



中国科学技术大学

University of Science and Technology of China

## 第二章 PN结二极管及其应用

**lugh@ustc.edu.cn**

**2016年9月13日**

# 本章主要内容

- § 2.1 半导体基础知识
- § 2.2 PN结
- § 2.3 PN结二极管
- § 2.4 二极管应用电路



中国科学技术大学

University of Science and Technology of China

# § 2.1 半导体基础知识

**lugh@ustc.edu.cn**

**2016年9月13日**

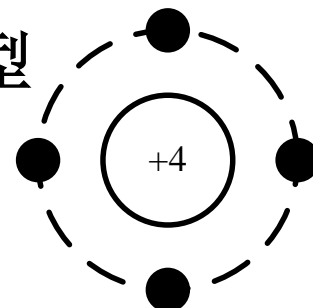
# 半导体基础知识

## ■ 价电子

- 分层围绕原子核运动的电子中，处于最外层的电子称为价电子，决定物质的导电能力

## ■ 惯性核

- 原子核和除去价电子外的所有内层电子，通常称为惯性核
- 利用惯性核和价电子可以描述原子的结构模型



# 半导体基础知识

## ■ 导体

- 价电子少且受束缚小，易变为自由电子，导电能力强

## ■ 绝缘体

- 价电子极多且受束缚大，结构稳定，难以形成自由电子，导电能力极弱

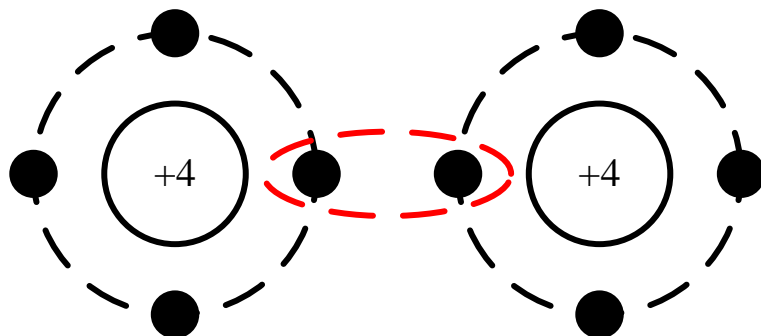
## ■ 半导体

- 价电子数目适中，且受一定束缚，导电能力介于导体和绝缘体之间

# 半导体基础知识

## ■ 共价键

- 所谓共价键指的是相邻两个原子中的价电子作为共用电子对而形成的相互作用



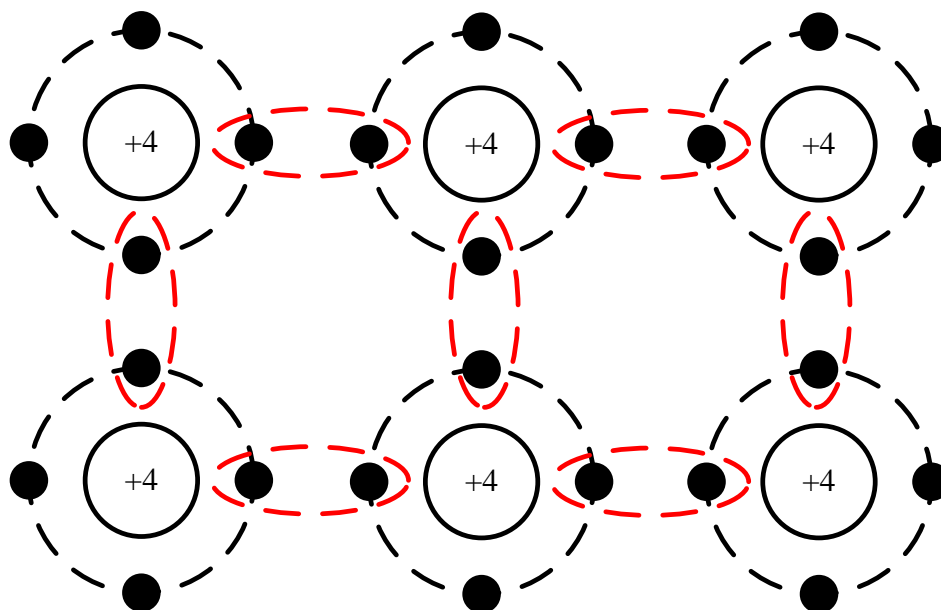
## ■ 说明

- 共价键可使得原子的最外层电子达到饱和状态，组成比较坚固和稳定的分子或晶体结构
- 形成共价键的两个原子可以相同、也可以不同

# 1. 本征半导体

## ■ 本征半导体

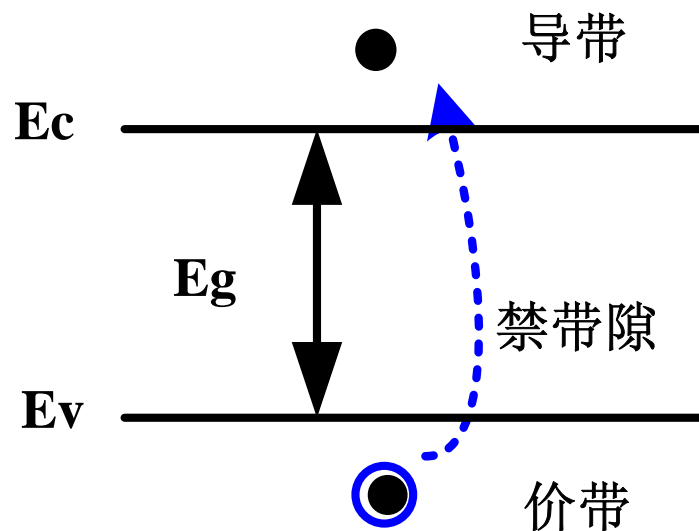
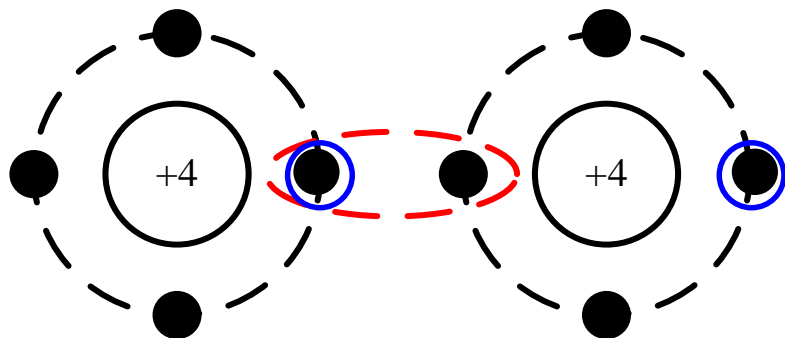
- 本征半导体指的是由单一元素原子构成，内部晶格排列完全一致的单晶体



# 1. 本征半导体

## ■ 本征激发

- 本征半导体受热激发产生自由电子和空穴的现象称为本征激发





# 1. 本征半导体

## ■ 说明

- 本征激发产生的自由电子和空穴是成对出现的
- 自由电子和空穴都可以参与导电，空穴可看做带正电荷的粒子
- 本征激发产生的自由电子和空穴的数目与温度有关，温度越高，数目越大，这是半导体有源器件温度敏感的根本所在

# 1. 本征半导体

## ■ 载流子

- 能够参与导电的粒子称为载流子，浓度较高的载流子称为多数载流子，简称多子，而浓度较低的载流子称为少数载流子，简称少子
- 载流子浓度决定半导体材料的导电能力

## ■ 复合现象

- 自由电子和空穴成对消失的现象称为复合现象

# 1. 本征半导体

## ■ 热平衡状态

- 在一定温度下，激发和复合会达到一种动态平衡，单位体积内的两种载流子的数量就不再增长，称这种动态平衡状态为热平衡状态

$$n_i = p_i = A_0 T^{\frac{3}{2}} e^{\frac{-E_g}{2KT}}$$

—— 带隙能量

波尔兹曼常数

绝对温度

与半导体材料相关参数

# 1. 本征半导体

## ■ 说明

- 本征半导体中，两种载流子浓度相同，不存在多子和少子，两种载流子共同参与导电
- 载流子浓度与温度密切相关，因此由半导体材料制成的有源器件是温度敏感器件
- 室温下，载流子浓度相当低，故本征半导体的导电能力很弱

# 1. 本征半导体

## ■ 本征半导体的导电特性总结

- 室温下，本征激发的热平衡载流子浓度比较低，导电能力弱
- 在本征半导体中，参与导电的载流子有两种，一种是自由电子，一种是空穴
- 两种载流子成对出现
- 本征半导体的载流子浓度与温度密切相关

## 2. 掺杂半导体

### ■ 掺杂半导体

- 利用掺杂工艺，将微量元素掺入本征半导体中，所得材料称为掺杂半导体

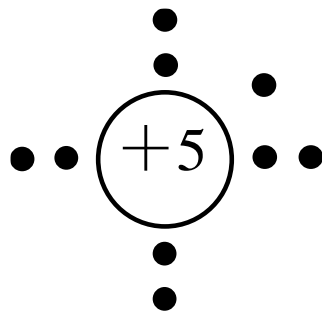
### ■ 掺杂目的

- 通过掺杂工艺，改变本征半导体中两种载流子的浓度，从而改变它们的导电能力和导电方式

## 2. 掺杂半导体

### ■ N型（电子型）半导体

- 在四价的本征半导体晶体中掺入微量的**5价元素**，可得**N型（电子型）半导体**



- 称提供自由电子的**5价元素**为**施主原子**

## 2. 掺杂半导体

### ■ 说明

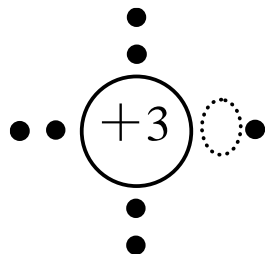
- N型半导体中，多数载流子是自由电子，主要由掺入元素产生，少数载流子是空穴，是由本征激发产生的
- N型半导体以多数载流子导电为主，即以单一载流子导电为主
- N型半导体中，多数载流子与掺杂浓度有关，而少数载流子主要与温度有关，故掺杂降低了N型半导体的温度敏感性



## 2. 掺杂半导体

### ■ P型（空穴型）半导体

- 在本征半导体中掺入微量的**3价元素**，可得**P型（空穴型）**半导体



- 称掺入的**3价元素**为受主原子

## 2. 掺杂半导体

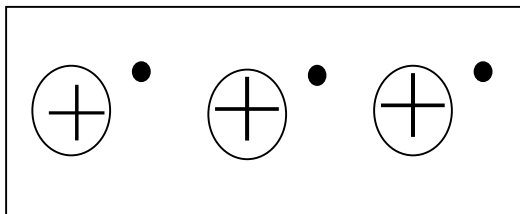
### ■ 说明

- **P型半导体**中，多数载流子是空穴，主要由掺入元素产生，少数载流子是自由电子，是由本征激发产生的
- **P型半导体**以多数载流子导电为主，空穴导电是**P型半导体**的主要导电方式
- **P型半导体**中，多数载流子与掺杂浓度有关，而少数载流子主要与温度有关，故掺杂降低了**P型半导体**的温度敏感性

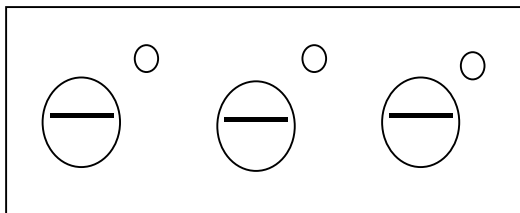
## 2. 掺杂半导体

### ■ 符号

#### □ N型



#### □ P型



## 2. 掺杂半导体

### ■ 掺杂半导体的导电特性总结

- 掺杂改变了半导体的导电方式，使其以单一载流子导电为主，出现了多数载流子和少数载流子
- 可人为控制载流子浓度，从而控制其导电能力
- 掺杂半导体中，多数载流子对温度不敏感，降低了温度敏感性
- 受本征激发产生的少子浓度的温度敏感性仍是导致半导体器件的温度特性差的主要原因

## 2. 掺杂半导体

### ■ 两种电流类型

#### □ 扩散电流

- 半导体内因载流子浓度分布不均匀，导致载流子从浓度高的地方向浓度低的地方作定向运动，称为扩散运动，相应产生的电流称为扩散电流

#### □ 漂移电流

- 在电场作用下，载流子的定向运动形成的电流称为漂移电流