

6.3 用电容—电压法测半导体杂质浓度分布

➤<实验前的思考>

1. 固体的能带与孤立原子的能级有何关系？
2. 二极管PN结是如何形成的？
3. PN结类型主要有哪些？

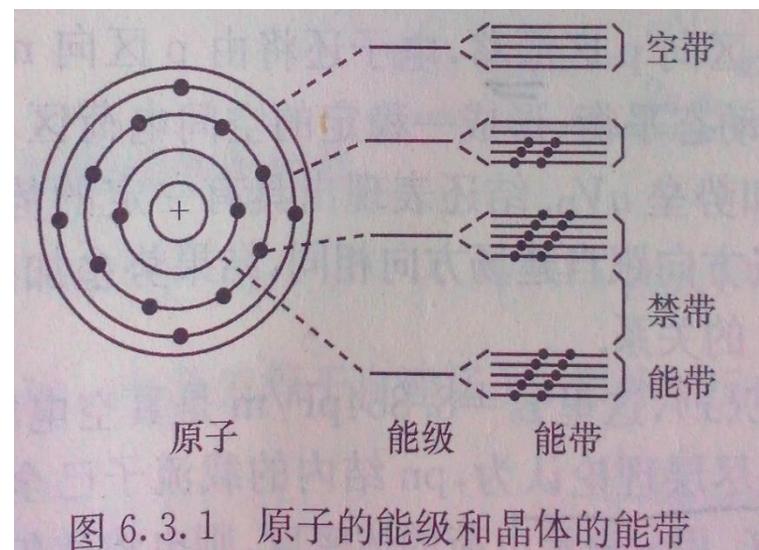
➤ <实验原理>

1. 半导体的基本概念：原子能级与固体能带

孤立原子的电子能级是分立的，有确定的分布。当孤立原子相互靠近，形成周期性排列的晶格时，会产生一个周期性的晶格势场，在周期性势场的影响下，电子准连续的分立能级在布里渊区边界发生断裂，形成固体能带，孤立原子的电子能级与固体中的能带对应，低能级对应低能带，高能级对应高能带。

能带中各能级被电子所填满的能带称为满带，没有被电子填充的能带称为空带，其中，一系列满带中最高的能带称为价带，价带之上的能带称为导带，两者之间能带之间的能量间隔称为禁带宽度，用 E_g 表示。其中：

$$E_g(\text{Si})=1.21\text{eV}, \quad E_g(\text{Ge})=0.76\text{eV}$$



2. 半导体的基本概念：施主能级和受主能级

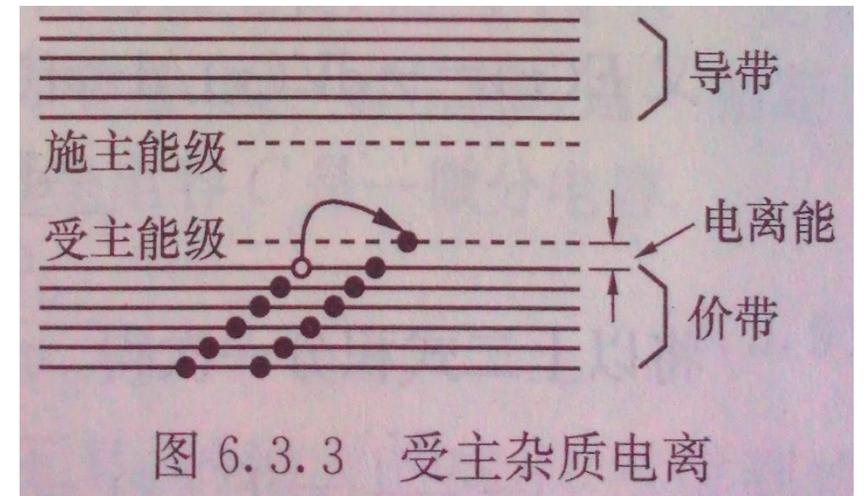
未掺杂的半导体称为**本征半导体**，其导电机制是电子—空穴混合导电，如果掺入杂质则会在禁带内形成浅的掺杂能级：

- 如果掺入的是微量的**施主杂质**，则会在导带底下形成施主能级；
- 如果掺入的是微量的**受主杂质**，则会在价带顶上形成受主能级；

例如：对**四价的Si**而言

五价的P是施主杂质，掺入P会形成施主能级，产生施主电离，其电离能约为 0.044eV ；

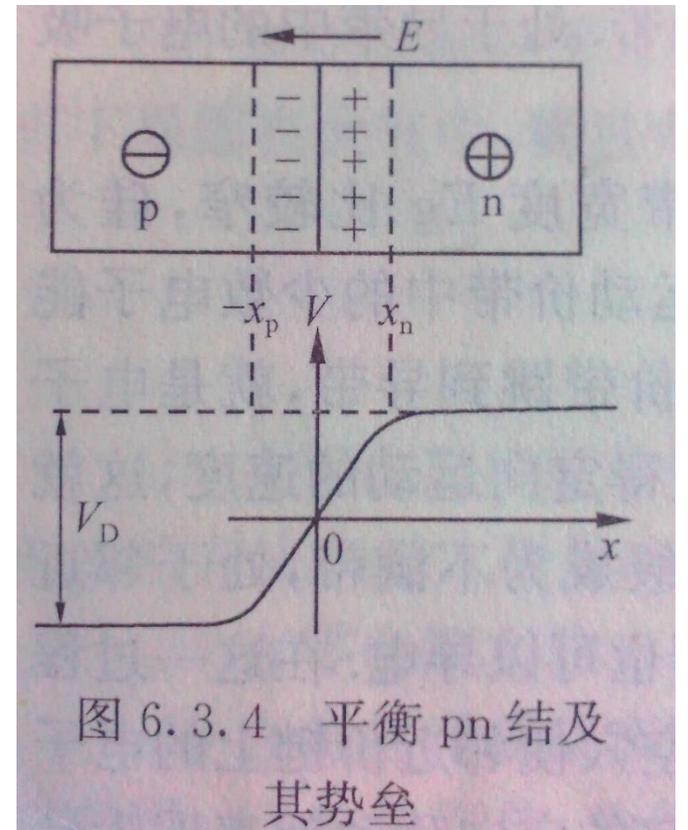
三价的B是受主杂质，掺入B会形成受主杂质，产生受主电离，其电离能约为 0.045eV 。



3. 二极管PN结：势垒电容和杂质浓度分布

当P型半导体和N型半导体相互接触，会形成**PN结**。由于N区的**多数载流子**电子的浓度高过P区的**少数载流子**电子的浓度，则在密度梯度作用下，N区的电子向P区**扩散**，并留下正离子形成带正电的空间电荷区。同理，P区的多数载流子空穴向N区扩散，并留下负离子形成带负电的空间电荷区。空间电荷区会产生**内建电场E**（N区→P区），该内建电场E将阻止多数载流子进一步的扩散运动。

在内建电场E的作用下，N区的**少数载流子**空穴将向P区**漂移**，P区的少数载流子电子将向N区漂移。当**多数载流子扩散运动**和方向相反的**少数载流子漂移运动**达到平衡时，就会形成稳定的空间电荷区和接触电势差 V_D ，并产生**势垒电容C**。



其中P区的空间电荷区厚度 x_p ，受主掺杂浓度 N_A ，N区的空间电荷区厚度 x_n ，施主掺杂浓度 N_D 满足如下等式：

$$x_p N_A = x_n N_D$$

对单边突变结，比如 $N_A \gg N_D$ ，则PN结主要集中在低掺杂浓度一侧（即N区）。

此时的势垒电容C：

$$C = \frac{S \epsilon_r \epsilon_0}{l}$$

对应的低掺杂浓度一侧的杂质浓度 N_D 。

$$N_D = \frac{C^3}{q S^2 \epsilon_r \epsilon_0} \left(\frac{dC}{dV} \right)^{-1}$$

其中 $\epsilon_0=8.854\text{pF/m}$ ，硅的 $\epsilon_r=11.8$ ， q 是电子基本电量， S 是结面积。

➤ <实验内容>

采用电容—电压法，测量普通二极管，变容二极管的C-V曲线，并根据C-V曲线计算PN结中低掺杂一侧的杂质浓度分布 $N_D(l)$ 。

方法：给二极管加反向偏置电压 V_R ，测量对应的电容值。

➤ <思考题>

- 1.如果判断给二极管所加偏压是反向偏置电压？
- 2.能否进一步判断被测二极管的PN结类型？