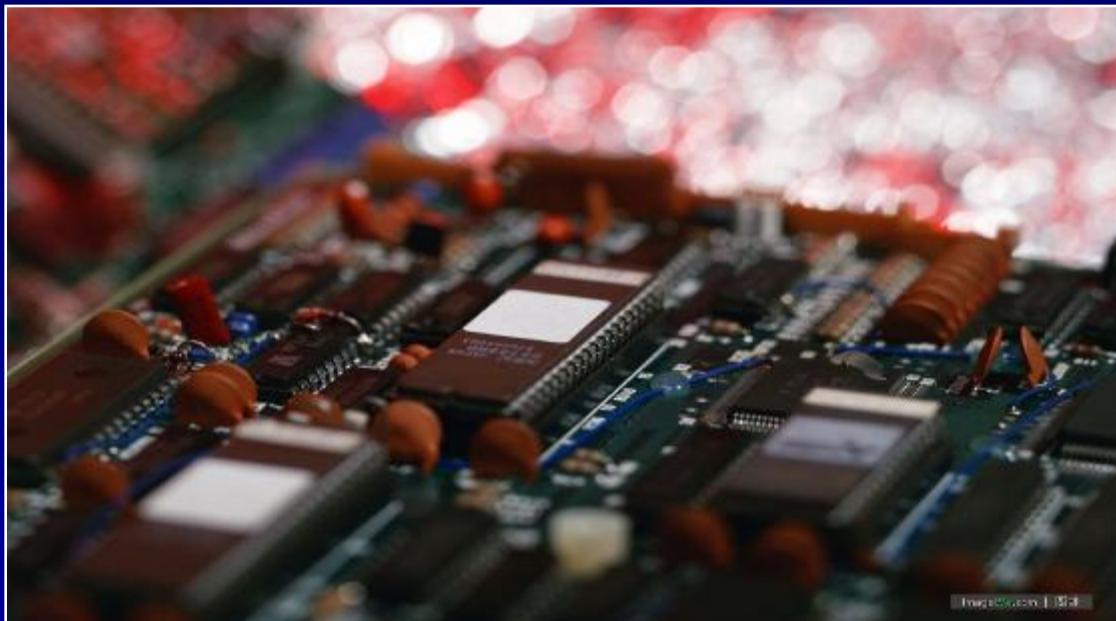


第一台晶体管收音机  
(1955年) (日本)

- ENIAC:电子数值积分计算机(1945年)
- 1万8千个电子管,30吨,每秒5000次加法运算,1955年“退休”



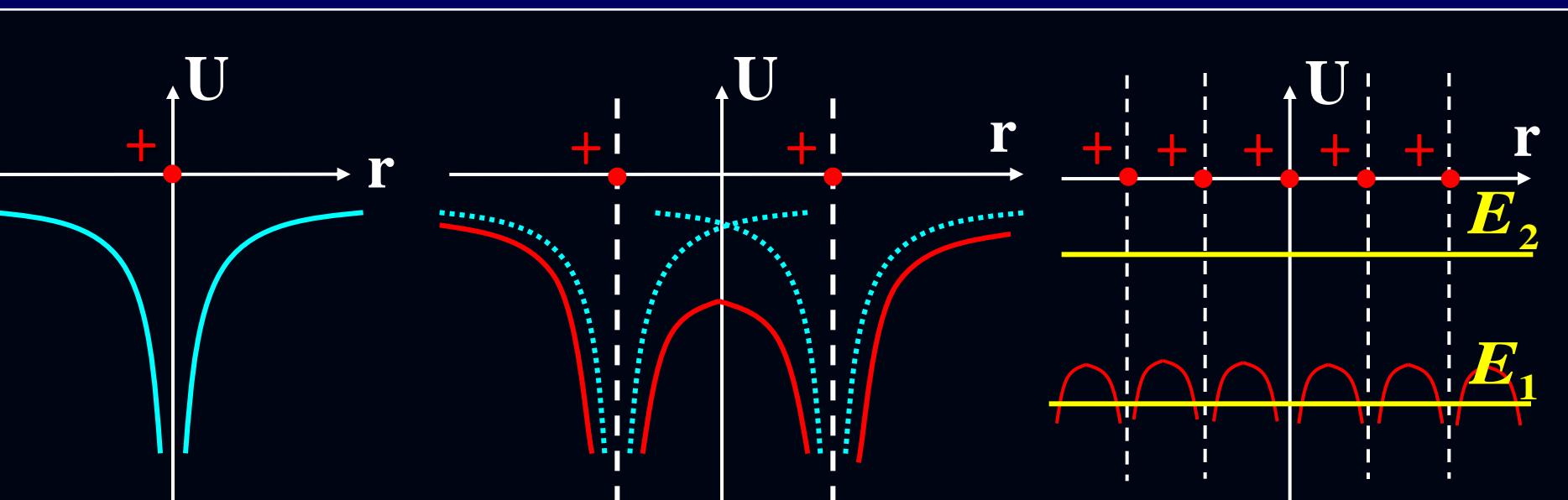
- 1904年,英国发明家弗莱明(1849-1945)发明电子二极管
- 1906年,美国物理学家德福雷斯特(1873-1961)发明电子三极管
- 1959年,美国德克萨斯仪器公司和仙童公司几乎同时研制出集成电路



# 一. 固体的能带

## 1、电子共有化

这种由晶体中原子的周期性排列而使价电子不再为单个原子所有的现象。



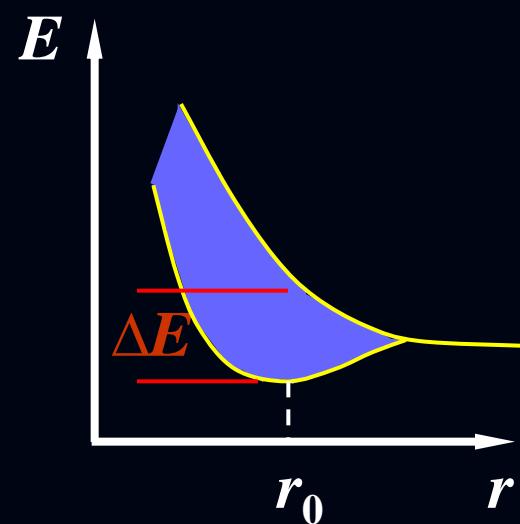
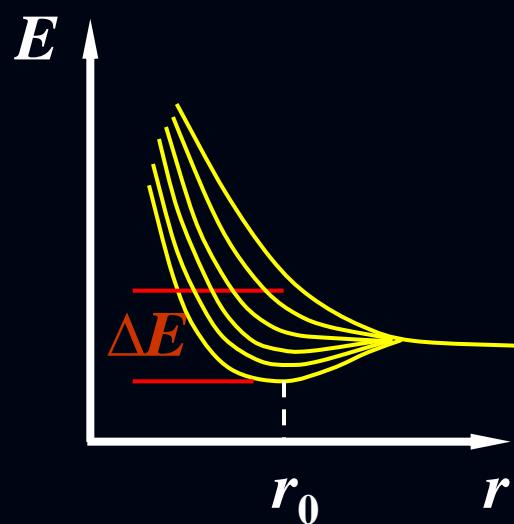
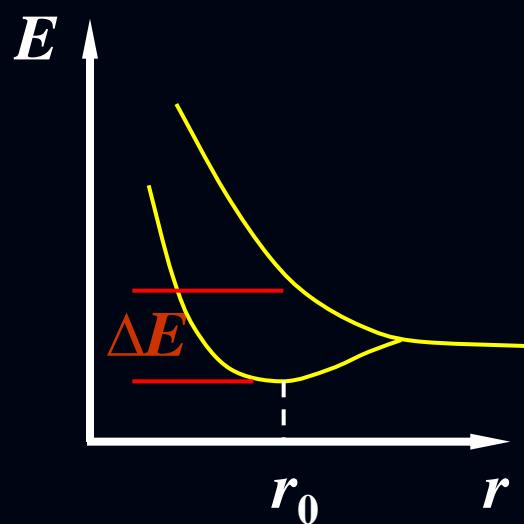
(a) 单个原子

(b) 两个原子

(c) 晶体中周期性势场

## 2、能带的形成

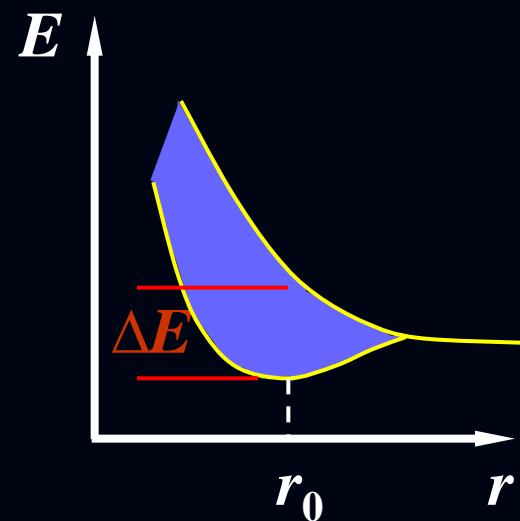
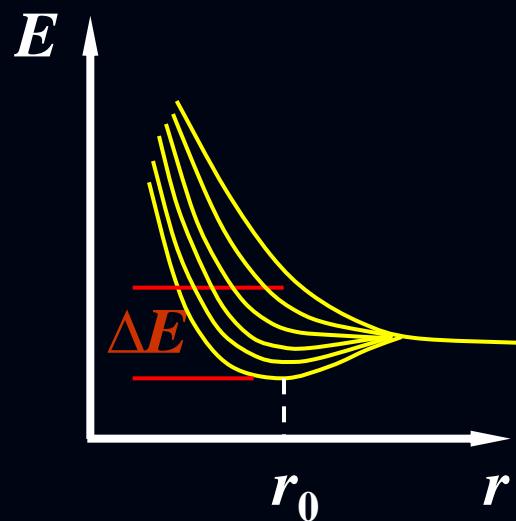
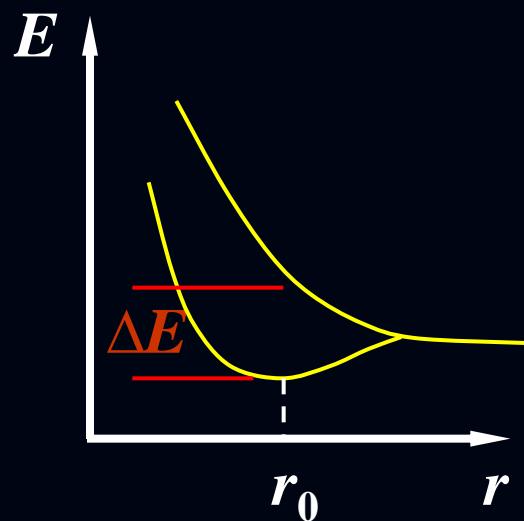
- 作为一个系统，泡利不相容原理不允许一个量子态有两个电子存在。于是原来孤立状态下的每个能级将分裂为两个。



(a) 氢分子的能级分裂 (b) 六个氢原子的能级分裂 (c) 能带

# 能带

实际晶体中原子数N非常巨大，一个能级分裂成的N个能级的间距非常小，N个能级形成一个能量连续的区域。



(a) 氢原子的能级分裂

(b) 六个氢原子的能级分裂

(c) 能带

# 能带

实际晶体中原子数N非常巨大，一个能级分裂成的N个能级的间距非常小，N个能级形成一个能量连续的区域。

## 说明几点：

- ◆ 能带符号沿用子能级的符号1s, 2s, 2p, 3s...
- ◆ 由于能级分裂的总宽度决定于原子间距，原子间距是一定的，所以与原子数无关。

### 3、几个能带的基本概念

美籍奥地利科学家泡利。

主要成就是在量子力学、量子场论和基本粒子理论方面，特别是泡利不相容原理的建立和 $\beta$ 衰变中的中微子假说等，对理论物理学的发展做出了重要贡献。

1945年，泡利因他在1925年即25岁时的“发现不相容原理”，获诺贝尔物理学奖。

- ◆ 能带符号沿用子能级的符号 $1_s, 2_s, 2_p, 3s\dots$
- ◆ 由于能级分裂的总宽度决定于原子间距，原子间距是一定的，所以与原子数无关。



Wolfgang E. Pauli

1900~1958

## ◆ 满带

能带中各能级均被电子填满，这种能带叫做满带。

注：满带中电子不能起导电作用。

## ◆ 空带

能带中各能级没有电子填入，这种能带叫做空带。

注：受激发后有电子进入，可表现一定的导电性。

## ◆ 禁带

相邻能带之间不存在能级的区域，叫做禁带。

## ◆ 价带

由价电子能级分裂后形成的能带。

## ◆ 导带

空带和未被电子填满的价带统称为导带。

## ◆ 空带

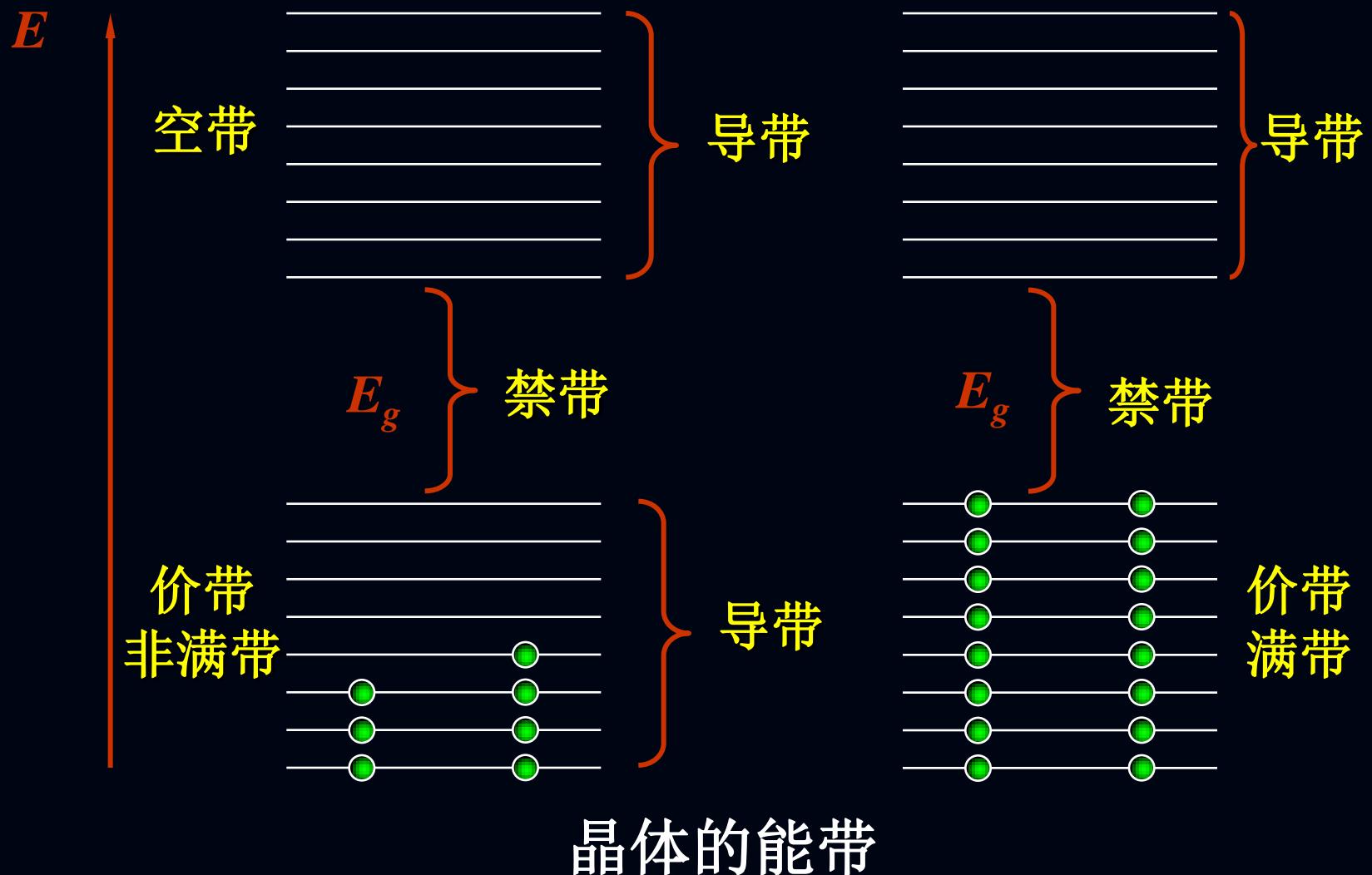
能带中各能级没有电子填入，这种能带叫做空带。

注：受激发后有电子进入，可表现一定的导电性。

---

## ◆ 禁带

相邻能带之间不存在能级的区域，叫做禁带。



## 4、导体、半导体和绝缘体

导体  $\rho \in (10^{-8}, 10^{-4}) \Omega \cdot m$   $TCR > 0$

半导体  $\rho \in (10^{-4}, 10^8) \Omega \cdot m$   $TCR < 0$

绝缘体  $\rho \in (10^8, 10^{20}) \Omega \cdot m$   $TCR < 0$

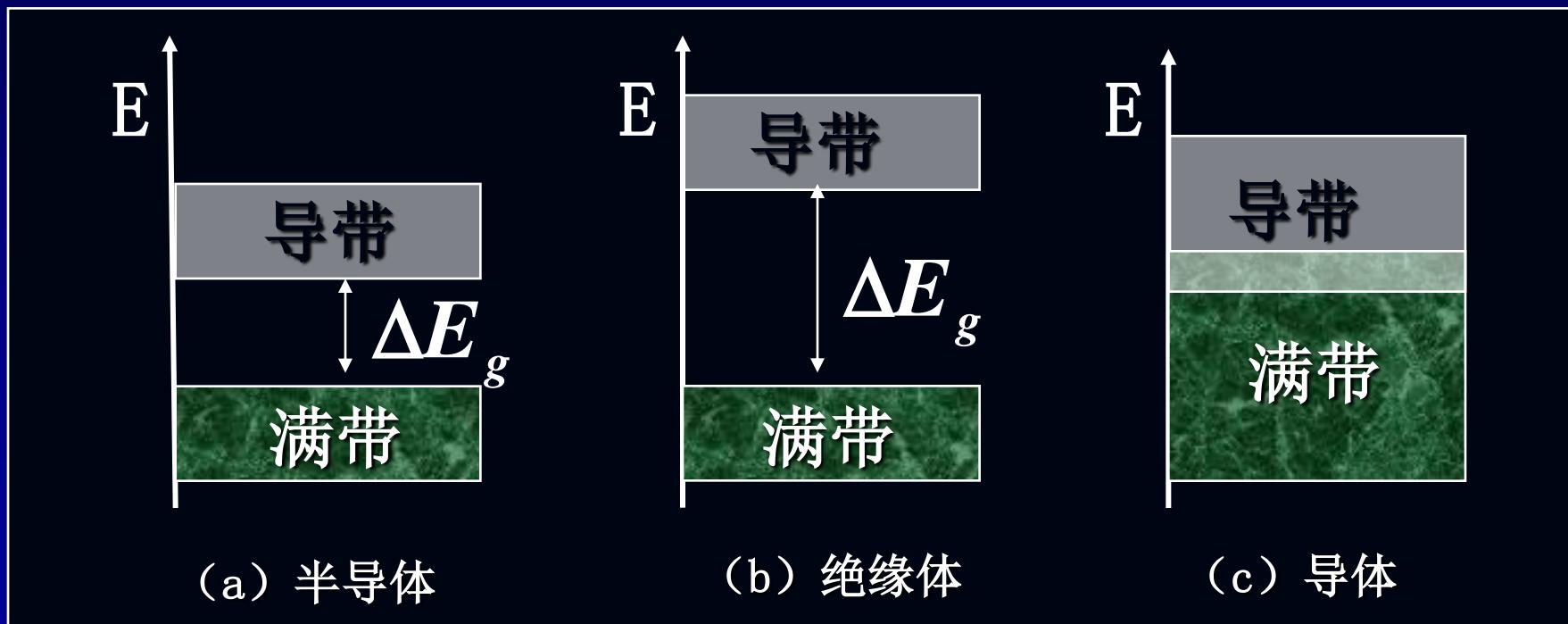
电阻温度系数 (TCR) : 表示温度改变一度时, 电  
阻值的相对变化。

半导体的效应之一, 阻值随着温度上升而降低。

从能带角度看:  $T = 0K$

半导体:  $\Delta E_g \approx 0.1 \sim 1.5 eV$

绝缘体:  $\Delta E_g \approx 3 \sim 6 eV$



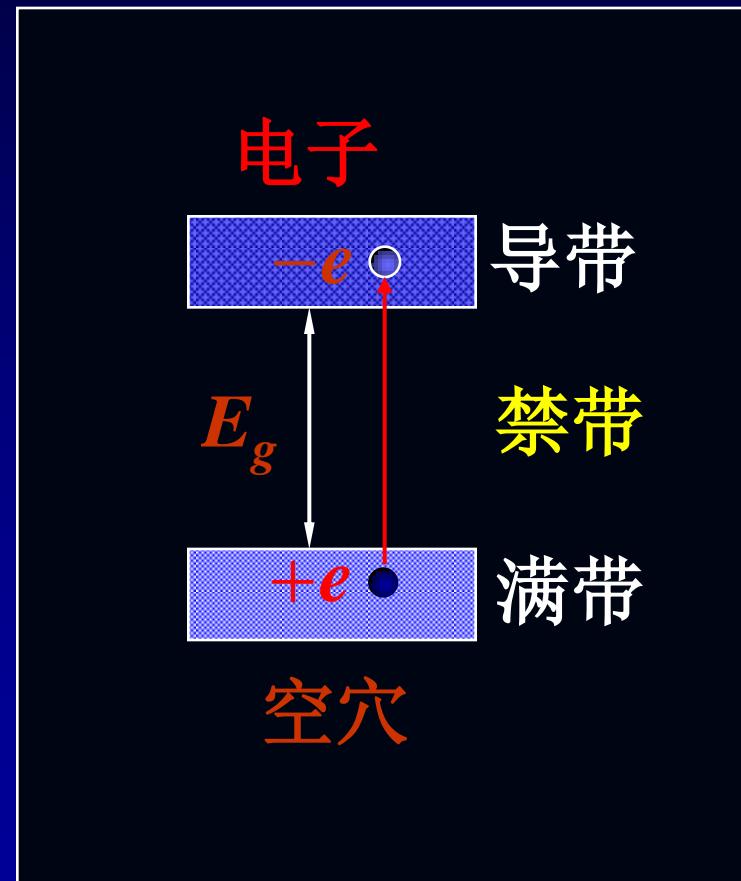
## 二. 本征半导体和杂质半导体

### 1. 本征半导体——纯净的无杂质的半导体

满带中的价电子在热激发或光激发下跃迁到导带中

**空穴导电：**电流只是由于满带中缺失电子引起的导电性。

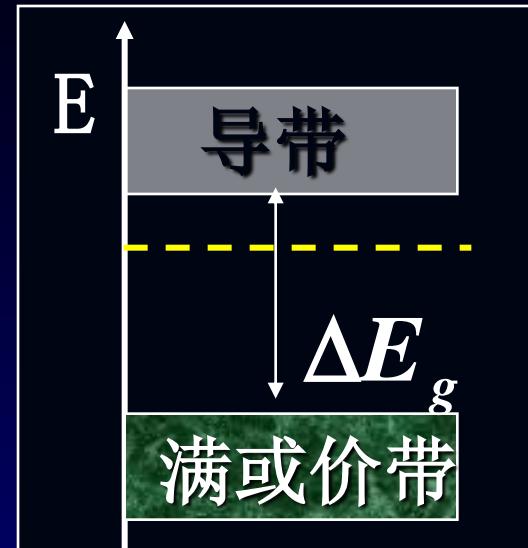
**电子导电：**电流只是由导带中电子引起的导电性。



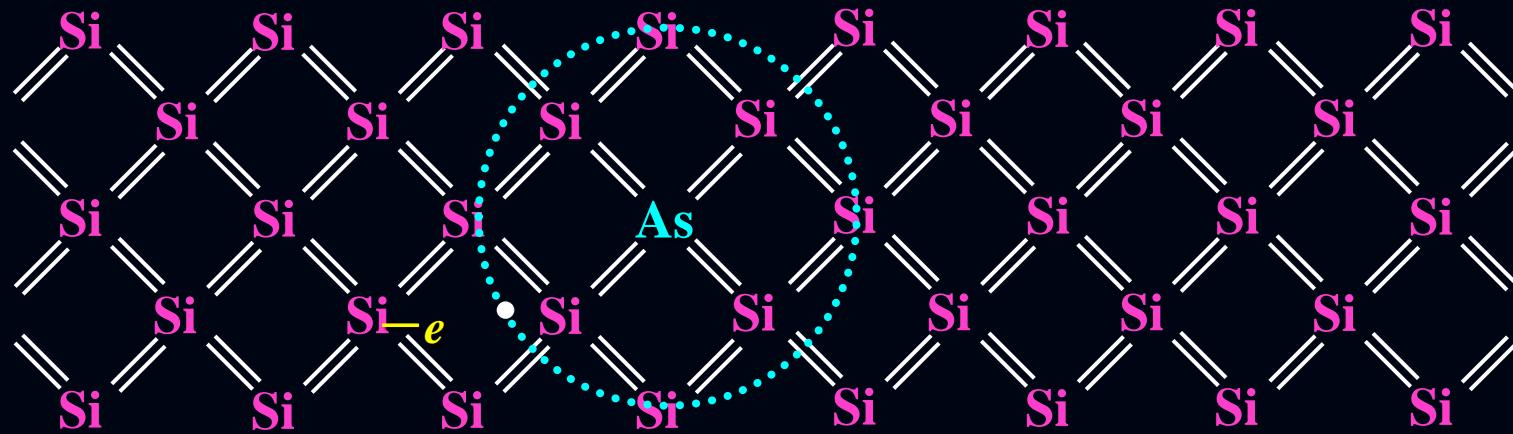
## 2. 杂质半导体

### (1) 电子型 ( $n$ 型) 半导体

在半导体的价带和导带之间，产生一个离导带很近的附加能级，这个能级称为施主能级。



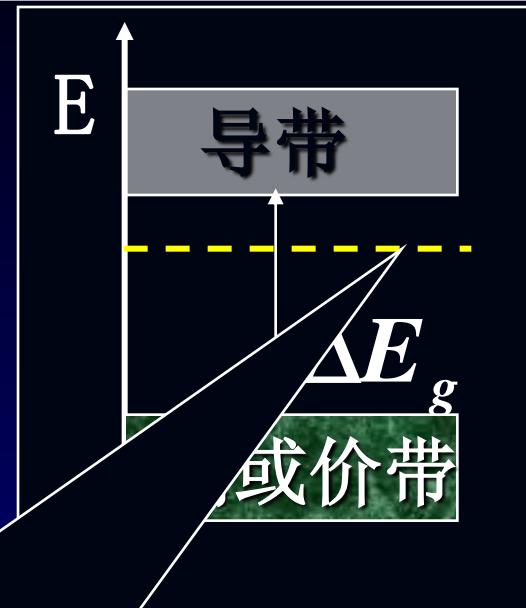
- 将五价杂质原子砷(As)掺入四价半导体硅(Si)中。



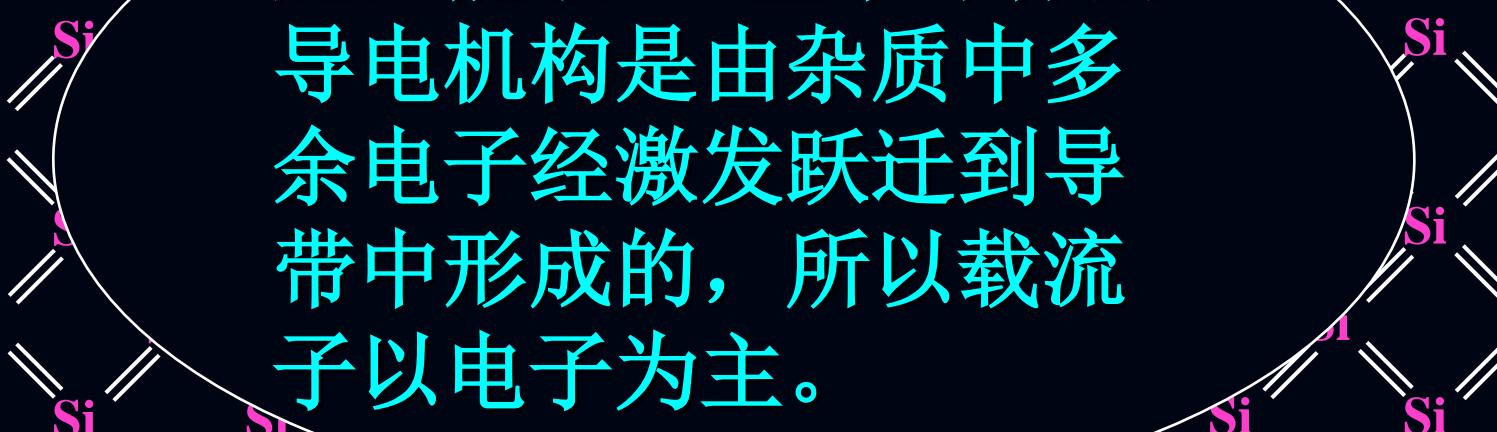
## 2. 杂质半导体

### (1) 电子型 (n型) 半导体

在半导体的价带和导带之间，产生一个离导带很近的附加能级，这个能级称为施主能级。

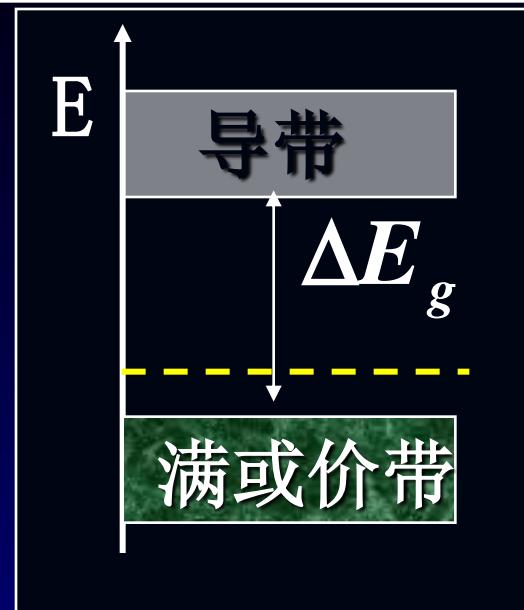


- 将五价杂质引入到单晶硅(Si)中。
- 施主能级：n型半导体的导电机构是由杂质中多余电子经激发跃迁到导带中形成的，所以载流子以电子为主。

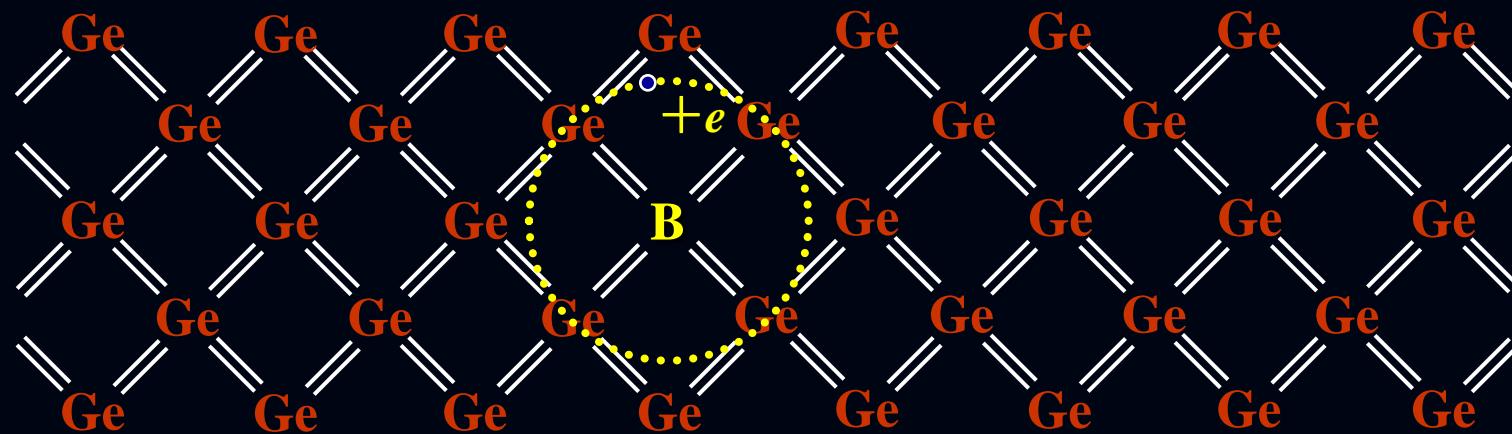


## (2) 空穴型 (p 型) 半导体

在半导体的价带和导带之间，产生一个离价带很近的附加能级，这个能级称为受主能级。

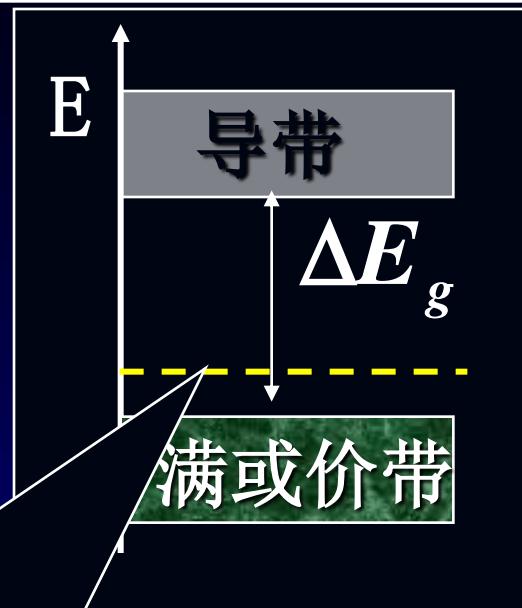


将三价杂质原子硼 (B) 掺入四价半导体锗 (Ge) 中。



## (2) 空穴型 (p 型) 半导体

在半导体的价带和导带之间，产生一个离价带很近的附加能级，这个能级称为受主能级。



将三价杂质  
元素如镓(Ge)、

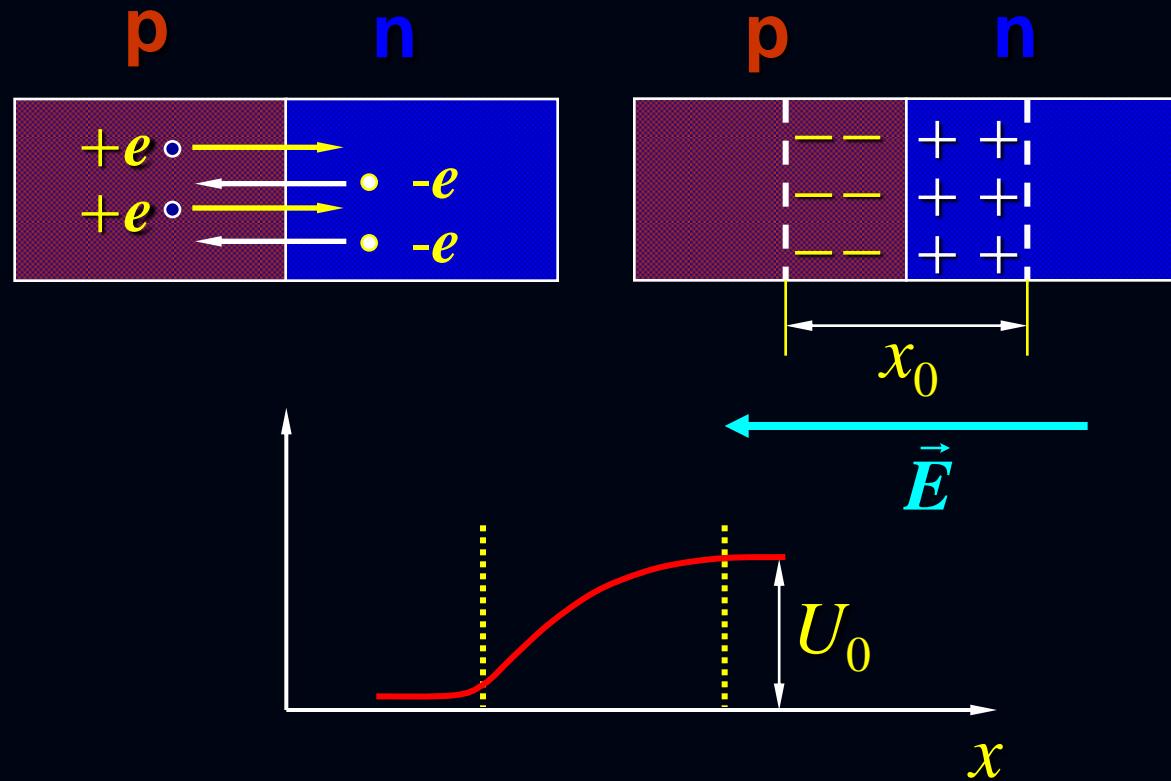
等(Ge)中。

受主能级：P型半导体的导电机构决定于满带中的空穴的运动，所以载流子以空穴为主。



### 三. pn结

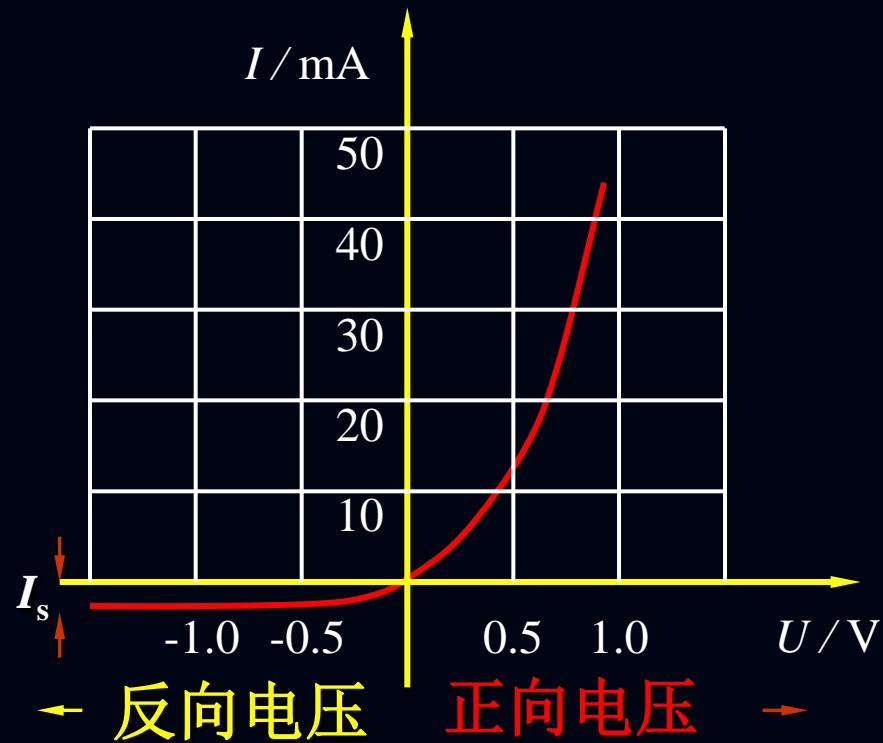
使p型半导体和n型半导体相接触,在它们接触的区域形成了pn结



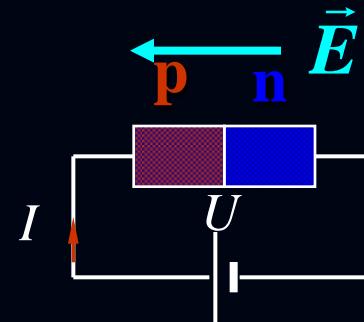
- 偶电层存在由n指向p的电场,电场阻止空穴和电子的继续扩散,直至达到动态平衡.形成势垒.

$U_0$ 为势垒高度

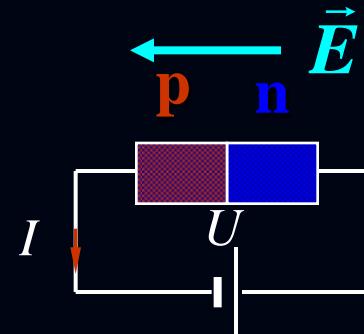
PN结性能：只允许单向电流通过。



pn 结伏安特性曲线



p 型接正极,n型接负极.



p 型接负极,n型接正极.