

一招鲜·就业技术速成丛书

电子技术入门

张军 编著



安徽科学技术出版社

前 言

随着科学技术的发展和高新技术的广泛应用,电子技术在国民经济中起着越来越重要的作用,并深深渗透到人们的生活、工作和学习中。我们已跨入以电子技术为基础的信息化社会,电子新业务、电子新设施几乎无处不在、举目可见。掌握一定的电子技术基础知识和基本技能是电子信息时代对每个国民的要求和召唤,也是提高科学素质、搞好本职工作的需要。特别是我国加入 WTO 后,随着产业结构的调整,电子及其相关产业得到飞速发展,社会对电子产业人才的需求量逐年上升。为帮助广大电子产业从业人员尽快学习和掌握电子技术基础知识和基本技能,特组织有关专家编写《电子技术入门》一书。

本书主要介绍了半导体器件基础、基本放大电路、反馈放大电路、集成运算放大器、直流稳压电源、数字电路基础、组合和时序逻辑电路、集成数/模和模/数转换器等内容。全书结构合理、内容详尽、实用性强。在编写过程中,参考了大量的文献资料和科技文章,同时得到有关工作单位的大力支持和帮助,在此一并表示感谢。

本书适合具有高中以上文化程度的初学者阅读,也可供从事电子设备与电子装置维修的技术人员参考。

由于水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编著者

目 录

| | |
|-----------------------|----|
| 第一章 半导体器件基础 | 1 |
| 第一节 半导体基础知识 | 1 |
| 一、导体、绝缘体和半导体 | 1 |
| 二、本征半导体 | 1 |
| 三、杂质半导体 | 3 |
| 四、PN 结 | 6 |
| 第二节 半导体二极管 | 10 |
| 一、二极管的结构和类型 | 10 |
| 二、二极管的伏安特性曲线 | 11 |
| 三、二极管的等效电路 | 14 |
| 四、二极管的主要参数及其选择 | 18 |
| 第三节 特殊二极管 | 19 |
| 一、稳压二极管 | 19 |
| 二、光电二极管 | 21 |
| 三、发光二极管 | 22 |
| 第四节 晶体管 | 23 |
| 一、晶体管的结构和类型 | 23 |
| 二、电流分配及放大原理 | 24 |
| 三、晶体管的特性曲线 | 26 |
| 四、晶体管的主要参数 | 29 |
| 五、温度对晶体管性能参数的影响 | 31 |
| 六、光电三极管 | 32 |
| 第五节 场效应管 | 34 |
| 一、场效应管的结构和类型 | 35 |
| 二、场效应管的工作原理 | 36 |
| 三、场效应管的特性曲线 | 38 |

| | |
|--------------------------|----|
| 四、场效应管的符号表示及主要参数 | 40 |
| 第六节 晶闸管 | 42 |
| 一、晶闸管的基本结构 | 42 |
| 二、晶闸管的工作原理 | 43 |
| 三、晶闸管的伏安特性曲线 | 45 |
| 四、晶闸管的主要参数 | 47 |
| | |
| 第二章 基本放大电路 | 49 |
| 第一节 放大电路的基本概念 | 49 |
| 一、放大电路的基本框图 | 49 |
| 二、放大电路的主要性能指标 | 50 |
| 第二节 放大电路的静态分析 | 53 |
| 一、放大电路的静态图解分析法 | 54 |
| 二、静态工作点的计算求解法 | 57 |
| 第三节 放大电路的动态分析 | 58 |
| 一、图解分析法 | 59 |
| 二、微变等效电路法 | 63 |
| 第四节 三种组态的基本放大电路 | 69 |
| 一、共射电路 | 69 |
| 二、共集电路 | 74 |
| 三、共基电路 | 79 |
| 四、放大电路三种基本组态的比较 | 81 |
| 第五节 场效应管放大器 | 81 |
| 一、场效应管放大器偏置电路与直流分析 | 81 |
| 二、场效应管共源放大器交流分析 | 83 |
| 三、场效应管共栅放大器的分析 | 84 |
| 四、场效应管共漏放大器的分析 | 86 |
| 五、三种组态放大器的比较 | 87 |
| 第六节 多级放大电路 | 88 |
| 一、多级放大电路的级间耦合方式 | 89 |
| 二、阻容耦合放大电路的分析 | 90 |

| | |
|--------------------------|-----|
| 第七节 功率放大电路 | 91 |
| 一、功率放大电路的概念 | 92 |
| 二、互补对称功率放大电路 | 93 |
| 三、集成功率放大器 | 98 |
| 第八节 放大电路的频率特性 | 100 |
| 一、单级电容耦合放大电路的频率特性 | 101 |
| 二、频率特性的主要参数 | 103 |
| 三、多级放大电路的频率特性 | 103 |
| 第九节 放大电路的噪声 | 105 |
| 一、放大电路噪声的来源 | 105 |
| 二、噪声系数 | 107 |
| | |
| 第三章 反馈放大电路 | 108 |
| 第一节 反馈的基本概念 | 108 |
| 一、反馈的概念 | 108 |
| 二、负反馈放大器的方框图 | 109 |
| 第二节 反馈的组态及判断方法 | 111 |
| 一、串联反馈和并联反馈 | 111 |
| 二、负反馈和正反馈 | 112 |
| 三、电压反馈和电流反馈 | 113 |
| 四、交流反馈和直流反馈 | 113 |
| 第三节 四种负反馈放大电路的分析 | 115 |
| 一、电压串联负反馈放大电路 | 115 |
| 二、电压并联负反馈放大电路 | 117 |
| 三、电流串联负反馈放大电路 | 118 |
| 四、电流并联负反馈放大电路 | 119 |
| 第四节 负反馈对放大器性能的影响 | 122 |
| 一、提高放大倍数的稳定性 | 122 |
| 二、改善放大器的非线性失真 | 123 |
| 三、扩展放大器的通频带 | 124 |
| 四、负反馈对输入电阻和输出电阻的影响 | 125 |

| | |
|---------------------------|-----|
| 第四章 集成运算放大器 | 128 |
| 第一节 差动放大电路 | 128 |
| 一、集成电路的工艺特点 | 128 |
| 二、直流放大器的零点漂移问题 | 129 |
| 三、差动放大电路的工作原理 | 130 |
| 四、差动放大电路的输入输出方式 | 134 |
| 五、差动放大电路的改进 | 137 |
| 第二节 双极型集成运算放大器 | 138 |
| 一、集成运算放大器的基本组成 | 138 |
| 二、典型集成运算放大器电路分析 | 142 |
| 第三节 场效应管集成运算放大器 | 145 |
| 一、场效应管集成运算放大器 | 145 |
| 二、CMOS 集成运算放大器 | 147 |
| 第四节 集成运算放大器的主要参数 | 149 |
| 一、静态参数 | 149 |
| 二、动态参数 | 150 |
| 第五节 理想运算放大器的特性 | 151 |
| 一、理想运算放大器的条件 | 151 |
| 二、运算放大器的电压传输特性 | 151 |
| 三、理想运算放大器的特性 | 152 |
| 第六节 集成运放在信号运算电路中的应用 | 153 |
| 一、比例运算电路 | 153 |
| 二、加法运算电路 | 156 |
| 三、减法运算电路(差动运算电路) | 159 |
| 四、积分运算电路 | 160 |
| 五、微分运算电路 | 162 |
| 第七节 运算放大器在信号处理方面的应用 | 164 |
| 一、有源滤波器 | 164 |
| 二、采样保持电路 | 167 |
| 三、电压比较器 | 168 |
| 四、运算放大器分类 | 172 |

| | |
|------------------------------|------------|
| 第八节 运算放大器在信号测量方面的运用 | 172 |
| 第五章 波形产生和变换电路 | 175 |
| 第一节 正弦波振荡电路及其类型 | 175 |
| 一、正弦波振荡电路的基本原理 | 175 |
| 二、正弦波振荡电路的组成、分类和分析方法 | 178 |
| 三、RC 振荡电路 | 179 |
| 四、LC 振荡电路 | 184 |
| 五、石英晶体振荡电路 | 189 |
| 第二节 非正弦波信号发生器 | 194 |
| 一、方波发生器 | 194 |
| 二、三角波发生器 | 197 |
| 三、锯齿波发生器 | 199 |
| 四、函数发生器简介 | 201 |
| 第三节 波形变换电路 | 204 |
| 一、二极管限幅电路 | 204 |
| 二、二极管钳位电路 | 208 |
| 第六章 直流稳压电源 | 210 |
| 第一节 整流电路 | 210 |
| 一、半波整流电路 | 211 |
| 二、全波整流电路 | 212 |
| 三、桥式整流电路 | 214 |
| 四、倍压整流电路 | 214 |
| 第二节 滤波电路 | 216 |
| 一、电容滤波电路 | 216 |
| 二、其他滤波电路 | 219 |
| 第三节 直流稳压电路 | 220 |
| 一、并联型线性稳压电路 | 220 |
| 二、串联型线性稳压电路 | 221 |
| 三、线性集成稳压器 | 223 |

| | |
|-------------------------------|-----|
| 四、开关稳压电源 | 226 |
| 第七章 数字电路基础 | 232 |
| 第一节 数字电路概述 | 232 |
| 一、数字电路和模拟电路 | 232 |
| 二、数字集成电路简介 | 233 |
| 三、数字电路的工作信号 | 234 |
| 四、晶体管的开关作用 | 234 |
| 五、MOS管的开关作用简介 | 238 |
| 第二节 计数制与编码 | 238 |
| 一、常用的计数制及其相互转换规律 | 239 |
| 二、编码 | 241 |
| 第三节 逻辑代数基础 | 243 |
| 一、逻辑代数的基本公式和定律 | 243 |
| 二、逻辑函数的表示方法 | 246 |
| 三、逻辑函数的化简 | 255 |
| 第四节 逻辑门电路 | 259 |
| 一、分立元件门电路 | 259 |
| 二、TTL集成门电路 | 266 |
| 三、CMOS门电路 | 277 |
| 第八章 组合逻辑电路 | 281 |
| 第一节 组合逻辑电路的分析与设计 | 281 |
| 一、组合逻辑电路的分析 | 281 |
| 二、组合逻辑电路的设计 | 286 |
| 第二节 编码器和译码器 | 292 |
| 一、编码器 | 292 |
| 二、译码器 | 296 |
| 第三节 数据选择器 | 302 |
| 第四节 数码比较器 | 307 |
| 一、数码比较器的逻辑功能 | 307 |

| | |
|--------------------------------|-----|
| 二、比较器的应用 | 310 |
| 第九章 时序逻辑电路 | 313 |
| 第一节 触发器概述 | 313 |
| 第二节 触发器 | 314 |
| 一、基本 RS 触发器 | 314 |
| 二、时钟 RS 触发器 | 321 |
| 三、主从型 JK 触发器 | 324 |
| 四、维持-阻塞型 D 触发器 | 329 |
| 第三节 时序逻辑电路概述 | 331 |
| 第四节 计数器 | 332 |
| 一、4 位二进制同步计数器 | 333 |
| 二、异步加/减(可逆)计数器 74192 | 342 |
| 第五节 寄存器与移位寄存器 | 347 |
| 一、寄存器 | 347 |
| 二、移位寄存器 | 348 |
| 三、移位寄存器的扩展 | 353 |
| 四、应用 | 354 |
| 第十章 数字电路在脉冲电路中的应用 | 361 |
| 第一节 实际矩形波及其参数 | 361 |
| 第二节 集成 555 定时器 | 362 |
| 一、集成 555 定时器简介 | 362 |
| 二、集成定时器 CC7555 的内部逻辑电路 | 363 |
| 三、CC7555 的工作原理 | 364 |
| 第三节 施密特触发器 | 365 |
| 一、用 555 定时器构成的施密特触发器 | 366 |
| 二、集成施密特触发器 | 368 |
| 三、施密特触发器的应用 | 368 |
| 第四节 单稳态触发器 | 370 |
| 一、用 555 定时器构成的单稳态触发器 | 370 |

| | |
|--------------------------------|------------|
| 二、用施密特触发器构成的单稳态触发器 | 372 |
| 三、集成单稳态触发器 | 373 |
| 四、单稳态触发器的应用 | 375 |
| 第五节 多谐振荡器 | 377 |
| 一、用 555 定时器构成的多谐振荡器 | 377 |
| 二、用施密特触发器构成的多谐振荡器 | 381 |
| 三、石英晶体多谐振荡器 | 382 |
| | |
| 第十一章 集成数/模和模/数转换器 | 384 |
| 第一节 集成数/模转换器(DAC) | 384 |
| 一、集成 D/A 转换技术 | 385 |
| 二、DAC 的主要技术指标 | 390 |
| 三、DAC 的选用 | 392 |
| 四、典型集成 DAC 及其应用 | 393 |
| 第二节 集成模/数转换器(ADC) | 396 |
| 一、A/D 转换的一般工作过程 | 397 |
| 二、集成 A/D 转换技术 | 400 |
| 三、ADC 的主要技术指标 | 411 |
| 四、ADC 的选用 | 412 |
| 五、典型集成 ADC 及其应用 | 413 |

第一章 半导体器件基础

第一节 半导体基础知识

一、导体、绝缘体和半导体

在自然界中,有的物质很容易导电,如铜、铝、铁、银等,称为导体;有的物质不导电,如塑料、陶瓷、石英、橡胶等,称为绝缘体。此外,还有另一类物质,其导电性能介于导体和绝缘体之间,称为半导体。常用的半导体材料有硅(Si)、锗(Ge)、砷化镓(GaAs)等,其中硅应用最广。

二、本征半导体

本征半导体就是纯净且晶格方向一致的半导体晶体。常用的半导体材料硅和锗的原子序数分别为 14 和 32,相应的原子结构如图 1-1(a)所示。它们的最外层电子都是 4 个,都是 4 价元素。最外层

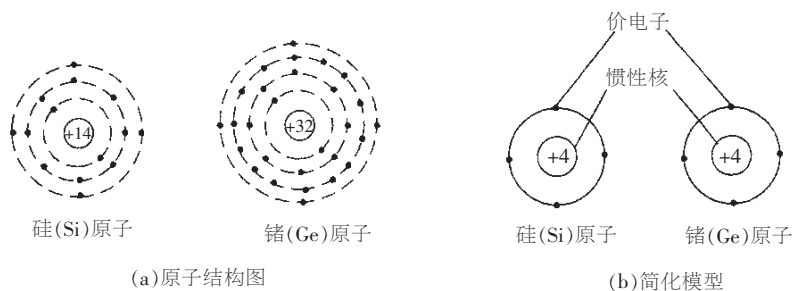


图 1-1 硅和锗原子结构模型

电子受原子核的束缚力最小,决定着物质的化学性质和导电能力,称为价电子。研究半导体导电性能最常用价电子与惯性核组成的简化模型,惯性核由原子核和内层电子组成。硅和锗的惯性核带有4个正的电子电荷量,如图1-1(b)所示。

硅或锗制成晶体后,原子之间靠得很近,价电子不仅受到自身原子核的约束,还要受到相邻原子核的吸引,使得每两个相邻原子之间共有一对价电子,从而形成了晶体中的共价键结构,如图1-2所示。

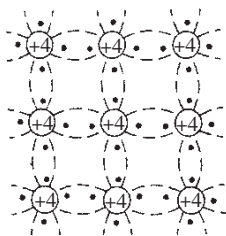


图1-2 共价键结构

共价键中的电子,由于受到其原子核的吸引,是不能在晶体中自由移动的,只有获得足够的能量后才能挣脱共价键的束缚,成为自由电子。在绝对零度($T=0\text{ K}$)和无外界激发时,硅或锗晶体中没有自由电子存在。在有外界激发的情况下,例如常温下($T=300\text{ K}$),少数价电子获得一定的能量,挣脱共

价键的束缚成为自由电子,这种现象称为本征激发。

价电子挣脱共价键的束缚成为自由电子后,就在原来共价键的位置上留下一个空位,称为空穴。在外加电场的作用下,邻近的价电子很容易填补到这个空位上,从而在这个价电子原来的位置上留下新的空位,如图1-3所示。由于带负电荷的电子依次填补空穴的作用与带正电荷的粒子作反方向运动的效果相同,所以,可以把空穴看做带正电的载流子。空穴是人们根据共价键中出现空位的移动而虚拟出来的,实际上是共价键束缚电子移动而形成的。

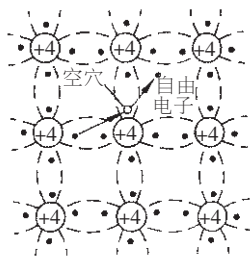


图1-3 本征激发时电子与空穴的产生和移动

因此,本征半导体中存在两种载流子——自由电子和空穴。在本征半

导体中,自由电子和空穴是成对出现的,有一个自由电子,必定有一个空穴,故又叫做电子-空穴。电子与空穴电荷量相等,极性相反。

实际上,在自由电子和空穴的产生过程中,还存在自由电子和空穴的复合,也就是自由电子在热骚动过程中和空穴相遇而释放能量,使电子-空穴对消失。

在一定温度下,本征激发和复合在某一热平衡载流子浓度值上达到动态平衡。用 n_i 和 p_i 分别表示一定温度下本征半导体中自由电子和空穴的热平衡浓度,有

$$n_i = p_i \quad (1-1)$$

理论和实验证明,它们与温度 T 的关系表示为

$$\begin{aligned} n_i(T) = p_i(T) &= A \cdot T^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{E_{g0}}{2kT}} \\ n_i(T) = p_i(T) &= A \cdot T^{\frac{3}{2}} e^{\frac{E_{g0}}{2kT}} \end{aligned} \quad (1-2)$$

式中, T 是绝对温度, k 是玻耳兹曼常数 ($8.63 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$); A 是与半导体材料、载流子有效质量以及有效能级密度有关的常量。对于硅, $A = 3.87 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \text{ K}^{-\frac{3}{2}}$; 对于锗, $A = 1.76 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \text{ K}^{-\frac{3}{2}}$ 。 E_{g0} 表示 $T=0 \text{ K}$ 时破坏共价键所需的能量,又称禁带宽度,单位为 eV(电子伏特)。对于硅, $E_{g0} = 1.21 \text{ eV}$; 对于锗, $E_{g0} = 0.785 \text{ eV}$ 。

可以看出,自由电子和空穴的浓度随温度升高而增大,因而本征半导体的导电能力相应地随温度升高而增强。半导体材料对温度的这种敏感性,既可用于制作热敏和光敏器件,又可造成半导体器件温度稳定性差。

在常温下 ($T=300 \text{ K}$), 硅半导体中本征载流子浓度 $n = p = 1.43 \times 10^{10} / \text{cm}^3$, 锗半导体中本征载流子浓度 $n_i = p_i = 2.5 \times 10^{10} / \text{cm}^3$ 。两种半导体中的载流子浓度与原子密度(约为 $10^{22} / \text{cm}^3$ 量级)相比,是微不足道的,所以这两种半导体导电性能都很弱,不能直接用来制造半导体器件。

三、杂质半导体

在本征半导体中掺入微量的三价元素(如硼或铝等)或五价元素

(如磷或砷等),其导电性能将发生明显变化。掺入的元素称为杂质,掺杂后的半导体称为杂质半导体。掺入的三价元素称为受主杂质,掺杂后的半导体称为空穴型(或称 P 型)半导体。掺入的五价元素称为施主杂质,掺杂后的半导体称为电子型(或称 N 型)半导体。

1. N 型半导体

在本征硅半导体中,掺入微量的五价元素(如磷),所形成的 N 型杂质半导体如图 1-4 所示。磷的 5 个价电子中,有 4 个与相邻的

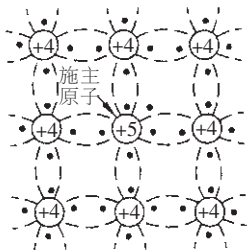


图 1-4 N 型半导体示意图

硅原子构成共价键,剩下 1 个价电子,未构成共价键,仅受磷原子核的束缚,只需获得很少的能量就能被激发成自由电子;而磷原子因在晶格上,成为不能移动的带正电荷的离子。此时自由电子的浓度将远远大于本征激发时自由电子的浓度。

同时,由于复合,空穴浓度将远远小于本征激发时空穴的浓度。结果是总的自由电子数远远大于空穴数。因此,通常将 N 型半导体中的自由电子称为多数载流子,简称多子;空穴称为少数载流子,简称少子。

下面计算一个 N 型半导体中两种载流子的浓度。 n 和 p 分别表示电子和空穴的浓度, N_d 为施主杂质的浓度。首先两种载流子必定满足热平衡条件,即质量作用定律,也就是两种热平衡载流子浓度的乘积恒等于本征载流子浓度的平方,即

$$n \cdot p = n_i^2 \quad (1-3)$$

其次,整块半导体必定满足电中性条件。假设在室温时杂质原子已全部电离,则带负电的自由电子浓度恒等于带正电的施主杂质离子和空穴浓度之和,即

$$n = p + N_d \approx N_d \quad (1-4)$$

通常满足 $N_d \gg p$ 表明自由电子的浓度近似等于施主杂质的浓度,与温度无关。空穴的浓度与施主杂质的浓度约成反比($p \approx$

n/N_d), 且随温度的升高而迅速增大。

2. P 型半导体

在本征硅半导体中, 掺入微量的三价元素(硼), 所形成的 P 型杂质半导体如图 1-5 所示。

硼原子的 3 个价电子与相邻的硅原子形成共价键时, 必然有一个共价键中缺少一个电子, 从而形成一个空穴。这个空穴不是释放价电子形成的。用 N_a 表示受主杂质的浓度, 则 P 型半导体中电子浓度 n 和空穴浓度 p 满足以下条件, 即

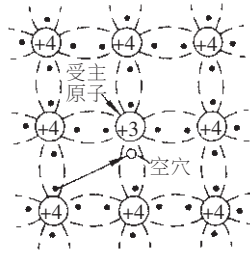


图 1-5 P 型半导体示意图

$$n \cdot p = n_i^2 \quad (1-5)$$

$$p = n + N_a \approx N_a \quad (1-6)$$

也就是说, 空穴的浓度近似等于受主杂质的浓度, 与温度无关; 电子的浓度与受主杂质的浓度成反比, 且随温度的升高而迅速增大。

【例 1-1】 一块掺有受主杂质的 P 型硅片, 掺杂浓度为 $N_a = 5 \times 10^{14} / \text{cm}^3$, 若再掺入浓度为 $N_d = 10^{15} / \text{cm}^3$ 的施主杂质, 试求在室温 $T = 300 \text{ K}$ 时的自由电子和空穴浓度。

解: 施主杂质原子释放的自由电子除了填补受主杂质原子所产生的空穴外, 还余下 $(N_d - N_a)$ 个自由电子, 因此杂质半导体便由 P 型转变为 N 型。根据电中性条件, 它的多子浓度为

$$n = N_d - N_a + p \approx N_d - N_a = 10^{15} / \text{cm}^3 - 5 \times 10^{14} / \text{cm}^3 = 5 \times 10^{14} / \text{cm}^3$$

由于温度 $T = 300 \text{ K}$ 时本征载流子浓度 $n_i = 1.43 \times 10^{10} / \text{cm}^3$, 所以根据热平衡条件, 少子空穴浓度为

$$p = \frac{n_i^2}{n} = \frac{(1.43 \times 10^{10} / \text{cm}^3)^2}{5 \times 10^{14} / \text{cm}^3} = 4.1 \times 10^5 / \text{cm}^3$$

通过以上分析可知, 通过掺杂, 可大大改变半导体内载流子的浓度。掺杂浓度决定了多子的浓度, 温度对其影响很小; 掺杂使得少子浓度大大减小, 而且当温度变化时, 由于 n_i (p_i) 的变化, 少子浓度也

会有显著的变化。

四、PN 结

1. PN 结的形成

将一块 P 型半导体和 N 型半导体紧密连接在一起,这种紧密连接不能有缝隙,是一种原子半径尺度上的紧密连接。或者在一块 N 型半导体中制作出 P 型半导体,由此来形成 PN 结。此时将在 N 型半导体和 P 型半导体的结合面上产生如下物理过程。

N 型半导体中的多子电子的浓度远大于 P 型半导体中少子电子的浓度,P 型半导体中多子空穴的浓度远大于 N 型半导体中少子空穴的浓度。于是在两种半导体的界面处会因浓度差发生载流子的扩散运动,如图 1-6(a)所示。在界面 N 区的一侧,随着电子向 P 区的扩散,只剩正离子;在界面 P 区的一侧,随着空穴向 N 区的扩散,只剩负离子。离子在晶格中是不能移动的,所以在 N 型半导体和 P 型半导体的结合面两侧出现空间电荷区。空间电荷区中的正负离子形成电场,方向从 N 区指向 P 区,称为内电场,如图 1-6(b)所示。

内电场的出现对多数载流子的扩散运动产生阻碍作用,限制了扩散运动的进一步发展。另一方面,在半导体中还存在少数载流子,内电场的出现,电场力会对少数载流子产生作用,内电场将 P 区的少子电子拉向 N 区,将 N 区的少子空穴拉向 P 区,形成少数载流子的漂移运动。漂移运动的方向正好与扩散运动的方向相反。扩散运动越强,内电场越强,对扩散运动的阻碍就越强,对漂移运动越有利。最终,两种运动达到动态平衡,空间电荷区宽度不再发生变化,这个空间电荷区称为 PN 结,如图 1-6(c)所示。因为空间电荷区中无载流子,也称之为耗尽层。PN 结形成后,电子要从 N 区到达 P 区,其势能要增加,即要跨越一个能量“高坡”,也称势垒,从该角度定义也将 PN 结称为势垒区。

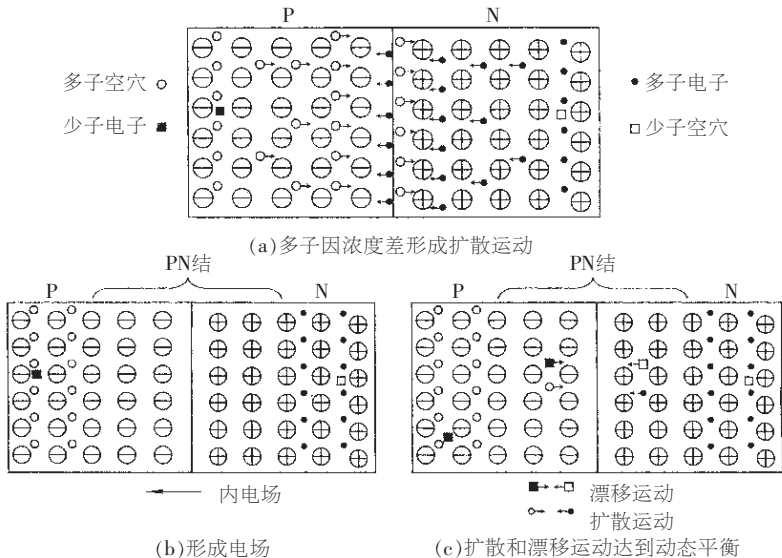
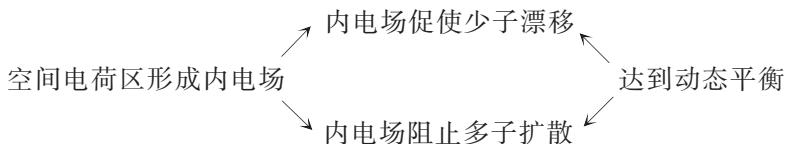


图 1-6 PN 结的形成过程 (图中只画出了杂质离子)

PN 结的形成过程可简单表示如下:

浓度差 → 多子扩散 → 杂质离子形成空间电荷区 →



2. PN 结的单向导电性

PN 结具有单向导电性,若外加电压使 P 区的电位高于 N 区,称所加电压为正向电压,或称 PN 结处于正向偏置状态,简称正偏,此时 PN 结呈低阻性,有较大的正向电流流过 PN 结;若 P 区的电位低于 N 区,称所加电压为反向电压,或称 PN 结处于反向偏置状态,简称反偏,PN 结呈高阻性,只有很小的反向电流。

(1)PN 结加正向电压时的导电情况。PN 结加正向电压时的情况如图 1-7 所示。外加的正向电压有一部分降落在 PN 结区,方向