



Chap1 半导体材料及二极管

(含绪论, 6课时, 第二次课)

上节课内容回忆

- 绪论
- 半导体

晶体构造、导电特征、导电机理

☆ 常用的半导体材料

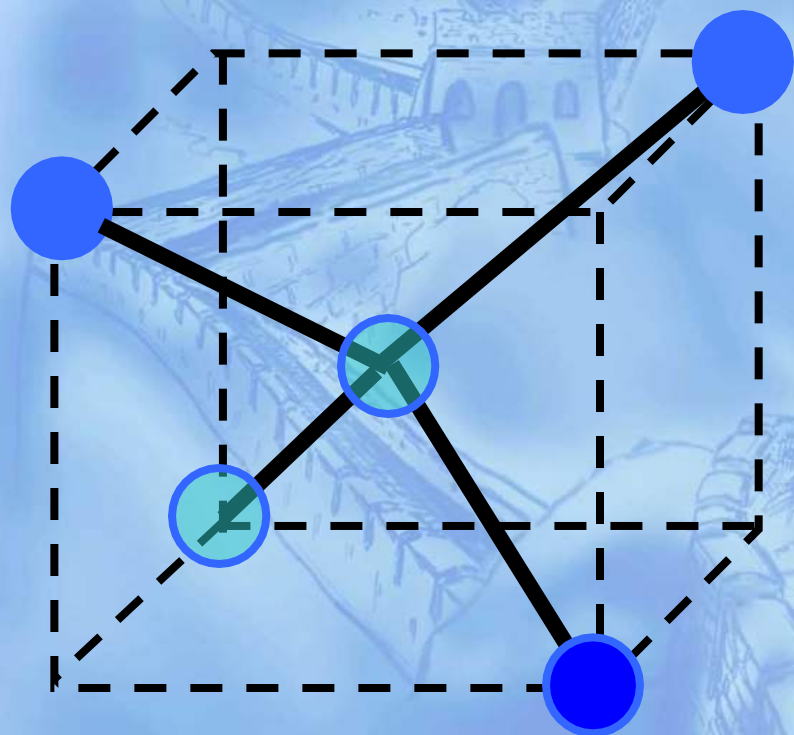
☆ 本征半导体——化学成份纯净的半导体

共价键构造

本征激发

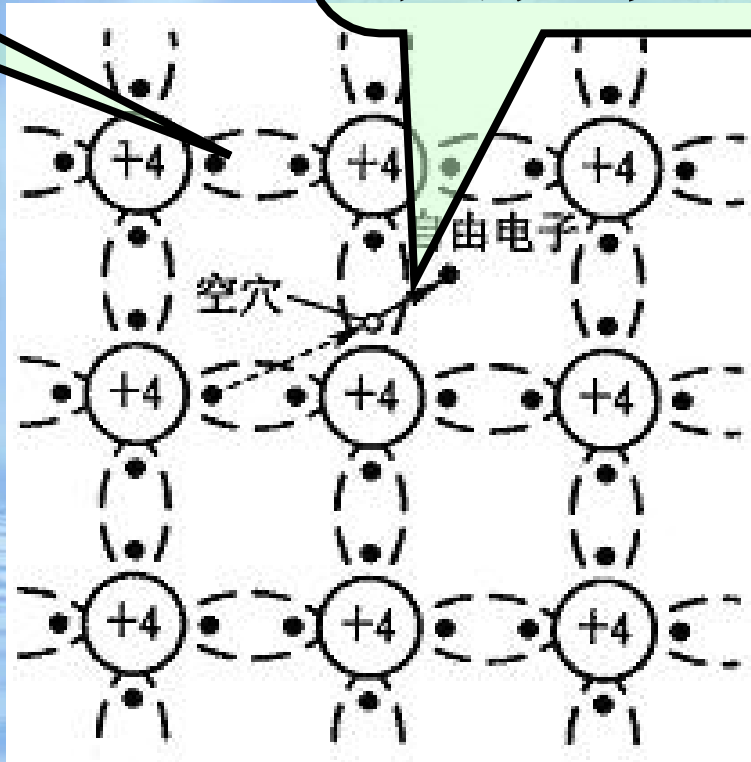
本征半导体中的载流子

共价键——
共用价电子对



硅和锗的晶体构造

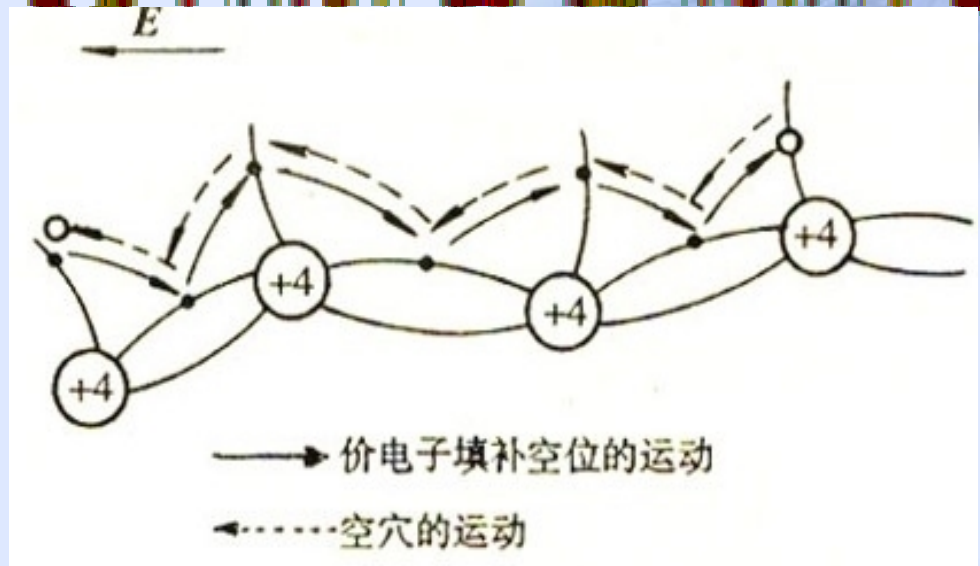
在本征半导体中，空穴和自由电子总是成对出现的。



本征激发示意图

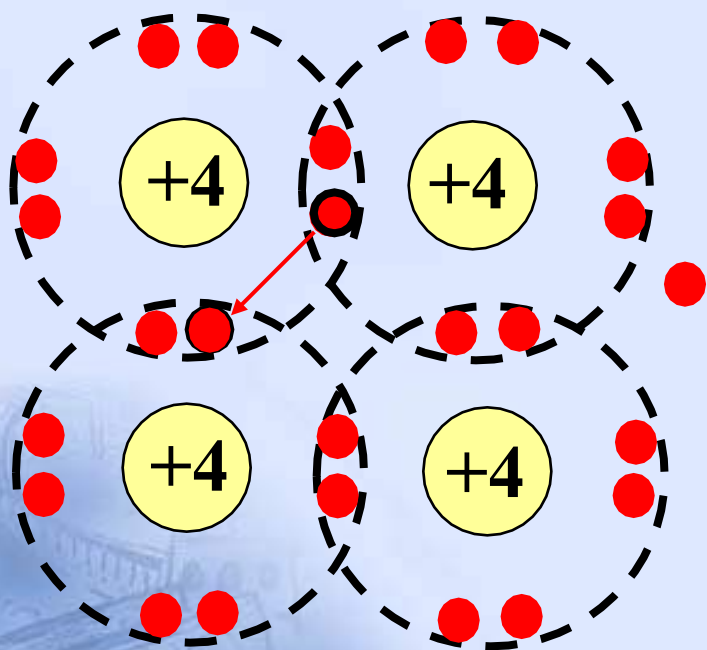
空穴“运动”

在电场作用下，价电子定向弥补空位，使空位作相反方向的移动，这与带正电荷的粒子作定向运动的效果完全相同。为了区别于自由电子的运动，就把价电子的运动虚拟为空穴运动，但运动方向相反。



空穴的运动是靠相邻共价键中的价电子依次充填空穴来实现的。

3. 本征半导体中的两种载流子



运载电荷的粒子称为载流子。

空穴的迁移相当于正电荷的移动

本征半导体中的两种载流子：自由电子和空穴

不同于导体导电只有一种载流子——自由电子导电，本征半导体中，有两种载流子参加导电。

4. 本征浓度

- **载流子复合**：自由电子与空穴在热运动中相遇，使两者同步消失的现象。
- **载流子的动态平衡**：在一定温度下，单位时间内本征激发所产生的自由电子—空穴正确数目与复合而消失的自由电子—空穴正确数目相等，就到达了载流子的动态平衡状态，使本征半导体中载流子的浓度一定。

本征载流子的浓度:

$$n_i = p_i = BT^2 e^{-\frac{E_g}{2kT}} \quad (1.1)$$

式中 n_i 、 p_i 分别表示电子和空穴的浓度 (cm^{-3}), T 为热力学温度 (K), k 为波尔兹曼常数 ($8.63 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$), E_g 为 $T=0\text{K}$ 时破坏共价键所需的能量, 又称禁带宽度 (eV), B 是与半导体材料有关的常数 ($\text{cm}^{-3} \text{K}^{-\frac{3}{2}}$)。

本征半导体导电能力取决于其载流子的浓度。温度越高, 本征载流子的浓度越高, 所以本征半导体的导电能力越强。

Si、Ge材料特征比较（一）

$$B = \begin{cases} 3.87 \times 10^{16} \text{cm}^{-3} \text{K}^{-3/2} & (\text{Si}) \\ 1.76 \times 10^{16} \text{cm}^{-3} \text{K}^{-3/2} & (\text{Ge}) \end{cases}$$

$$E_g(\text{禁带宽度}) = \begin{cases} 1.21 \text{ eV} & (\text{Si}) \\ 0.785 \text{ eV} & (\text{Ge}) \end{cases}$$

$$T=300\text{K}, \begin{cases} n_i(\text{Si}) \approx 1.43 \times 10^{10} \text{cm}^{-3} \\ n_i(\text{Ge}) \approx 2.38 \times 10^{13} \text{cm}^{-3} \end{cases}$$

可见，半导体参加导电的载流子含量极小，导电性差。
Si材料的热稳定性优于Ge材料的热稳定性。

1.1.2 杂质半导体

- **杂质半导体——掺入杂质的半导体**

在本征半导体中掺入某些微量的杂质，就会使半导体的导电性能发生明显变化。其原因是掺杂半导体的某种载流子浓度大大增长。

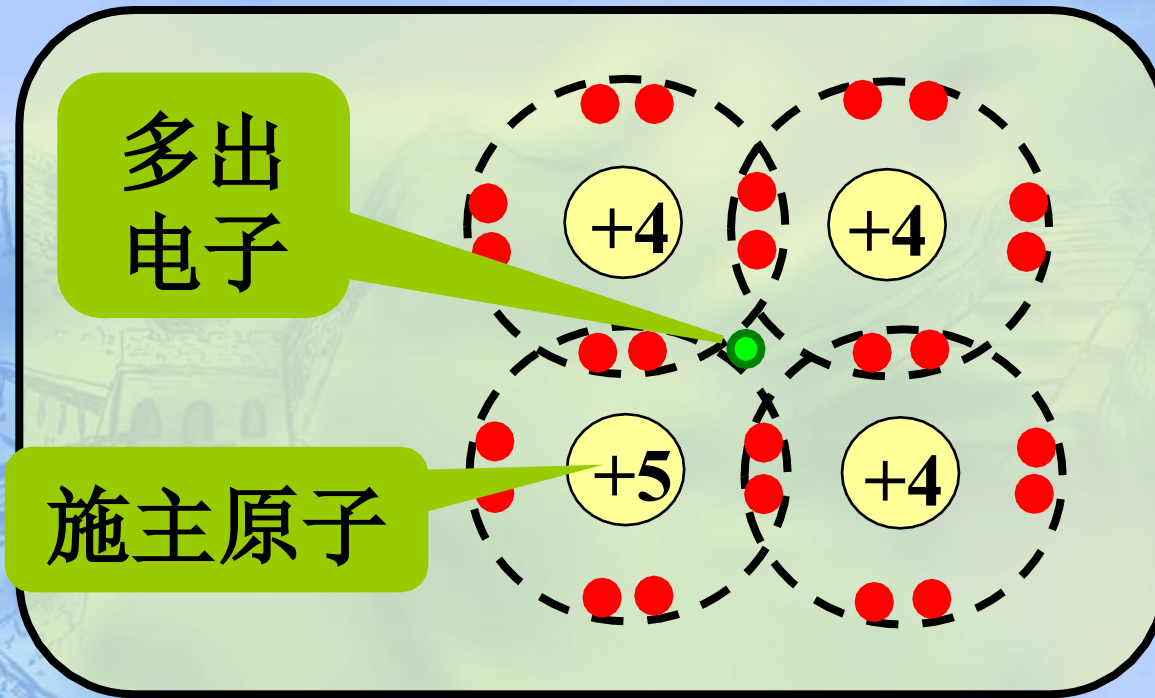
N型半导体

P型半导体

杂质半导体的载流子浓度

1. N型半导体

- 在本征Si或Ge中掺入少许的V族元素（如磷、砷、锑等）后，自由电子浓度大大增长的杂质半导体称为N型半导体，也称为电子半导体。
- 杂质原子替代晶体点阵中的某些Si原子，它的四个价电子与相邻的四个Si原子形成稳定的共价键时，多出的一种价电子只能位于共价键之外，且几乎不受束缚，很轻易被激发而成为自由电子。
- 因杂质原子“施舍”电子，被称为施主原子，这一现象称为施主电离。施主电离产生自由电子-正离子对，不产生空穴。
- 施主离子被束缚在晶格中，不能自由移动，因而不能参加导电。



N 型半导体中的载流子是什么？

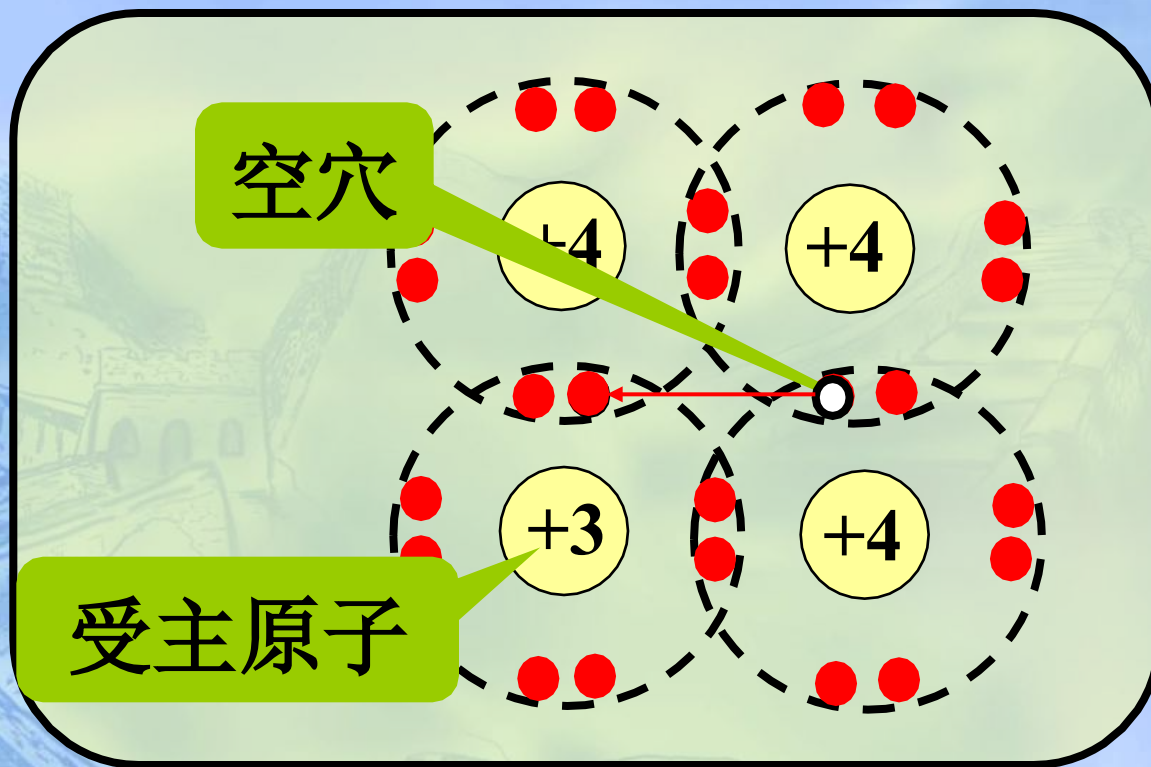
1. 由施主原子提供的电子，浓度与施主原子相同。
2. 本征激发成对产生的电子和空穴。

N型半导体的特点

1. 总的空穴数 = 本征激发空穴数
2. 总的自由电子数 = 本征激发的自由电子数 + 杂质原子产生的自由电子数
3. 掺杂浓度远不小于本征半导体中载流子浓度，所以，自由电子浓度远不小于空穴浓度。自由电子称为**多数载流子(多子)**，空穴称为**少数载流子(少子)**。
4. 在无外电场时，呈电中性

2. P型半导体

- 在本征Si或Ge中掺入少许Ⅲ族元素（如硼、铝和镓等）后，空穴浓度大大增长的杂质半导体称为P型半导体，也称为空穴半导体。
- 杂质原子替代晶体点阵中的某些Si原子，它的三个价电子与相邻的四个Si原子形成稳定的共价键时，只有三个共价键是完整的，第四个共价键因缺乏一种价电子而出现一种“空位”（电中性）。这个空位极易被邻近Si原子共价键中的价电子弥补，使杂质原子多出一种价电子而成为不可移动（所以，不参加导电）的负离子，同步在邻近产生一种空穴。
- 因杂质原子“接受”价电子，被称为受主原子，这一现象称为受主电离。受主电离产生空穴-负离子对，不产生自由电子。



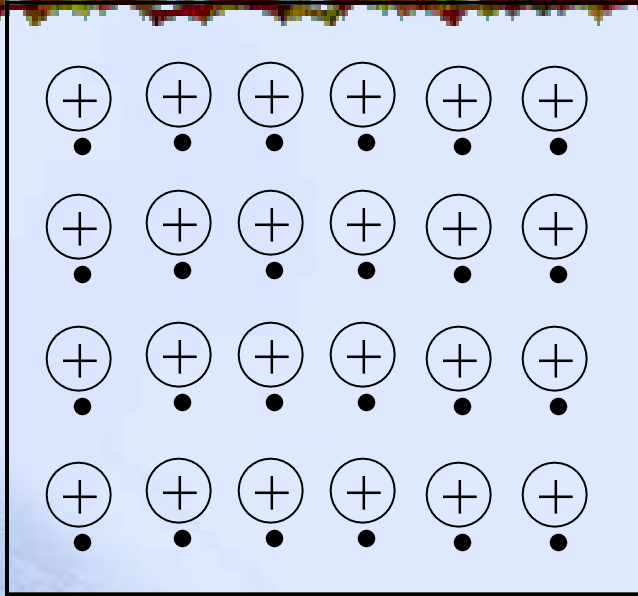
P 型半导体中的载流子是什么？

- 1、因受主原子产生的空穴，浓度与受主原子相同。
- 2、本征半导体中本征激发的电子-空穴对。

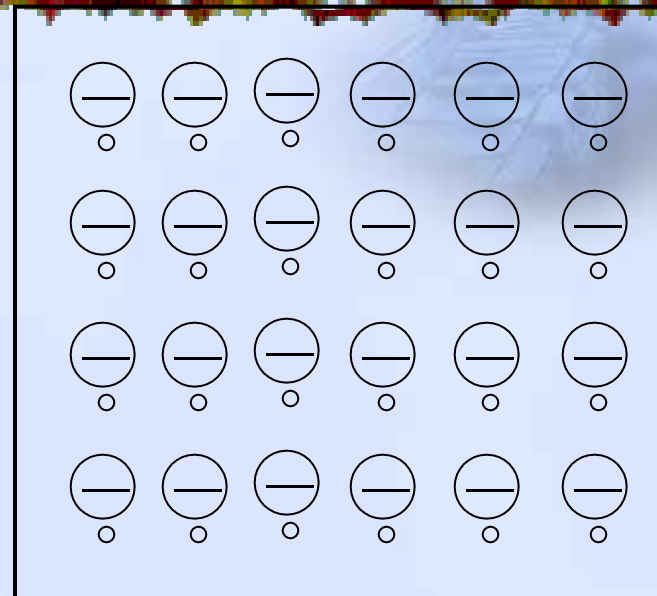
P型半导体的特点

1. 总的自由电子数 = 本征激发自由电子数
2. 总的空穴数 = 本征激发的空穴数 +
因杂质原子产生的空穴数
3. 掺杂浓度远不小于本征半导体中载流子浓度，所以，空穴浓度远不小于自由电子浓度。空穴称为**多数载流子(多子)**，自由电子称为**少数载流子(少子)**。
4. 在无外电场时，呈电中性

杂质半导体的示意表达法



N 型半导体



P 型半导体

杂质半导体多子和少子的移动都能形成电流。但因为数量的关系，起导电作用的主要是多子。

3. 杂质半导体的载流子浓度

$$n_0 p_0 = n_i^2 \quad (1.2)$$

其中： n_0 是热平衡条件下自由电子的浓度

p_0 是热平衡条件下空穴的浓度

n_i 是本征浓度

N型半导体: $n_0 = N_d + p_0 \approx N_d$; N_d —施主原子浓度

P型半导体: $p_0 = N_a + n_0 \approx N_a$; N_a —受主原子浓度

(1) **掺杂后**, 多子浓度都将远不小于少子浓度。且少许掺杂, 载流子就会有几种数量级的增长, 即**导电能力明显增大**。

(2) 在杂质半导体中, **多子浓度近似等于掺杂浓度**, 其值几乎与温度无关。

(3) 在杂质半导体中, **少子浓度随温度升高而明显增大**。少子浓度的温度敏感性是造成半导体器件温度特征差的主要原因。

掺杂对半导体导电性的影响

掺入杂质对本征半导体的导电性有很大的影响，某些经典的数据如下：

① $T=300\text{ K}$ 室温下,本征硅的电子和空穴浓度:

$$n = p = 1.4 \times 10^{10} / \text{cm}^3$$

② 掺杂后 N 型半导体中的自由电子浓度:

$$n = 5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$$

③ 本征硅的原子浓度: $4.96 \times 10^{22} / \text{cm}^3$

以上三个浓度基本上依次相差 $10^6 / \text{cm}^3$ 。

1.1.3 半导体中的电流

载流子的运动形式

漂移运动
在电场作用
向运动。
电场方向
子则反

两种导电机理
——漂移和扩散

：载流
高的区
低的区
力。

漂移电流

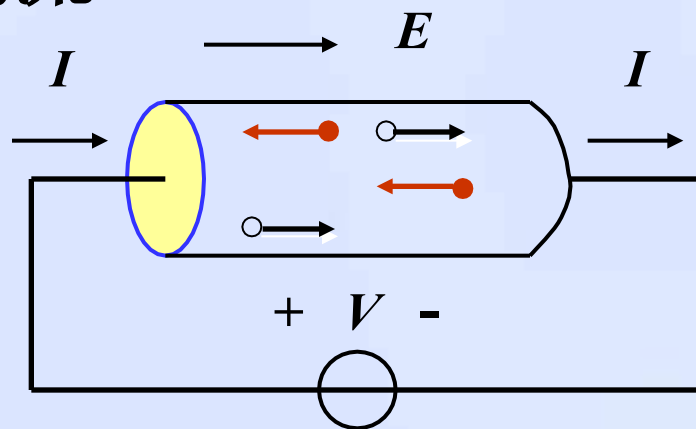
扩散电流

1. 漂移电流

在电场作用下，半导体中的载流子受电场力作宏观定向漂移运动形成的电流。它类似于金属导体内的传导电流。

电子的漂移电流密度为

$$J_n = qn\mu_n E \quad (1.7)$$



q --电子的电量； n --电子的浓度； E --电场强度；

μ_n --电子的迁移率；

表征电子在半导体中运动轻易度的参数

空穴顺电场方向作定向运动，形成空穴电流，空穴的漂移电流密度为：

$$J_p = qp\mu_p E \quad (1.8)$$

p --空穴的浓度； μ_p --是空穴迁移率

J_n 和 J_p 的方向是一致的，均为空穴流动的方向。

总的漂移电流密度

$$J = J_n + J_p = qn\mu_n E + qp\mu_p E = \sigma E \quad (1.10)$$

其中， $\sigma = qn\mu_n + qp\mu_p$ 是半导体的电导率，与载流子浓度、迁移率有关。

2. 扩散电流

因载流子浓度差而产生的载流子宏观定向运动形成的电流。

半导体中某处的扩散电流主要取决于该处载流子的浓度差（即浓度梯度），而与该处的浓度值无关。即扩散电流与载流子在扩散方向上的浓度梯度成正比，浓度差越大，扩散电流也越大。

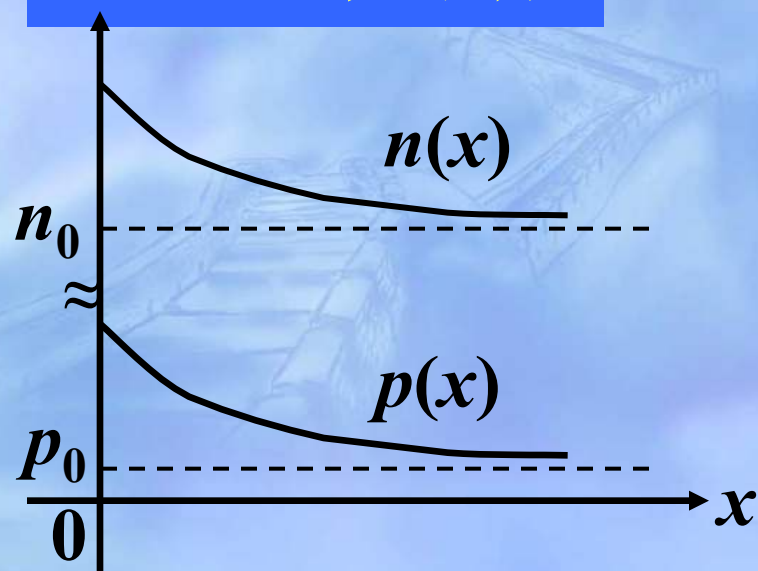
扩散电流:

$$J_d = J_{pd} + J_{nd}$$

$$J_{pd} = -qD_p \frac{dp(x)}{dx}$$

$$J_{nd} = -(-q) D_n \frac{dn(x)}{dx} = qD_n \frac{dn(x)}{dx}$$

N型硅半导体



由扩散运动产生的扩散电流是半导体区别于导体的一种特有的电流。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/518074043060007020>