

补充：PN结和PN结二极管

core concepts:

- 1. 常用半导体材料、本征半导体
- 2. 掺杂、多子和少子
- 3. 价带和导带、电子电流和空穴电流
- 4. PN结
 - 4.1 耗尽区和内建电场（内建电位差）
 - 4.2 扩散和漂移
 - 4.3 正向偏置和反向偏置
 - 4.3.1 正偏导通
 - 4.3.2 反偏截止
 - 4.3.3 反向击穿：（热击穿）、齐纳击穿和雪崩击穿
- 5. 二极管的伏安特性
 - 5.1 指数律
 - 5.2 直流电阻和微分电阻

器件基础：半导体材料

Si、Ge、GaAs、SiC等是常用的半导体材料
纯净半导体（本征半导体）在热运动下部分价带中的电子会跑到导带中，从而产生自由电子和空穴，室温下可以导电（电子和空穴时刻产生，也时刻复合）

电导率直接取决于自由电子和空穴的数目

$$\sigma = e(n\mu_e + p\mu_h) \qquad p = n$$

为了提高半导体的导电性，可以通过掺杂（doping）的方法，向本征半导体中添加杂质（5价或者3价），使得其内部自由电子数目或者空穴数目增加，从而提高导电性。

- 如果掺杂五价元素，会使得半导体内的空穴数目多于自由电子，则称为P型半导体（Positive）：此时 $p \gg n$ $\sigma \approx ep\mu_h$
- 如果如果掺杂半导体内的自由电子数目多于空穴，则称为N型半导体（Negative）：此时 $n \gg p$ $\sigma \approx en\mu_e$
可以通过调整掺杂浓度实现电导率的调整。
PS：多子和少子，多数载流子称为多子，反之为少子

电子电流和空穴电流：

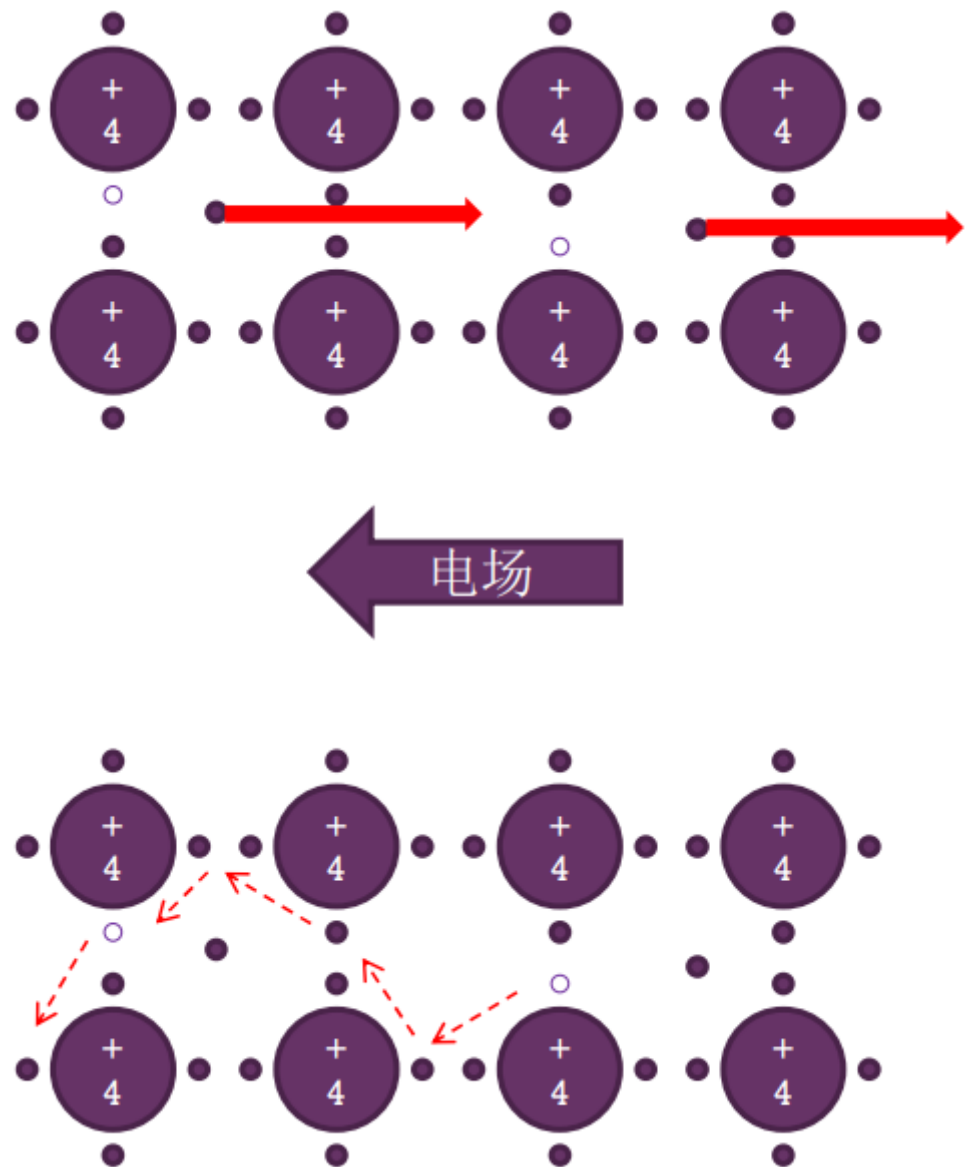
价带和导带：

价带（Valence Band）是指在固体中，电子在低能级状态下所占据的能带。在晶体中，原子间的相互作用形成了能带结构，其中价带是最低的一个能带。价带中的电子通常与原子核紧密地结合在一起，难以自由移动。因此不能随意移动，不能产生定向电流
导带（Conduction Band）是位于价带之上的能带，其能级高于价带。在导带中，电子可以相对自由地移动，可被激发到更高的能级或导电。导带中的电子对于电子传导和导电性质至关重要。当外部能量（如热激发或电场）作用于固体时，导带中的电子可以被激发到更高的能级，形成电子流，导致电流的传导。

电子电流和空穴电流：

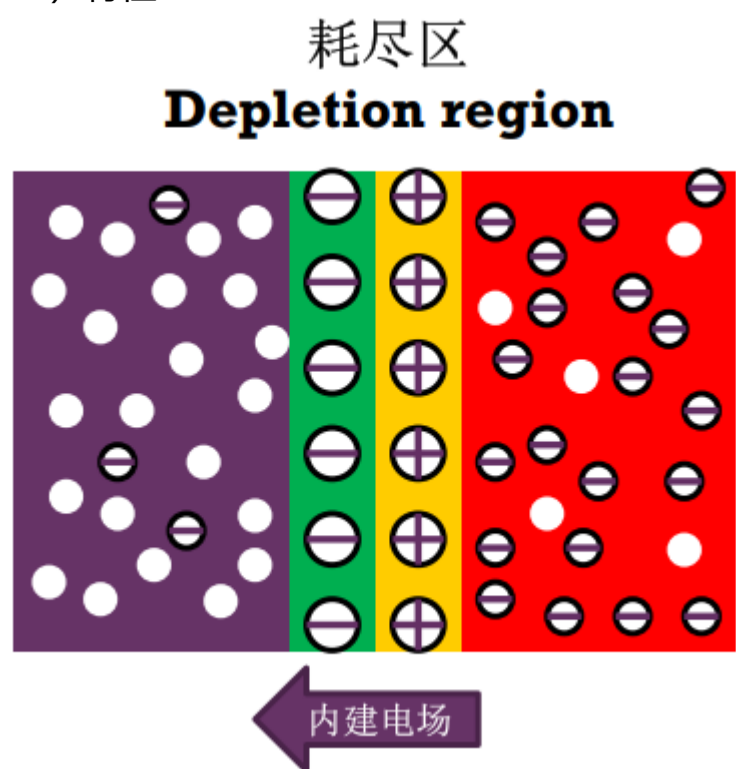
在一片硅晶体两端施加电压（电场）后导带内的电子反电场方向移动，形成电子电流electron current；价带内有空穴，空穴邻近的价带电子受到电场作用，反电场方向移动到空穴位置，在原位置形成新的空穴，犹如空穴在价带朝电场方向运动，故而称其为空穴电流hole current

(并非空穴在移动，而是电子在价带移动，电子移动形成新的空穴) 晶体内的总电流为电子电流和空穴电流之和。



PN结：

因为N型半导体和P型半导体粒子浓度的不同，两者接触后，接触面附近会形成PN结（PN Junction），并可以因此形成二极管（diode）特性



耗尽区和内建电场、扩散和漂移：

扩散：指载流子从高浓度区向低浓度区扩散的过程，浓度差导致势差，产生了力，推动载流子运动。

而因为在接触部位正负电荷相抵消，因此就会产生耗尽区（留下带有正/负电荷的离子，从而建立内建电场）这个内建电场和PN的方向刚好是反方向的（详见上图）

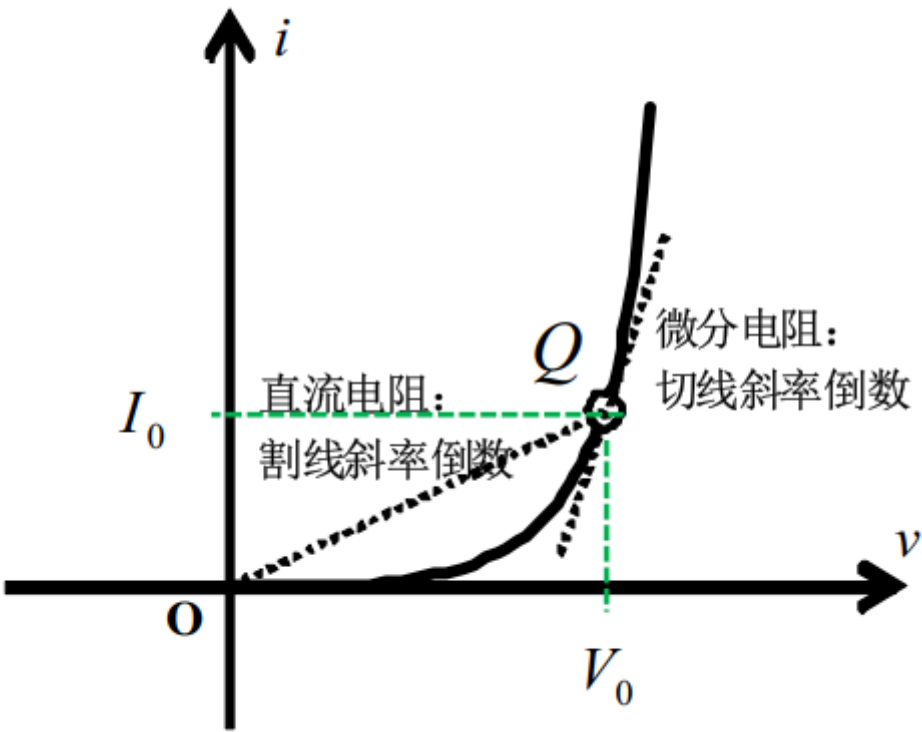
漂移：因为内建电场作用带来的电荷运动：电场导致电势差，产生了力，推动电荷移动。

漂移和扩散的共同作用见下图：

零偏附近：指数律

当 V_D 在零附近时，伏安特性满足指数律关系
PN结特性起主导地位： $i_D = I_{S0}(e^{\frac{v_D}{v_T}} - 1)$ 其中 $v_T = \frac{kT}{q} = 26mV, T = (25 + 273.15)K$
 I_{S0} 是反向饱和电流
PS：一般认为二极管的开启电压是0.7V，恰好近似等于势垒电压

直流电阻和微分电阻：



$$r_{ac} = r_d = \left(\frac{di}{dv}\right)^{-1}_Q$$

一般来说直流电阻在后面很少使用，微分电阻更常使用