

§ 17.1 晶体结构和晶体分类

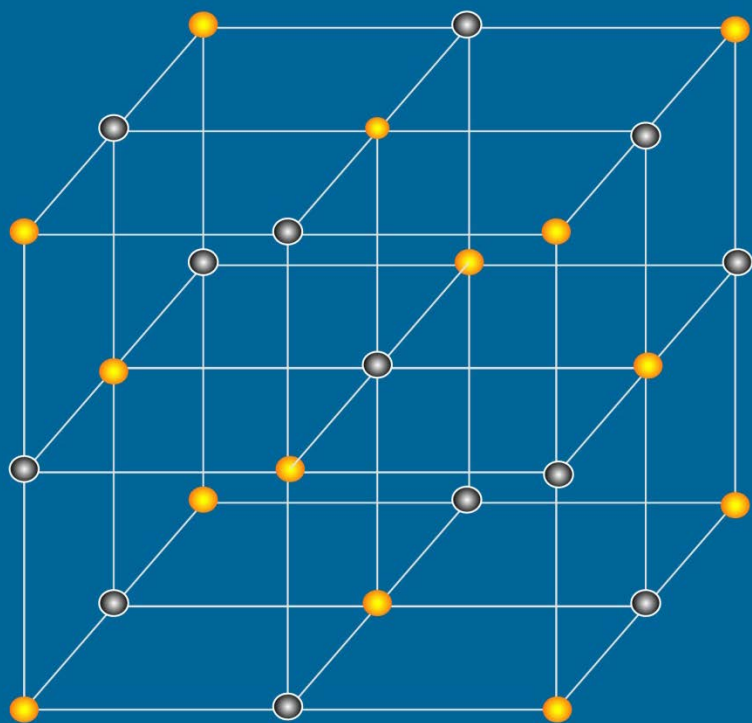
固体 { 晶体 如食盐、云母、金刚石
非晶体 如玻璃、松香、塑料

一. 晶体分类 (按结合力的性质)

类型	结合力	方向性 饱和性	性能	
			导电性	硬度 熔点
离子晶体	离子键	无	弱	高
共价晶体	共价键	有	很低	高
分子晶体	范德瓦耳斯键	无	低	差
金属晶体	金属键	无	好	

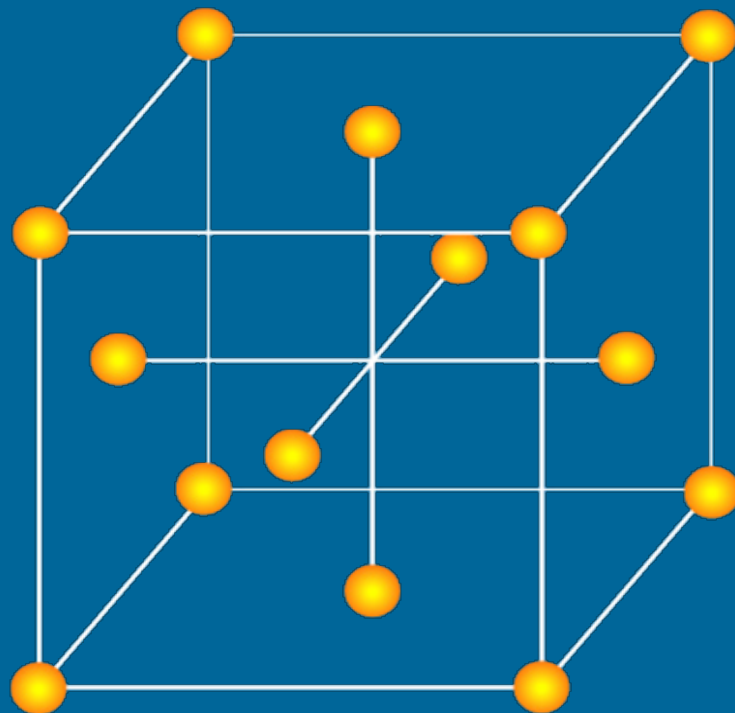
二. 晶体结构

从微观结构来看，晶体中，原子或离子周期性重复排列，形成晶格，或称为空间点阵。



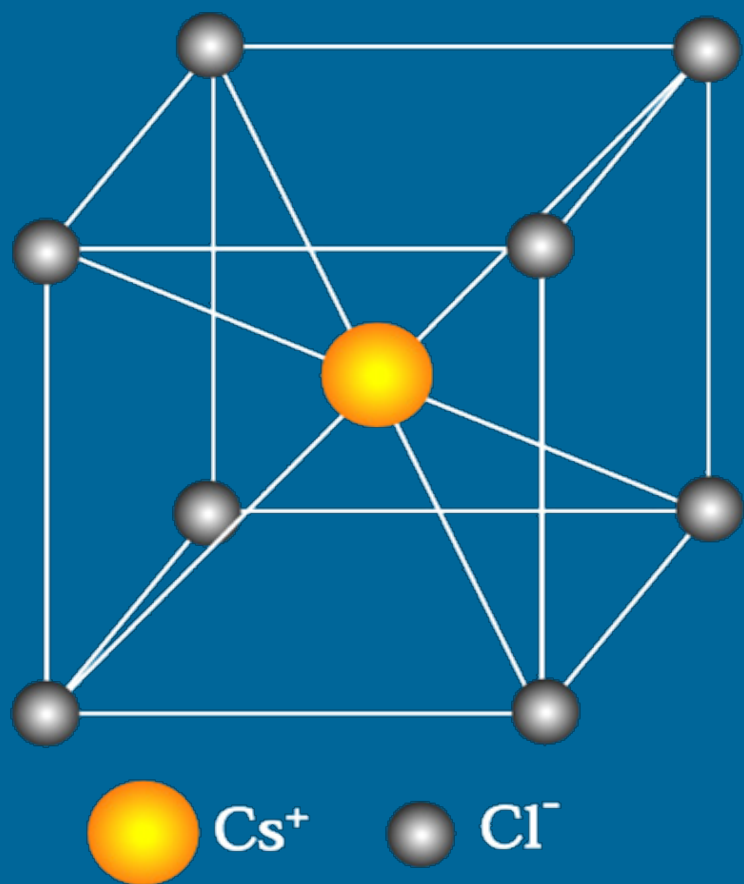
● Na^+ ● Cl^-

立方结构

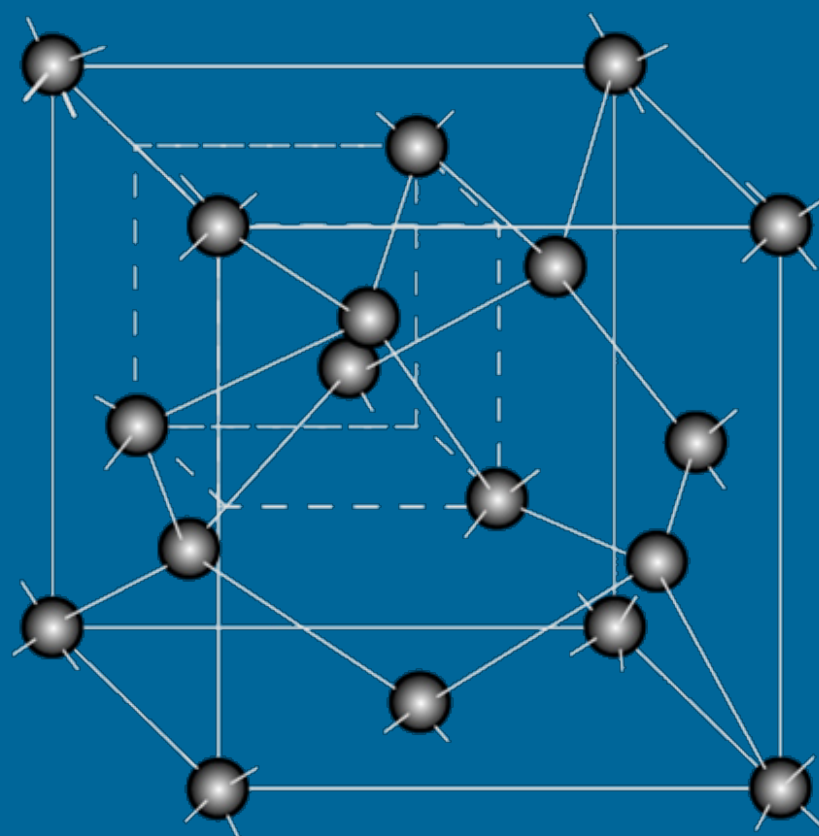


● Cu

面心立方结构



体心立方

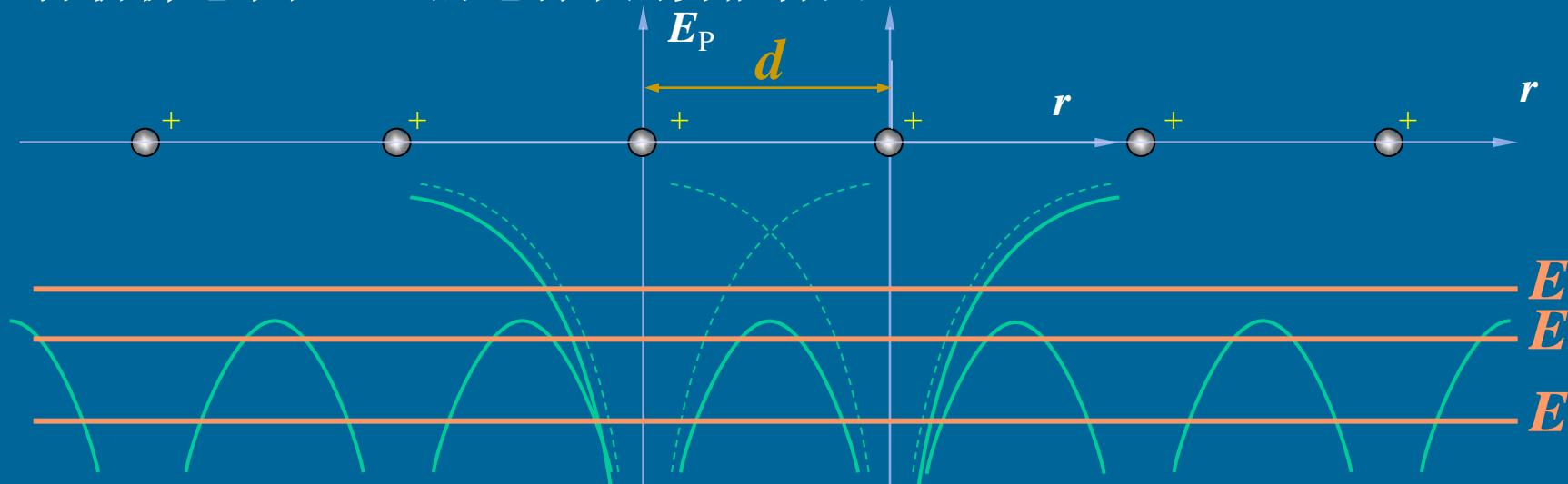


金刚石

§ 17.2 晶体的能带

一. 周期性势场和电子的共有化

以钠为例， Na 原子可看成是一个价电子在 Na^+ 离子的电场中运动。分析价电子在 Na^+ 的电场中的势能特点。



一维晶体点阵形成的势能函数曲线

根据量子理论：电子有一定的概率穿过势垒为多个原子共有

- 电子能量 E 低，穿过势垒概率小，共有化程度低
- 电子能量 E 高，穿过势垒概率大，共有化程度高。

电子共有化：由于晶体中原子的周期排列而使价电子不再为单个原子所有的现象，称为电子共有化。

二. 能带和能带中电子的分布

当 N 个原子组成晶体时，由于电子共有化，使原子中具有相同能量的电子的能级因原子相互作用而发生变化，分裂成靠得很近的 N 个能级，新能级形成大小一定的一个能量范围 ΔE ，这个能量范围叫做能带。

对于一定的晶体，不同壳层的电子能级分裂所形成的能带宽度各不相同，内层电子（能量较低）共有化程度不显著，能带很窄，而外层电子共有化显著，能带较宽。

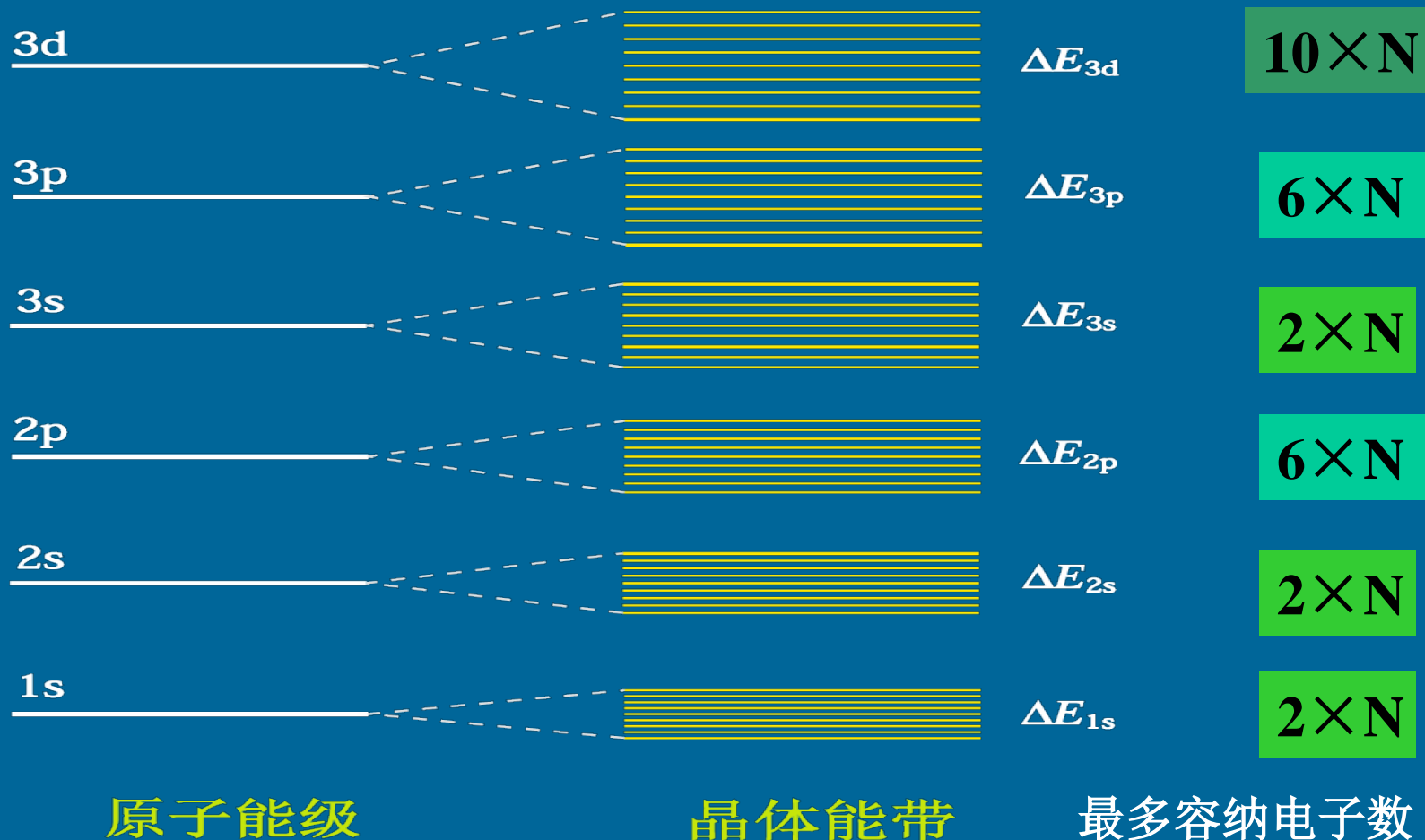
组成晶体的原子数越多，分裂后能级数越多，能级越密集。



晶体能带

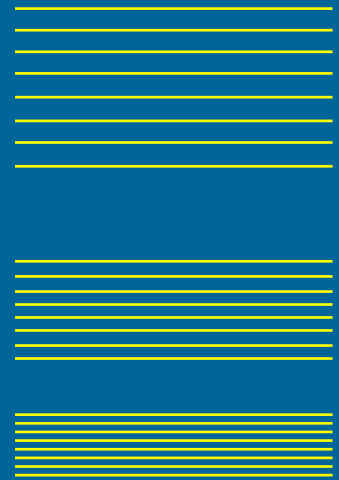
电子在能带中的填充方式：遵守 泡利不相容原理 能量最小原理

原子能级与晶体能带对应关系



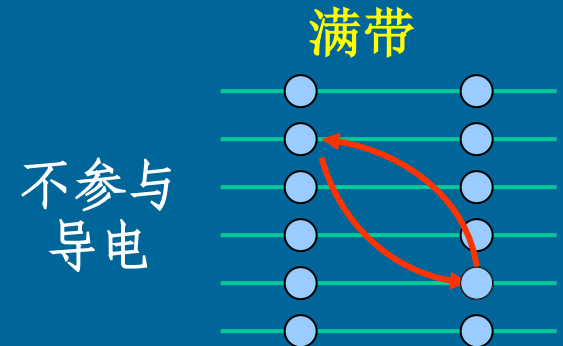
通常采用与原子能级相同的符号来表示晶体的能带。
如 1s 带、2s 带、2p 带等

✓ **禁带** —— 二相邻能带之间，可以有一个能量间隔，在这个间隔中，电子不能处于稳定状态，形成禁区。



✓ **满带** —— 能带中所有能态均被电子填满，满带中电子没有导电作用。

✓ **导带** —— 能带中只填入一部分电子，在外场作用下，电子可进入能带中空能级而形成定向电流。

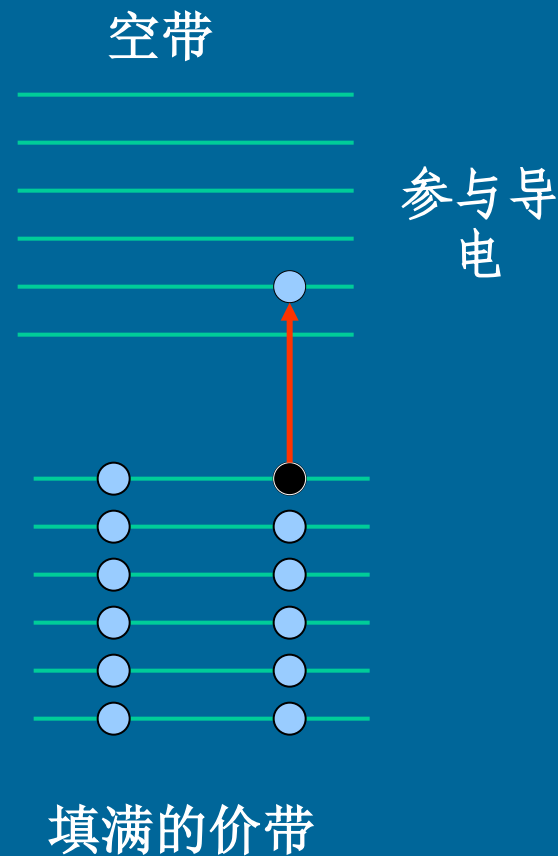


✓ **价带** —— 外层价电子所在的能带称为价带。

原子未被激发情况下，价带是被电子所填充的能量最高的能带。



✓空带——未被激发情况下，与原子的激发能级相应的能带中所有能级均没有电子填入。空带也是导带。

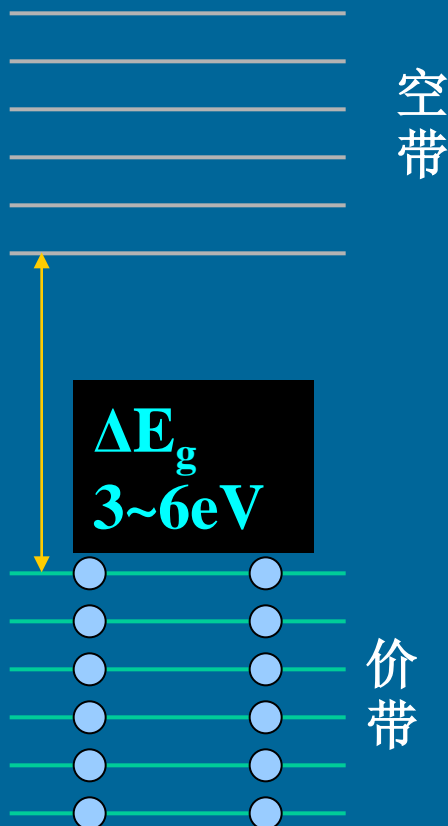


§ 17.3 绝缘体 导体 半导体

一. 绝缘体 电阻率很大的物质

特点:

绝缘体



1 价带满 (其价带被价电子填满成为满带)

2 禁带宽 (价带与邻近空带之间的禁带宽度为几个电子伏特($3\sim 6\text{eV}$))

3 内层能级被电子填满

一般外电场作用下 (或热激发、光照下) 极少量的电子跃迁到空带上去, 从而使这类晶体具有极微弱的导电性。

击穿: 外场很强, 致使填满的价带中大量电子跃过禁带而到达空带, 这时绝缘体就变成导体。

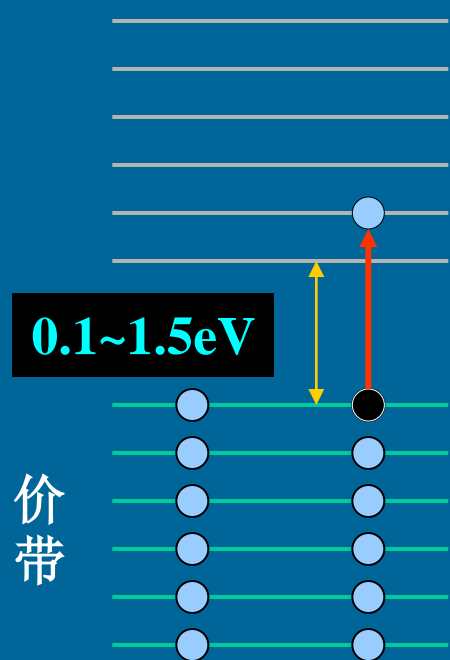
二.半导体：导电性介于导体和绝缘体之间。其能带结构与绝缘体能带结构很相似，即价带已满（形成满带）且与相邻空带之间有一禁带 ΔE_g ，只不过 ΔE_g 很窄约**0.1~1.5eV**

禁带宽度很小(约一个电子伏特或更小)，
电子易于从满带激发到空带中去。

半导体

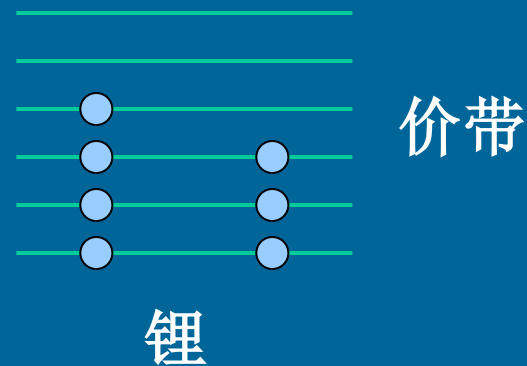
这些进入空带的电子在外电场的作用下可向空带中较高能级跃迁形成定向电流，从而半导体具有**电子导电性**。

另一方面，由于满带中部分电子跃迁到空带，满带顶部附近就会留下若干空的能级——**空穴**。在外电场的作用下，满带中（填满电子的价带）较低能级上的电子就会填充这些空穴，从而在较低能级上留下新的空穴。这样空穴逐渐由高能级到低能级转移。与之相应的导电性称**空穴导电性**。

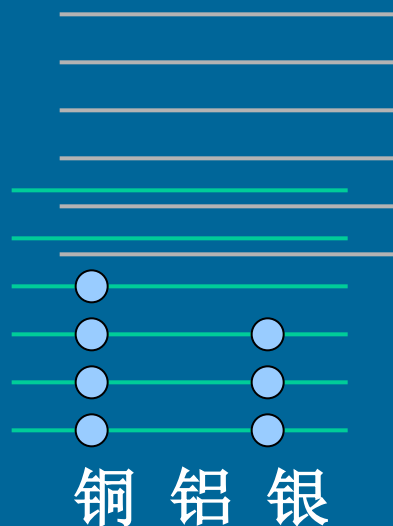
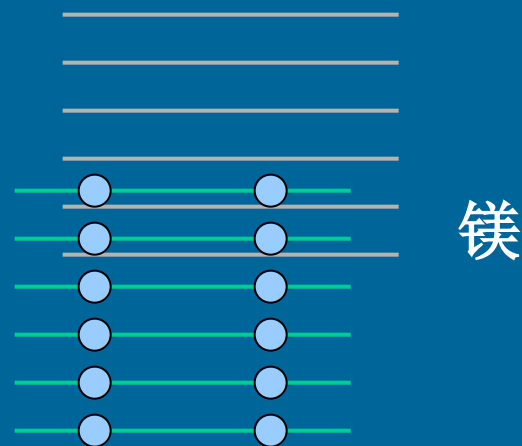


三. 导体 能带结构三种形式:

① 价带中只填入部分电子，电子很容易在该能带中从低能级跃迁到较高能级，从而形成电流。



② 价带虽已被电子填满，但此满带与另一相邻的空带相连或部分重叠，实际上也形成一个未满的能带



③ 价带本来就未被电子填满，而这个价带又与它相邻的空带重叠。

§ 17.4 杂质半导体

一. 半导体类型

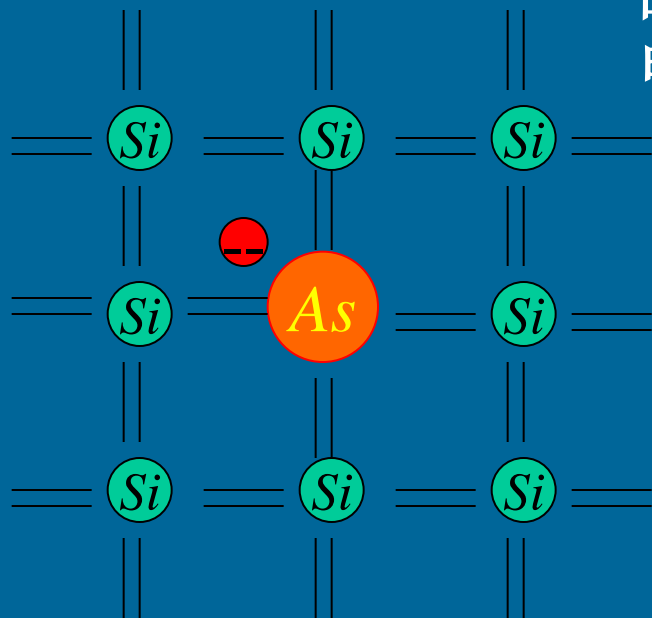
没有杂质和缺陷的理想半导体（四价元素 Si 、 Ge ）

类型		掺有杂质	主要载流子	导电性能
本征半导体		无	电子 空穴	差
杂质 半导体	n 型	五价元素(砷或磷)	电子	提高
	p 型	三价元素(硼或镓)	空穴	提高

在本征半导体中，用扩散的方法掺入少量其它元素的原子，形成杂质半导体。

二. 杂质半导体

1 n 型半导体



掺入五价元素 As 后， As 的四个价电子和 Si 的四个价电子形成共价键，结果一个自由电子 e 在正离子 As^+ 的电场范围内运动

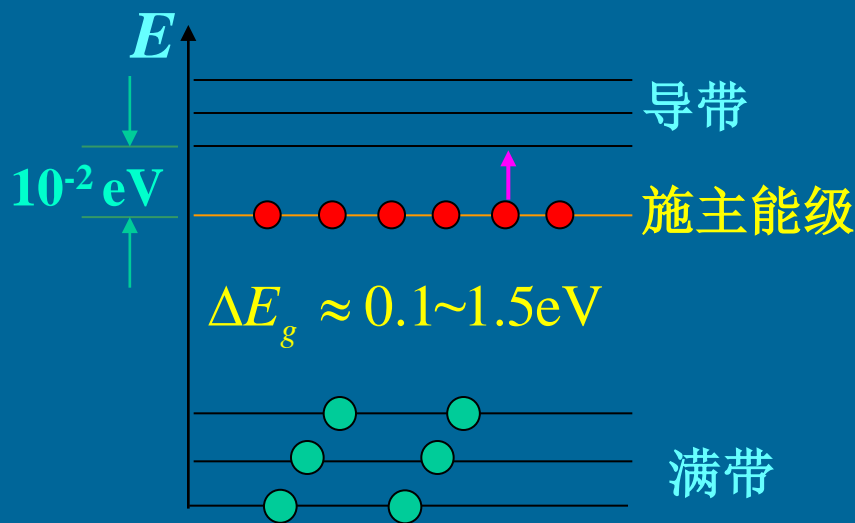
①此多出的 e 的能级处在禁带中靠近导带底。

②此电子受到热激发时很容易跃到导带中去，所以该能级称为

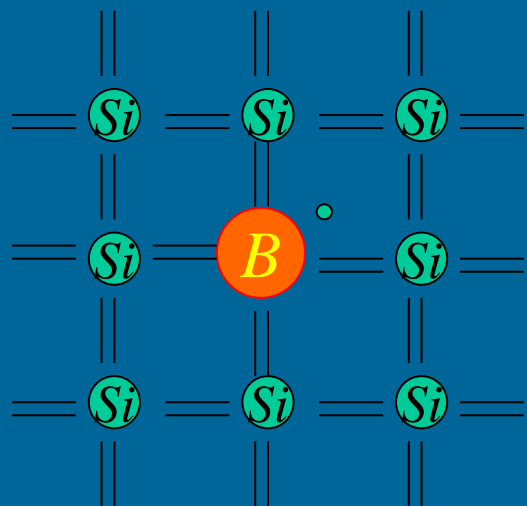
——**施主能级**

 **自由电子**

③这类半导体的导电机制主要靠从施主能级激发到导带中去的电子。导带中电子浓度比本征半导体中电子浓度增加好多倍，导电性能大大提高。



2 P 型半导体



在四价元素半导体晶体(Si 、 Ge)中掺入少量三价元素(如硼 B ，镓 Ga)这些三价杂质原子在晶体中替代四价原子位置，构成与四价元素相同的四电子结构，缺少一个电子，相当于在杂质原子的附近出现了空穴。

① 空穴相应的能级处于禁带中靠近满带顶

② 满带中的电子很容易被激发跃迁到此能级，而在满带中留下空穴，这个能级称为——受主能级。

③ 导电机制主要靠满带中的电子激发到受主能级，满带中空穴浓度比本征半导体中空穴浓度增加好多倍，导电性能大大提高。

