

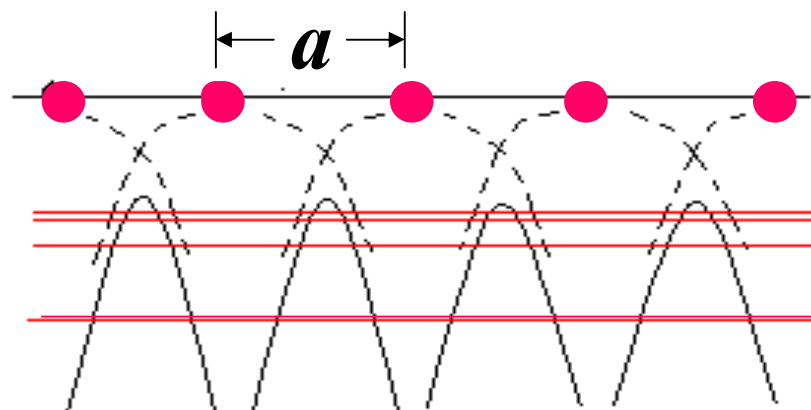
## § 5 半导体

### 一、固体的能带结构

#### 1. 电子共有化

固体具有大量分子。原子或离子有规则排列的点阵结构。外层电子不再属个别原子所有，而是既绕个别原子运动，又在晶体中诸原子之间转移。

电子的这种运动称为**共有化运动**。

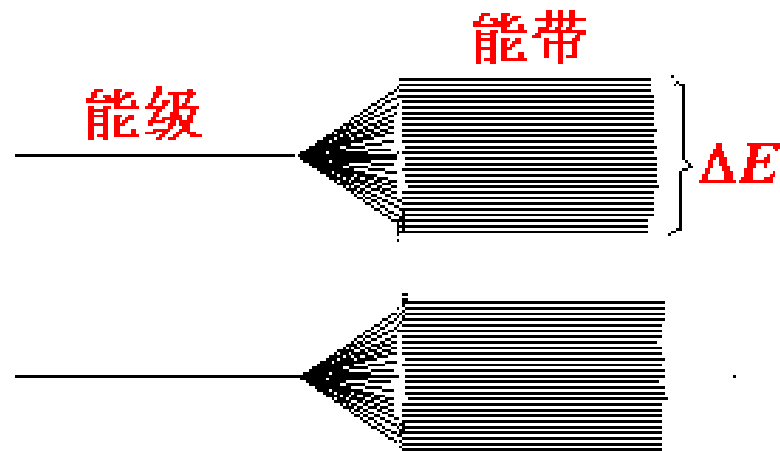


## 2. 能带(energy band)的形成



固体中的电子能级  
有什么特点？

量子力学计算表明，固体中若有 $N$ 个原子，由于各原子间的相互作用，对应于原来孤立原子的每一个能级，变成了 $N$ 条靠得很近的能级，称为**能带**。

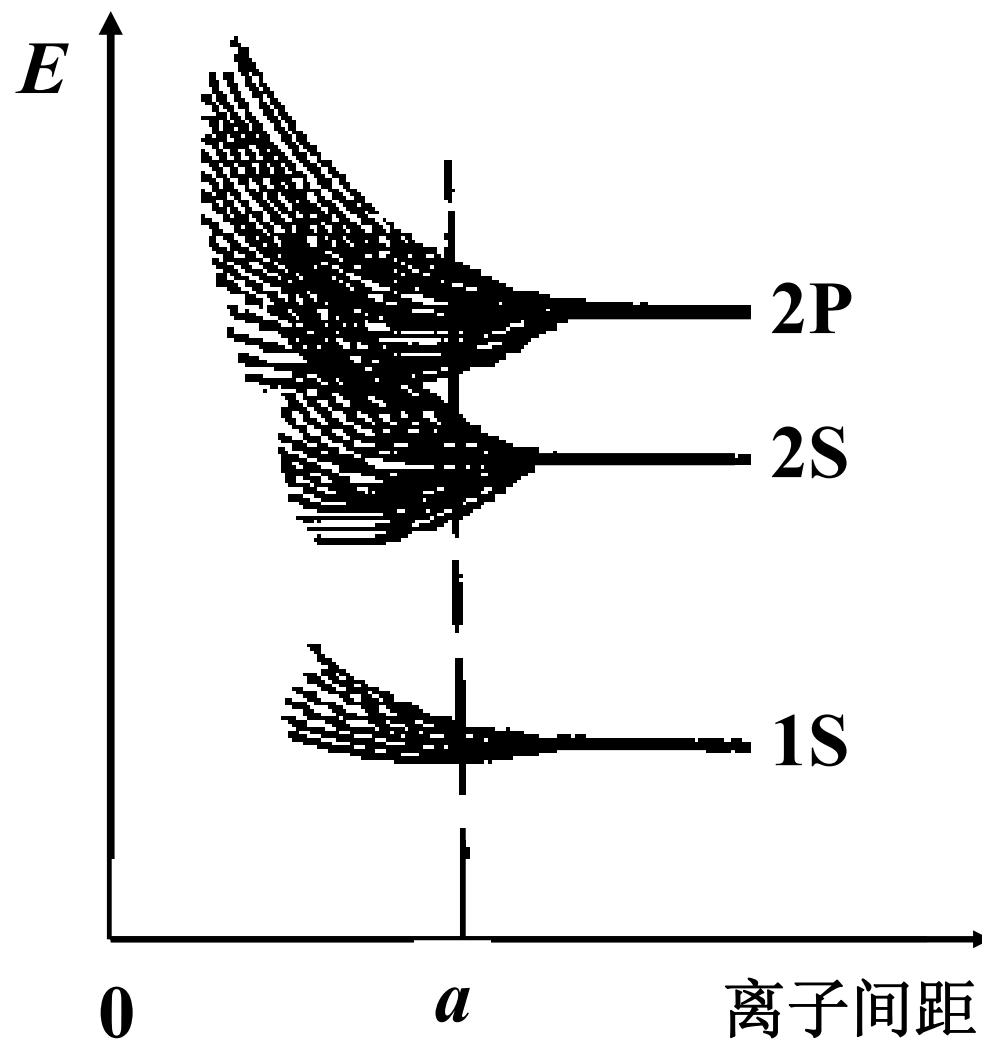


能带的宽度记作 $\Delta E$ ，数量级为  $\Delta E \sim \text{eV}$ 。

若 $N \sim 10^{23}$ ,则能带中两能级的间距约 $10^{-23} \text{eV}$ 。

### 一般规律:

1. 越是外层电子，能带越宽， $\Delta E$ 越大。
2. 点阵间距越小，能带越宽， $\Delta E$ 越大。
3. 两个能带有可能重叠。



能带重叠示意图

## 能带中电子的排布:

固体中的一个电子只能处在某个能带中的某一能级上。

### 排布原则:

1. 服从泡里不相容原理

2. 服从能量最小原理

设孤立原子的一个能级  $E_{nl}$ ，它最多能容纳  $2(2l+1)$  个电子。

这一能级分裂成由  $N$  条能级组成的能带后，能带最多能容纳  $2N(2l+1)$  个电子。

$$2 N(2 l+1)$$

例如，1 *s*、2 *s* 能带，最多容纳 2*N* 个电子。

2 *p*、3 *p* 能带，最多容纳 6*N* 个电子。

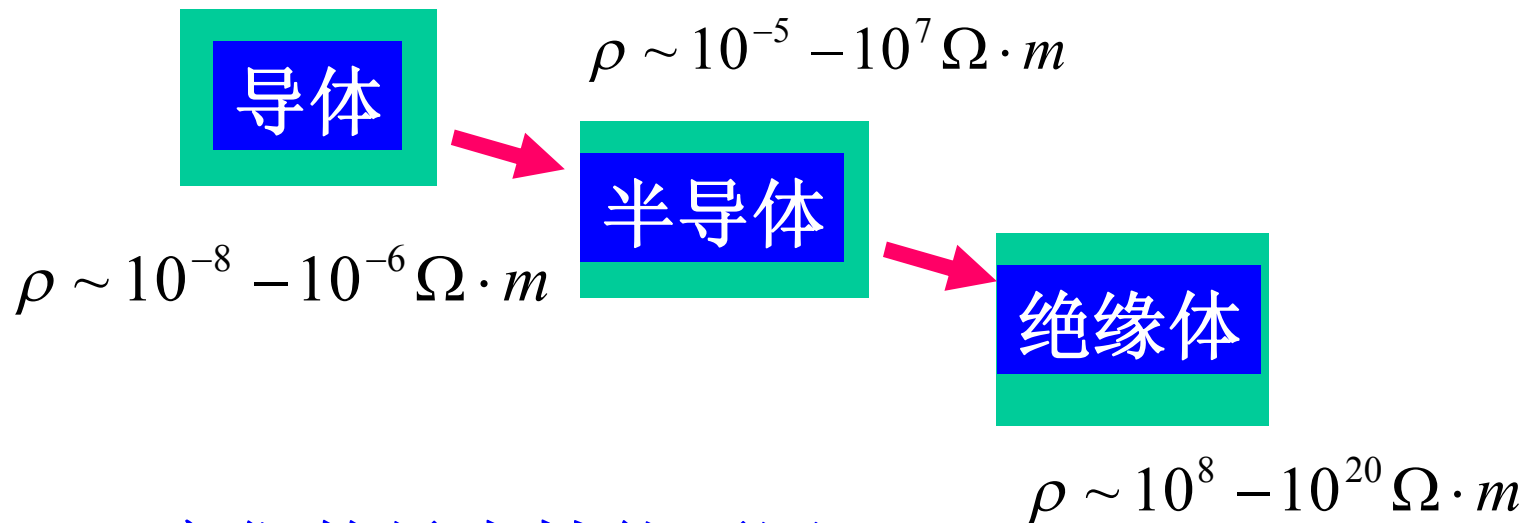
电子排布时，应从最低的能级排起。

有关能带被占据情况的几个名词：

1. 满带（排满电子）
2. 价带（能带中一部分能级排满电子）  
——亦称导带
3. 空带（未排电子）——亦称导带
4. 禁带（不能排电子）

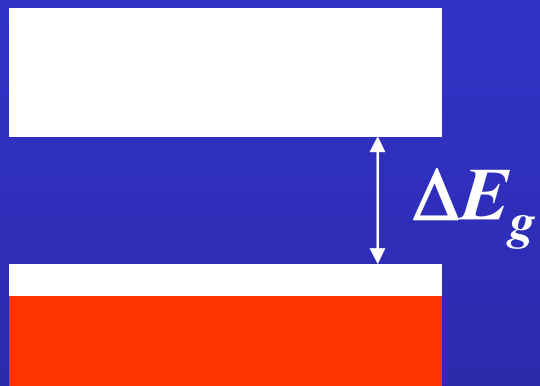
## 二. 导体. 绝缘体和半导体 (conductor . Insulator. semiconductor)

固体按导电性能的高低可以分为



它们的导电性能不同，  
是因为它们的能带结构不同。

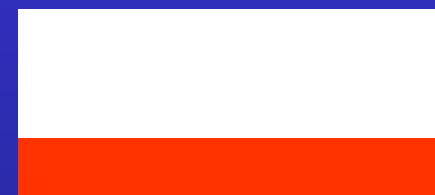
导体



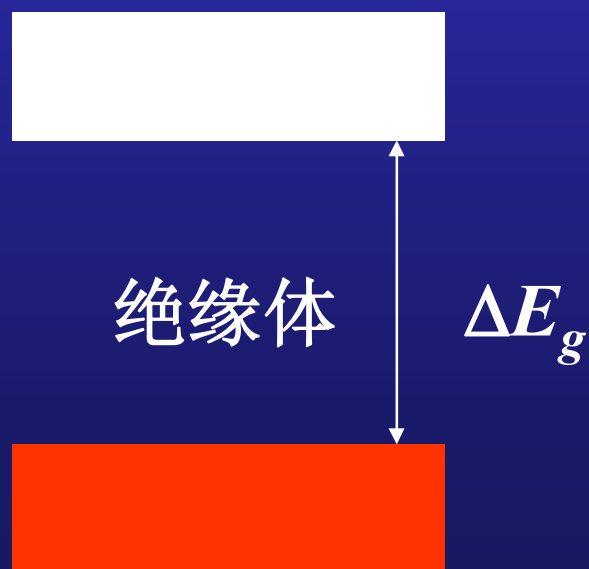
导体



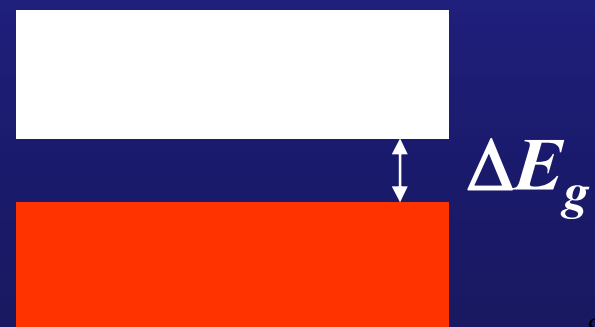
导体



绝缘体

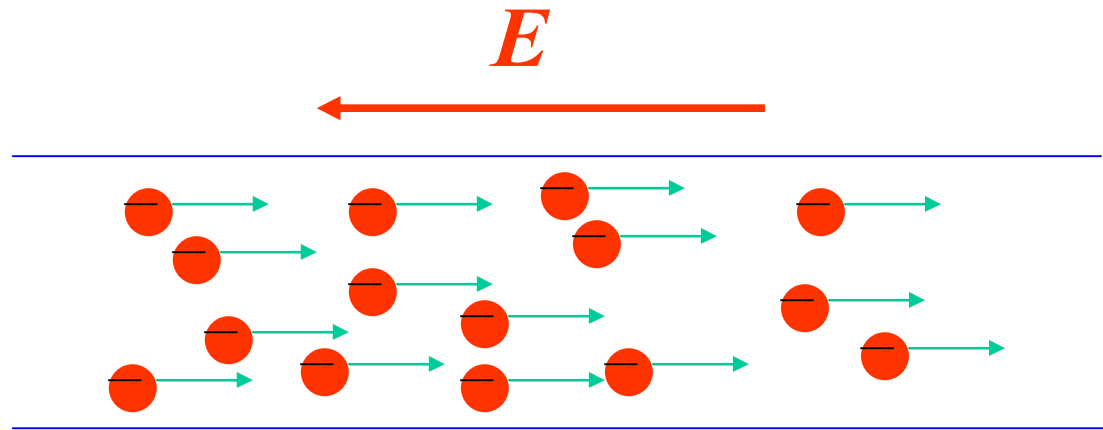


半导体





**导体** 在外电场的作用下，大量共有化电子很容易获得能量，集体定向流动形成电流。



从能级图上来看，是因为其共有化电子很易从低能级跃迁到高能级上去。

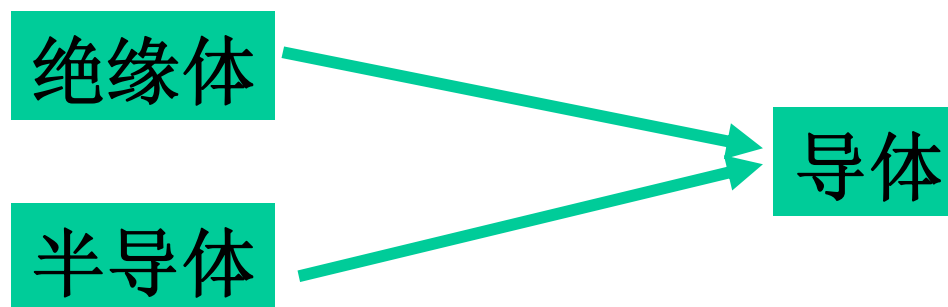
**绝缘体** 在外电场的作用下，共有化电子很难接受外电场的能量，所以形不成电流。

从能级图上来看，是因为满带与空带之间有一个**较宽的禁带**（ $\Delta E_g$  约3~6 eV），共有化电子很难从低能级（满带）跃迁到高能级（空带）上去。

**半导体** 的能带结构,满带与空带之间也是禁带，但是**禁带很窄**（ $\Delta E_g$  约0.1~2 eV），电子较绝缘体容易从低能级（满带）跃迁到高能级（空带）上去。

## 绝缘体与半导体的击穿

当外电场非常强时，它们的共有化电子还是能越过禁带跃迁到上面的空带中的。



### 三、本征半导体和杂质半导体

#### 1. 本征半导体 (semiconductor)

本征半导体是指纯净的半导体。

本征半导体的导电性能在导体与绝缘体之间。

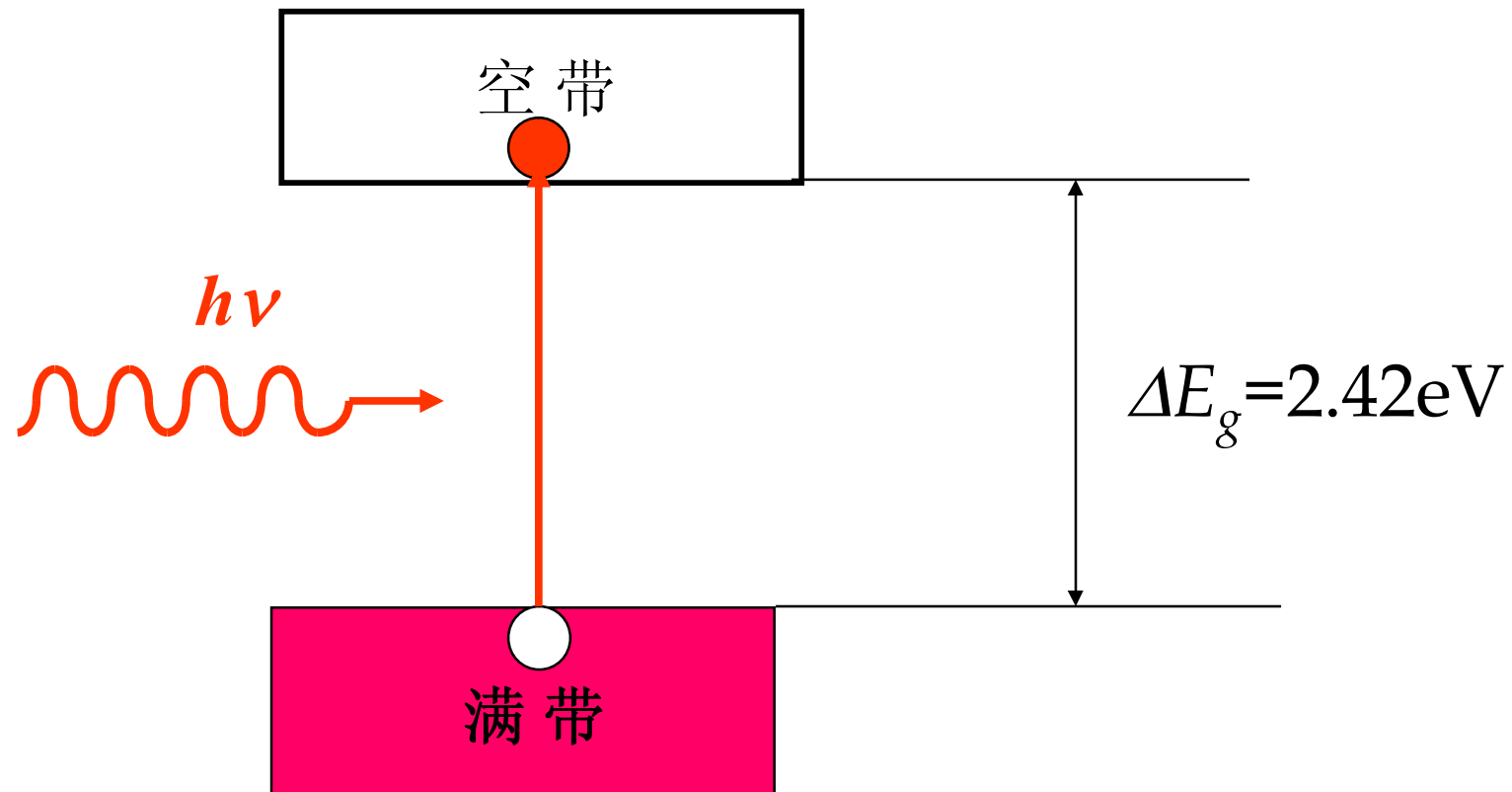
介绍两个概念：

1. 电子导电.....半导体的载流子是电子

2. 空穴导电.....半导体的载流子是空穴

满带上的一个电子跃迁到空带后，  
满带中出现一个空位。

## 例. 半导体 Cd (镉) S (硫)



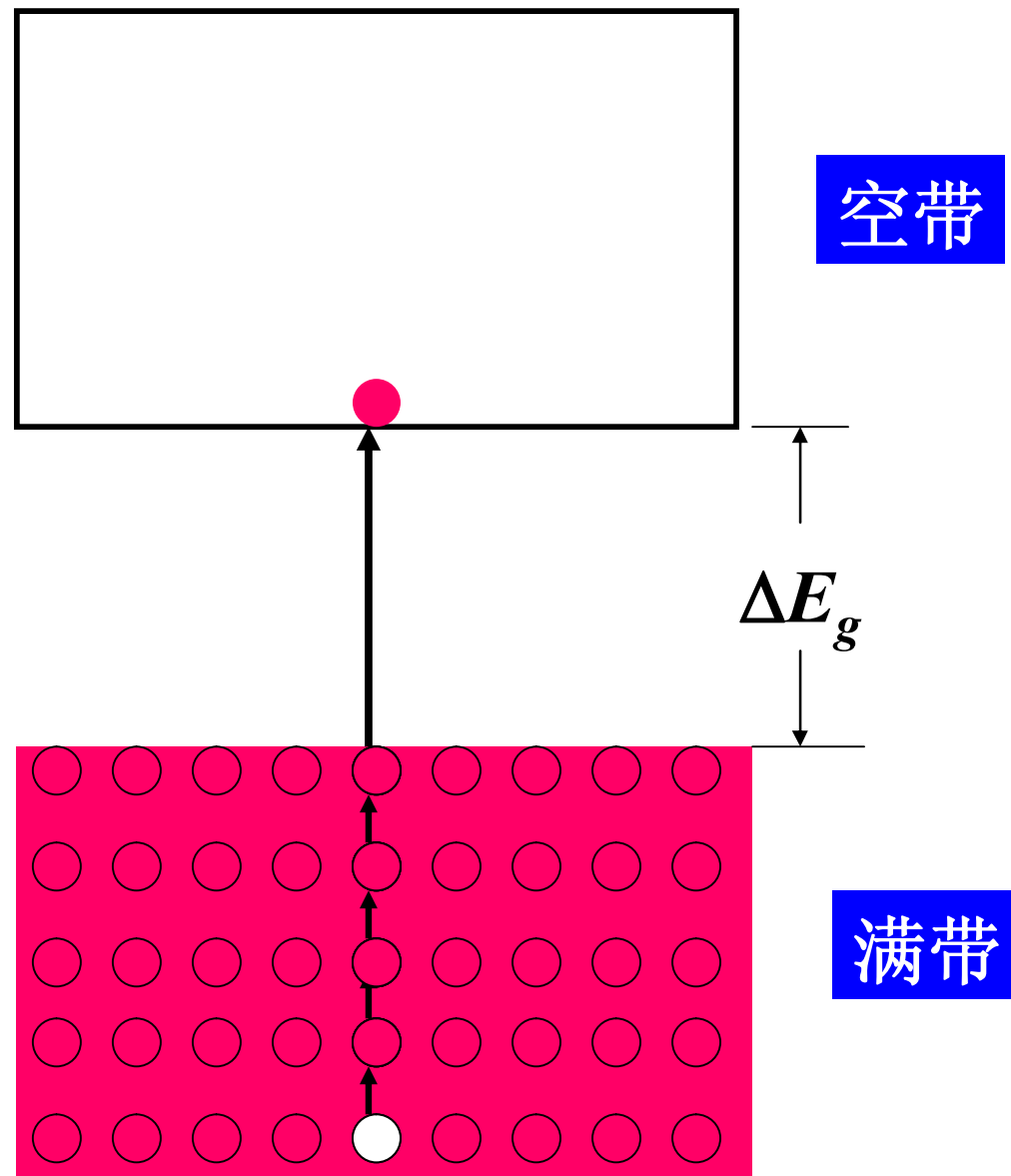
这相当于产生了一个带正电的粒子(称为“空穴”)

电子和空穴总是成对出现的。

在外电场作用下,

空穴下面能级上的电子可以跃迁到空穴上来, 这相当于空穴向下跃迁。

满带上带正电的空穴向下跃迁也是形成电流, 这称为空穴导电。



## 2. 杂质半导体

在纯净的半导体中掺入适当的杂质，也能对半导体提供载流子。这种含有杂质的半导体称为**杂质半导体**。

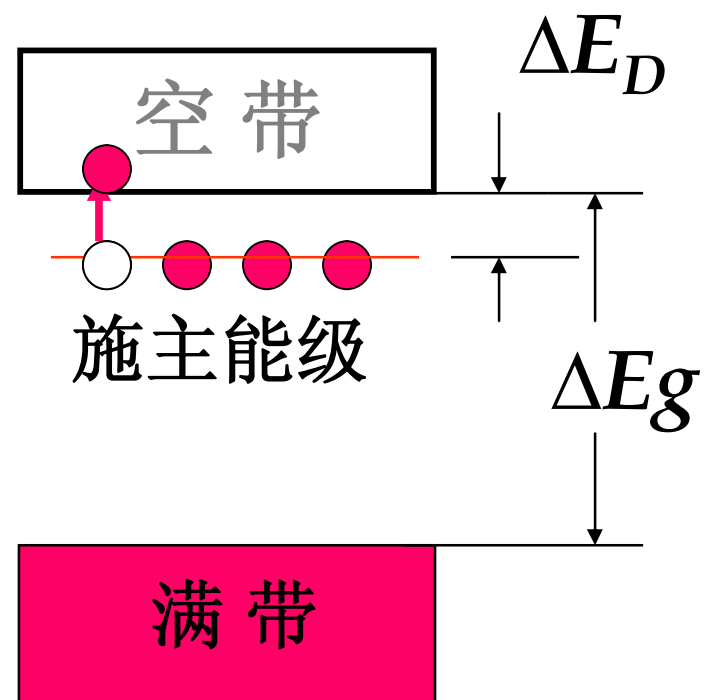
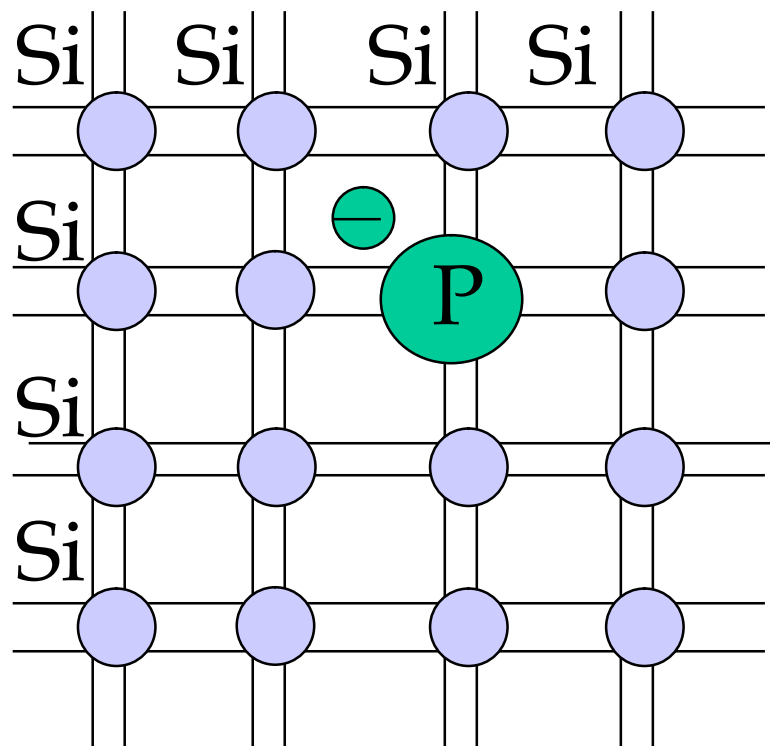
### n型半导体

四价的本征半导体 Si（硅）Ge（锗）等，掺入少量五价的**杂质（impurity）**元素（如P 磷、As砷）形成电子型半导体，称 n 型半导体。

量子力学表明，这种掺杂后多余的电子的能级在禁带中紧靠空带处， $\Delta E_D \sim 10^{-2} \text{eV}$ ，极易形成电子导电。

该能级称为**施主（donor）**能级。

## n 型半导体



在n型半导体中电子.....多数载流子

空穴.....少数载流子



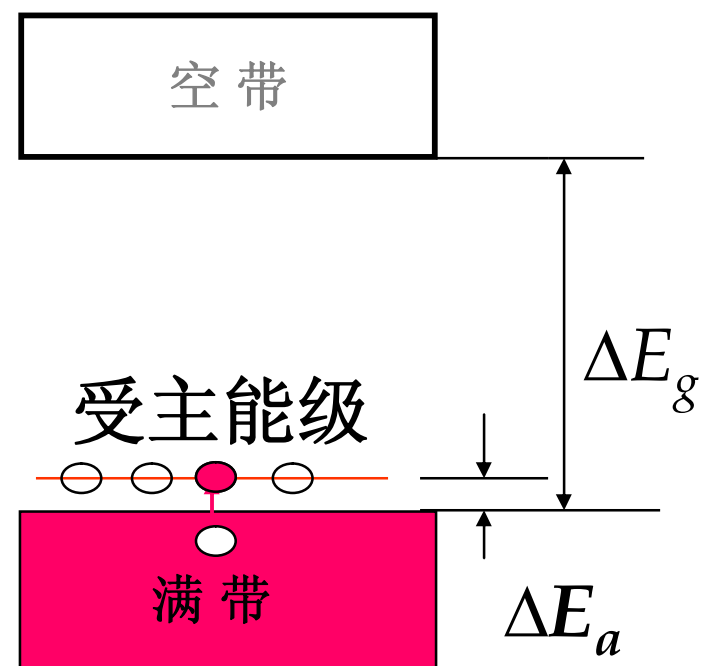
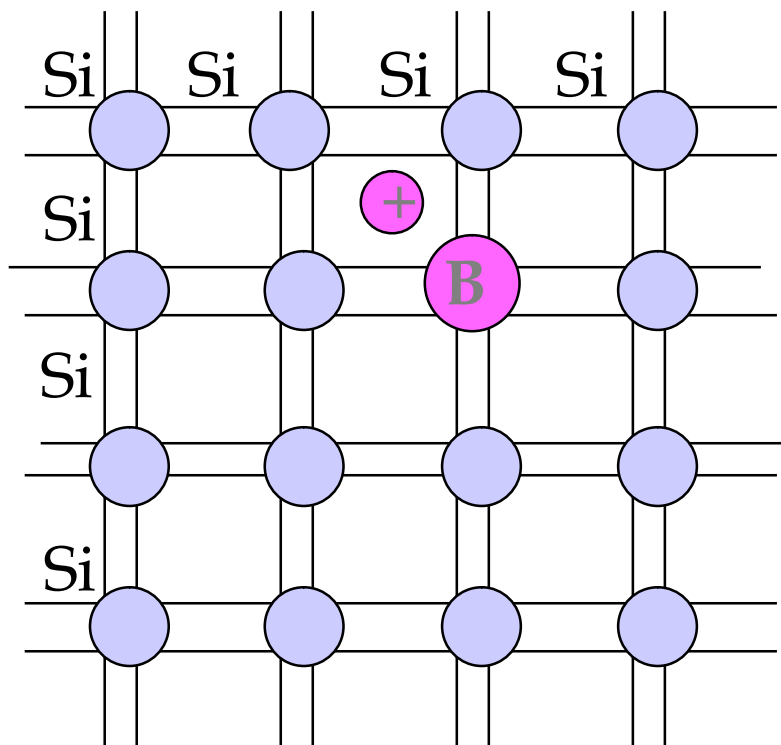
## p 型半导体

四价的本征半导体Si、Ge等，掺入少量三价的杂质元素（如B硼、Ga镓、In铟）形成空穴型半导体，称 p 型半导体。

量子力学表明，这种掺杂后多余的空穴的能级在禁带中紧靠满带处， $\Delta E_D \sim 10^{-2} \text{eV}$ ，极易产生空穴导电。

该能级称受主（acceptor）能级。

## P型半导体



在p型半导体中空穴.....多数载流子

电子.....少数载流子