上节课主要内容

多电子原子的核外电子状态

1、主量子数 $n=1,2,3\cdots$

电子的能量$E_{n,l}$主要由 n 决定，一般情况下n 较高的状态，能量也较高

2、副量子数 $l=0,1,2,\cdots,n-1$ 决定电子绕核运动的角动量 $L=\sqrt{l(l+1)}\hbar$ 亦影响电子能量:

原子序数≤56的多电子原子 $\Delta=n+0.7l$

3、磁量子数 $m_l=0,\pm1,\pm2,\cdots,\pm l$

决定电子绕核运动角动量的空间取向 $L_z=m_l\hbar$

4、自旋磁量子数 $m_s=\pm1/2$

决定电子自旋角动量的空间取向 $S_z=m_s\hbar$

自旋轨道耦合：$\vec{J}=\vec{L}+\vec{S}$

$J=\sqrt{j(j+1)}\hbar \quad j=|l\pm s|$

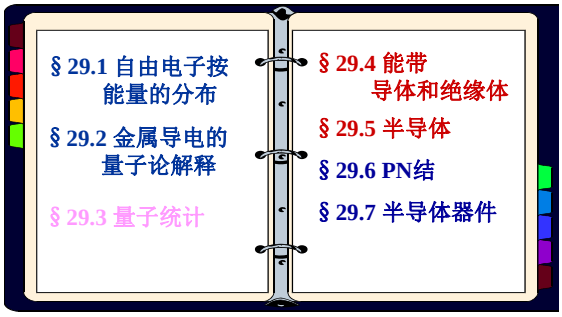
玻色子 费米子

核外电子的排布：泡利不相容原理、 能量最小原理

1）同一支壳层最多可容纳电子数 $2(2l+1)$

2）同一壳层最多可容纳电子数 $2n^2$

第29章 固体中的电子



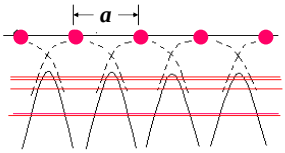
第29章 固体中的电子

一、自由电子按能量的分布

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

电子受到周期性势场的作用



解定态薛定谔方程(略)，可以得出两点重要结论：

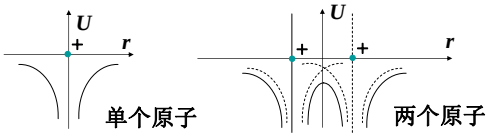
1、电子的能量量子化

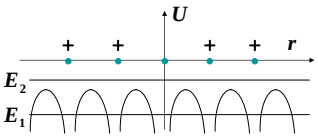
2、电子运动有隧道效应

原子的外层电子(高能级)，势垒穿透概率较大， 电子可以在整个固体中运动，称为共有化电子

原子的内层电子与原子核结合较紧,一般不是共有化电子

电子共有化



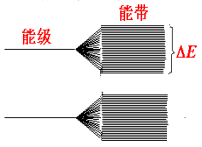


晶体中周期性势场

价电子不再为单个原子所有，而为整个晶体所共有的现象称为电子共有化。

二、能带的形成

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ΔE，数量级为 ΔE～eV

若$N\sim10^{23}$，则能带中两能级的间距约10^{-23}eV

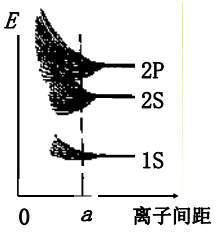
能带的形成

一般规律

1、越是外层电子，能带越宽，ΔE越大

2、点阵间距越小，能带越宽，ΔE越大

3、两个能带有可能重叠



能带重叠示意图

三、能带中电子的排布——满带、导带和禁带

固体中的一个电子只能处在某个能带中的某一能级上（但可较自由地在能带中改变所处能级）

排布原则：1、 服从泡利不相容原理（费米子）

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

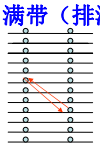
如，1 s 、 2 s 能带，最多容纳 2N 个电子

2 p 、 3 p 能带，最多容纳 6N 个电子

电子排布时，应从最低的能级排起

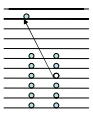
有关能带被占据情况的几个名词

1、满带（排满电子）



无导电作用

2、价带（能带中一部分能级排满电子）



有导电作用

— 亦称导带

3、空带

— 亦称导带

激发电子也可能进入空带，具有一定的导电性

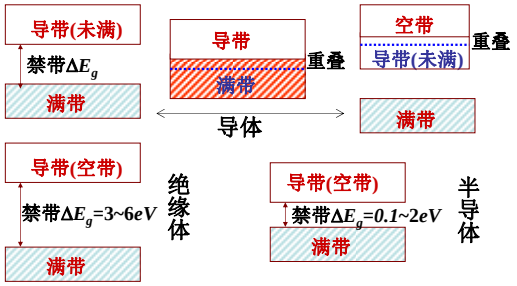
4、禁带（不能排电子的能量空间）

排满电子的能级上的电子不能参与导电

四、导体、半导体和绝缘体

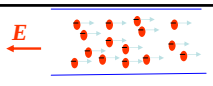
固体按导电性能的高低可以分为：导体 → 半导体 → 绝缘体

它们导电性能的差异缘于其能带结构的不同



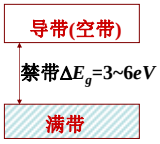
导体

在外电场的作用下，大量共有化电子很易获得能量，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，造成多个能级未被电子占满，这些能级上的电子均可参与导电

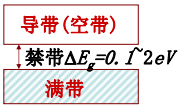
绝缘体：在外电场的作用下，共有化电子很难接受外电场的能量，所以形不成电流



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，共有化电子很难从低能级(满带)跃迁到高能级(空带)上去

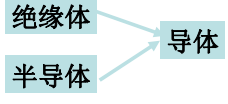
半导体

能带结构：满带与空带之间也是禁带，但是禁带很窄



绝缘体与半导体的击穿：

当外电场非常强时，共有化电子越过禁带跃迁到空带中形成载流子



五、半导体的导电机制

（一）、本征半导体

— 纯净的半导体

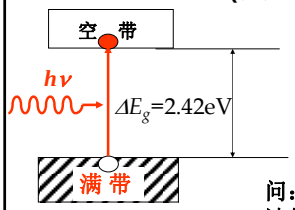
两个概念：

1、电子导电……载流子是电子

2、空穴导电……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称空穴

例、半导体 Cd S (硫化镉)



这相当于产生了一个带正电的粒子(称为“空穴”)，亦产生一个可导电的电子

电子和空穴总是成对出现

—— 电子空穴对

问：半导体激发载流电子，光波的波长最大多长？

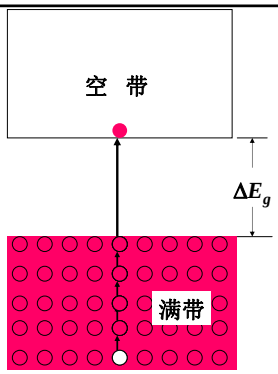
$$h\nu_{min}=\frac{hc}{\lambda_{max}}=\Delta E_g$$

$$\lambda_{max}=\frac{hc}{\Delta E_g}=\frac{6.63\times10^{-34}J\cdot s\times3\times10^{8}m/s}{2.42\times1.6\times10^{-19}J}=514nm$$

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。

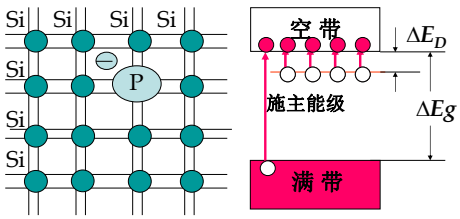
满带上带正电的空穴向下跃迁也能形成电流，这称为空穴导电



（二）、杂质半导体

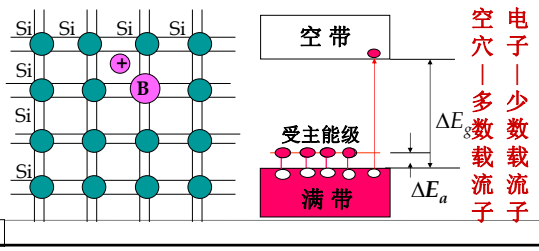
1、n 型半导体：四价的本征半导体 Si、G e 等，掺入少量五价的杂质元素（如P、As等）形成电子型半导体，称 n 型半导体

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，ΔE_D～10^{-2}eV，极易形成电子导电。该能级称为施主能级



2、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、Ga、In 等）形成空穴型半导体，称 p 型半导体

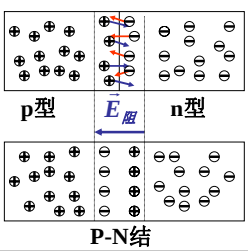
量子力学表明，这种掺杂后多余的空穴的能级在禁带中紧靠满带处，ΔE_a～10^{-2}eV，极易产生空穴导电。 该能级称受主能级



六、P－N结

(一) P－N结的形成

在一块本征半导体的两部分分别掺入3价和5价杂质由于N区的电子向P区扩散，P区的空穴向N区扩散，在 p 型半导体和N型半导体的交界面附近形成电子空穴层，称为P N结，其间产生了一个电场,称为内建场



内建场阻止电子和空穴进一步扩散，记作 $\vec{E}_{阻}$

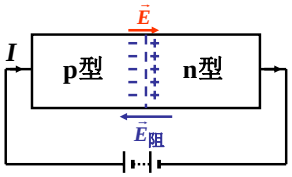
内建场大到一定程度，不再有净电荷的流动，达到了新的平衡（动态平衡）

此时在 p 型 n型交界面附近形成P-N结，约0.1μm厚

(二) P-N结的单向导电性

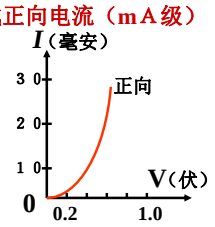
1、正向偏压

在P N结的p型区接电源正极，叫正向偏压



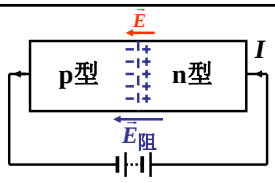
阻挡层势垒被削弱、变窄，有利于空穴向N区运动，电子向P 区运动，形成正向电流（mA级）

外加正向电压越大，正向电流也越大，而且是呈非线性的伏安特性(图为锗管)



2、反向偏压

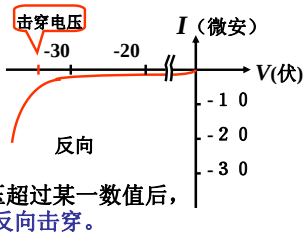
在P-N结的p型区接电源负极，叫反向偏压



阻挡层势垒增大、变宽，不利于空穴向N区运动，也不利于电子向P区运动，没有正向电流

但是，由于少数载流子的存在，会形成很弱的反向电流，

称为漏电流(μA级)



当外电场很强，反向电压超过某一数值后，反向电流会急剧增大----反向击穿。

半导体器件

p-n结的适当组合可以作成具有放大作用的晶体三极管（trasistor）和其他一些半导体器件。

晶体管（1947）⇨ 集成电路（1962）

⇨ 大规模集成电路 10^3（70年代）

⇨ 超大规模集成电路 10^5（80年代）

⇨ 甚大规模集成电路 10^7（90年代）

⇨ 巨大规模集成电路 10^9（本世纪初）

晶体管的发明

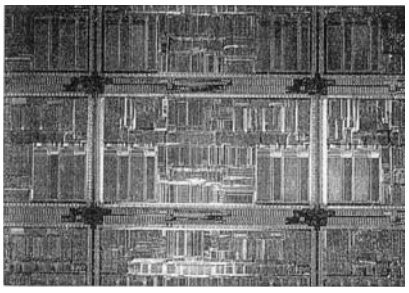
1947年12月23日，美国贝尔实验室的半导体小组做出世界上第一只具有放大作用的点接触型晶体三极管。

1956年小组的三位成员获诺贝尔物理奖。

巴丁 J.Bardeen

布拉顿 W.H.Brattain

肖克利 W.Shockley



INMOS T900 微处理器

每一个集成块（图中一个长方形部分）约为手指甲大小，它有300多万个三极管。

29.11
29.13