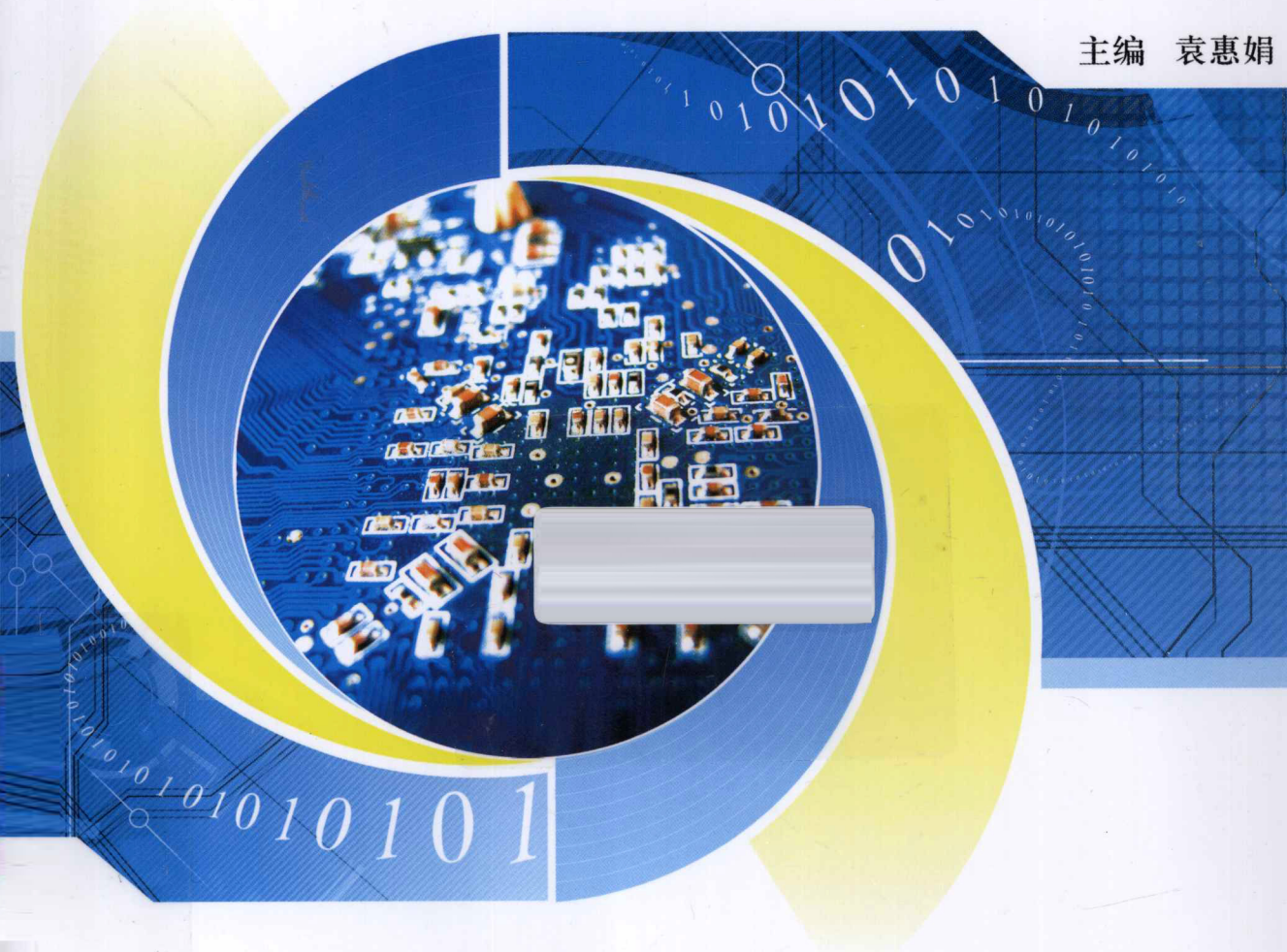




高等职业教育“十二五”规划教材

实用模拟电子技术 项目教程

主编 袁惠娟



航空工业出版社

高等职业教育“十二五”规划教材

实用模拟电子技术项目教程

主编 袁惠娟

航空工业出版社

北 京

内 容 提 要

模拟电子技术是一门实践性很强的技术应用性课程,为适应新形势下高等职业教育的教学需要,作者在总结多年课程教学实践经验的基础上,按目前“做中学、学中做”的要求,精心规划编写了这本项目式模拟电子技术教材。

全书共分六个项目,分别为认识半导体器件、制作与调试低频电压放大器、用集成运放设计波形发生器、制作与调试正弦波振荡器、制作与调试功率放大电路、制作与调试直流稳压电源,项目安排遵循由浅入深、循序渐进的教育规律。

本书内容通俗易懂、概念清晰、重点突出,以应用为目的,突出理论与实践训练相结合,注重技能和能力的培养,可作为高等职业院校电气自动化类、电子信息类、机电类、计算机类等专业的基础课教材,也可供初学者自学和社会从业人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

实用模拟电子技术项目教程 / 袁惠娟主编. --北京
: 航空工业出版社, 2013. 3
ISBN 978-7-5165-0143-6

I. ①实… II. ①袁… III. ①模拟电路—电子技术—
高等职业教育—教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第038965号

实用模拟电子技术项目教程 Shiyong Moni Dianzi Jishu Xiangmu Jiaocheng

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里14号 100029)

发行部电话: 010-64815615 010-64978486

北京忠信印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经售

2013年3月第1版

2013年3月第1次印刷

开本: 787×1092

1/16

印张: 13.5

字数: 312千字

印数: 1—3000

定价: 28.00元



当今时代,电子技术发展日新月异,新器件、新技术、新工艺不断涌现。社会对高等职业教育技能型人才培养的要求不断提高,不仅要求学生拥有扎实的专业理论功底和较高的实践动手能力,还要求学生具备独立工作和解决实际问题的能力,以及不断学习、完善自我的意识。

模拟电子技术课程虽然实践性很强,但同时也要求学生必须掌握一定的理论知识,只有这样才能正确分析和处理实践中遇到的各种问题和现象。因此,在注重实践操作的同时,不能忽视理论的学习。

本门课程的教学目的是使学生获得从事电子技术工作必须具备的基本理论、基本知识和基本技能。具体而言,就是通过学习本课程,应让学生理解和掌握基本单元电路的功能原理及应用,掌握常用电子仪器仪表的正确使用方法,学会查阅电子元器件手册,合理选用元器件,具备分析和设计简单电路的能力,以及对常用电子电路进行功能分析、测试和排除故障的能力。

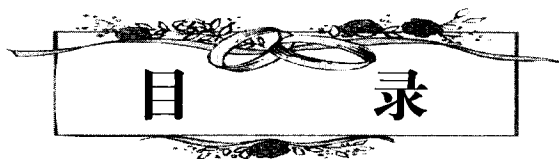
本书采用项目导向、任务驱动的教学模式,通过指导学生亲手制作一些实用电子小产品或电路,使其基本掌握重要的“知识点”,逐步培养学习兴趣,建立自信心,增强成就感;在具备了一定的基础知识以后,要求学生设计开发相应的“项目”,将所学的各个“知识点”有机地结合起来,以达到基本掌握整个“知识面”的目的。

模拟电子技术是一门实践性很强的技术应用性课程,在理解电路原理的同时,更应重视实际电路中电压、电流大小的估算及调整,掌握如何选择元器件,以便在应用时,能根据需要合理选择元器件;在实践操作时,对电路现象和测得的数据,做到心中有数,能大致判断对错,增强实际专业操作技能。

建议在完成书中的任务时,让学生在面包板上自搭电路完成相应测试,项目制作可以在通用板上完成,也可以基于印制电路板进行制作,为节省课时,可以利用业余时间完成。

本书由无锡科技职业学院袁惠娟任主编,张瑾、陈欢、张春艳、郭素萍、叶菲任副主编,并由有多年实践经验的高级工程师蔡锦元教授担任主审,蔡教授仔细审阅,提出了许多宝贵意见,在此致以诚挚的谢意。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中不妥与错误之处在所难免,恳请广大读者批评指正,提出宝贵意见,以便进一步修订和完善。本书配有丰富的教学资源包,读者可以登录我们的网站(<http://www.bjjqe.com>)下载。



目 录

项目一 认识半导体器件	1
任务一 认识半导体二极管	1
任务导入	1
任务描述	1
任务实施（一） 测试二极管的伏安特性	2
知识链接	3
一、半导体基础知识	3
二、半导体二极管	9
任务实施（二） 判别二极管的好坏与极性	12
知识拓展	13
一、二极管的应用	13
二、特殊二极管	15
任务实施（三） 测试光耦器件的特性	18
任务二 认识半导体三极管	19
任务导入	19
任务描述	19
任务实施（一） 测试三极管各极电流的分配关系	20
知识链接	21
一、三极管的放大原理	22
二、三极管的特性曲线	23
三、三极管的主要参数	26
四、温度对三极管参数的影响	29
任务实施（二） 判别三极管的好坏、结构类型与引脚极性	29
知识拓展	31
三极管在电子技术中的应用	31
项目小结	31
思考与练习	32



项目二 制作与调试低频电压放大器	35
项目制作 认识与制作读诵助记器	35
要求与指标	35
制作与调试	35
一、认识电路及工作原理	35
二、测试主要参数	36
任务一 观察静态工作点对输出波形的影响	36
任务导入	36
任务描述	37
任务实施 观察基极电阻的大小对输出波形的影响	37
知识链接	38
一、放大的概念及放大电路的组成原则	38
二、基本共射极放大电路	39
三、放大电路的主要性能指标	42
四、放大电路的分析方法	44
知识拓展	51
一、克服波形失真的方法	51
二、电路分析方法的比较	51
任务二 设置稳定静态工作点的电路	52
任务导入	52
任务描述	52
任务实施 测试静态工作点稳定偏置放大电路的参数	52
知识链接	55
一、温度对静态工作点的影响	55
二、稳定静态工作点电路	56
知识拓展	60
共基极放大电路组成与分析	60
任务三 调试与分析共集电极放大电路	61
任务导入	61
任务描述	62
任务实施 测试共集电极放大电路参数	62
知识链接	64
一、共集电极放大电路的组成	64
二、共集电极放大电路分析	64

三、共集电极放大电路的应用	66
知识拓展	67
一、三种基本放大电路的比较	67
二、多级放大电路	68
项目小结	74
思考与练习	75
项目三 用集成运放设计波形发生器	81
项目制作 设计与制作波形发生器	81
要求与指标	81
制作与调试	82
任务一 观察负反馈对放大电路性能的影响	83
任务导入	83
任务描述	83
任务实施 测试与分析负反馈放大电路	83
知识链接	85
一、集成运放概述	85
二、反馈的基本概念和判断方法	88
三、负反馈对放大器性能的影响	91
知识拓展	94
自激振荡及其消除方法	94
任务二 认识与调试集成运放电路	95
任务导入	95
任务描述	95
任务实施（一） 测试比例运算电路	95
知识链接	96
一、差动放大电路	96
二、集成运放的线性应用	99
三、集成运放的非线性应用	107
任务实施（二） 测试积分、微分运算电路	112
知识拓展	113
一、有源滤波电路	113
二、集成运放应用中的一些实际问题	116
项目小结	117
思考与练习	118



项目四 制作与调试正弦波振荡器	121
项目制作 设计与制作门铃	121
要求与指标	121
制作与调试	121
任务一 制作与调试 RC 正弦波振荡器	123
任务导入	123
任务描述	123
任务实施 设计与测试 RC 正弦波振荡器	123
知识链接	125
一、正弦波振荡器概述	125
二、 RC 正弦波振荡器	126
知识拓展	130
正弦波振荡电路电源使用的注意事项	130
任务二 制作与调试 LC 正弦波振荡器	130
任务导入	130
任务描述	130
任务实施 测试变压器反馈式 LC 振荡器	130
知识链接	132
一、 LC 并联回路选频特性	132
二、变压器反馈式 LC 振荡电路	133
三、电感反馈式 LC 正弦波振荡电路	134
四、电容反馈式 LC 正弦波振荡电路	136
知识拓展	137
一、三点式振荡器相位平衡条件的分析	137
二、振荡器的稳幅方式	139
任务三 制作与调试石英晶体振荡电路	140
任务导入	140
任务描述	140
任务实施 认识与测试时钟电路	140
知识链接	141
一、石英晶体的谐振特性与等效电路	141
二、石英晶体振荡器	144
知识拓展	145
石英晶体振荡器应用电路	145



项目小结	146
思考与练习	146
项目五 制作与调试功率放大电路	150
项目制作 认识与制作扩音器	150
要求与指标	150
制作与调试	150
任务一 认识与调试互补对称功率放大器	152
任务导入	152
任务描述	153
任务实施（一） 测试基本（乙类）互补对称电路	153
知识链接	154
一、功率放大电路的特点及工作状态	154
二、几种常见互补对称功率放大电路	156
任务实施（二） 消除乙类互补对称功放交越失真的测试	165
任务二 认识与调试集成功率放大器	166
任务导入	166
任务描述	166
任务实施 利用集成功放 LM386 制作喊话器	166
知识链接	167
一、集成功率放大器概述	167
二、几种集成功放应用简介	167
知识拓展	171
场效应管	171
项目小结	172
思考与练习	172
项目六 制作与调试直流稳压电源	177
项目制作一 制作与调试串联型稳压电源	177
要求与指标	177
制作与调试	178
项目制作二 制作与调试开关稳压电源	179
要求与指标	179
制作与调试	179
项目任务 认识与调试直流稳压电源	181
任务导入	181



任务描述	181
任务实施 测试三端集成稳压电源	181
知识链接	182
一、直流电源概述	182
二、整流电路	185
三、滤波电路	189
四、直流稳压电路	193
知识拓展	198
开关稳压电源	198
项目小结	202
思考与练习	203
参考文献	206

项目一 认识半导体器件

【知识目标】

- ◆ 掌握二极管的结构和伏安特性。
- ◆ 了解稳压二极管、光电二极管、发光二极管、变容二极管等的特性及应用。
- ◆ 掌握三极管的结构及其工作在放大状态的条件。
- ◆ 理解半导体三极管的伏安特性及各工作状态的特点。

【技能目标】

- ◆ 能正确测试各种二极管的外特性。
- ◆ 能根据需要查阅半导体器件手册，合理选用二极管。
- ◆ 能分析二极管应用电路的工作原理，正确理解电路功能。
- ◆ 能根据功能要求，设计简单二极管的应用电路，并对所设计的电路进行安装、检测和调试。
- ◆ 能用万用表判别三极管的好坏、类型和管脚极性。
- ◆ 能正确测试半导体三极管的外特性；根据记录的测量结果，能对三极管的特性作出准确描述。
- ◆ 能根据需要查阅半导体器件手册，合理选用三极管。

任务一 认识半导体二极管

任务导入

二极管在实际电路中已被广泛应用，如电视机、洗衣机等电器设备接通电源后，看到指示灯亮，用的大多都是发光二极管；手机、录音机等充电器大都用到整流二极管等。掌握二极管的特性，是电类专业学生必备的基本技能。

任务描述

- (1) 测试普通（开关）二极管的外特性，记录结果并进行特性描述。



- (2) 用万用表判别二极管的好坏及其管脚极性。
- (3) 测试光耦器件的外特性，记录结果并进行特性描述。

任务实施（一） 测试二极管的伏安特性

任务要求

按测试顺序要求完成所有测试内容，记录测试数据，并将结果填入相应的表格中，并绘制出相应的特性曲线。

测试环境

稳压电源一台，万用表一只，面包板一块，元器件、导线若干。

测试电路

测试二极管伏安特性的电路如图 1-1 所示。其中，二极管 VD 可选用 1N4007、1N4001 或 1N4148 等，电阻 $R=1\text{k}\Omega$ 。

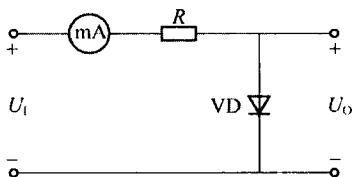


图 1-1 测试二极管伏安特性的电路

测试步骤

- (1) 按照图 1-1 在面包板上接好电路。
 - (2) 由直流稳压电源输出 10 V 电压接入输入端，即 $U_i = +10\text{V}$ （此时二极管两端所加的电压为正向电压），测量输出电压 U_o 和电流 I 的大小，同时计算二极管的电阻 R_{VD} ，并记录于表 1-1 中。
 - (3) 同步骤 (2)，按表 1-1 中的 U_i 数值改变直流稳压电源的输出电压，并将测量和计算结果 U_o 、 I 、 R_{VD} 填入表中。
 - (4) 保持步骤 (2)、(3)，将二极管 VD 反接（此时二极管所加的电压为反向电压），测量输出电压 U_o 、电流 I ，计算反向电阻 R_{VD} ，并记录于表 1-1 中。
 - (5) 根据表 1-1 中的数据在图 1-2 中绘制出二极管的伏安特性曲线。
- 结论：**当二极管加正向电压时，二极管两端的电压_____（较大或较小），正向电阻_____（大或小）；加反向电压时，反向电流_____（很大或很小），反向电阻_____（大或小）。

表 1-1 二极管的特性测试结果

正向	U_i/V	10	8	6	4	2	1.5	1	0.8	0.5	0.2
	U_o/V										
	I/mA										
	计算 $R_{VD}/k\Omega$										
反向	U_i/V	20	15	12	10	8	6	4	2	1	0
	U_o/V										
	I/mA										
	计算 $R_{VD}/k\Omega$										

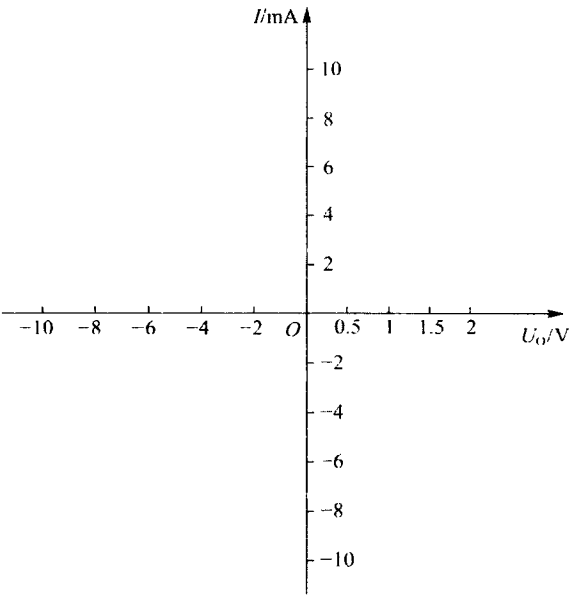


图 1-2 二极管的伏安特性曲线

知识链接

一、半导体基础知识

自然界中的物质依其导电能力的强弱通常可分为以下三大类：

➤ **导体：**指很容易导电的物质。金属一般都是导体。



- **绝缘体**：指几乎不导电的物质。如橡皮、陶瓷、塑料、石英等。
- **半导体**：指导电特性处于导体和绝缘体之间的物质。如锗、硅、砷化镓和一些硫化物、氧化物等。

半导体之所以引起人们的注意，得到广泛的应用，并不是由于它的导电特性处于导体和绝缘体之间，而是在于半导体的导电机理不同于其他物质，主要表现在：

- **热敏性**：半导体对温度很敏感。当半导体的受热温度升高后，其导电性能急剧增强。利用这一特性可制成自动控制中的热敏电阻，它可以感知万分之一摄氏度的温度变化。
- **光敏性**：半导体对光照很敏感。当半导体受到光照后，其导电性能急剧增强。自动控制中的光电二极管、光电三极管和光敏电阻等，就是利用这一特性制成的。
- **杂敏性**：半导体对杂质很敏感。在纯净的半导体中，掺入微量的其他适当的元素，其导电性能会急剧增强，掺入的元素称“杂质”。

半导体的以上这些特性，是由半导体的特殊结构决定的。

（一）本征半导体

导体一般为低价元素，如铜、铁、铝等金属，它们的最外层电子很容易摆脱原子核束缚而形成自由电子，在外电场作用下，这些自由电子将逆着电场方向作定向运动，形成较大的电流，因此导体的导电能力强。

绝缘体最外层是 8 电子的稳定结构，如云母、橡胶等，其原子核对最外层电子的束缚力很大，常温下能形成自由电子的数目很少，因此导电能力极差。

半导体的导电性能同样与其原子结构有关。制造半导体器件的材料都要制成单晶体，如单晶硅或单晶锗，它们是由原子按一定的规则整齐地排列（空间点阵）而成的，由于这种半导体非常纯净，几乎不含杂质，结构又完整，所以称为**本征半导体**。

硅和锗的原子结构有一个共同点，其原子的最外层电子数都是 4，即都是四价元素，在硅和锗晶体中，原子按四角形系统组成晶体点阵，每个原子都处在正四面体的中心，而四个其他原子位于四面体的顶点，如图 1-3（a）所示，可用图 1-3（b）表示硅或锗的简化原子结构模型。

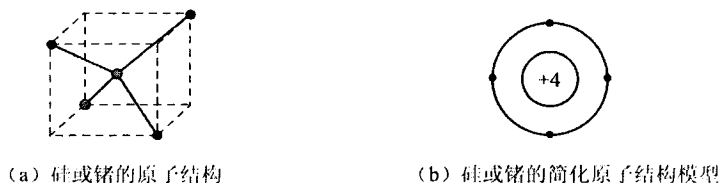


图 1-3 硅和锗的原子结构

硅或锗制成单晶体后，由于晶体中原子之间距离很近，价电子不仅受到其所属原子核



的作用，还受到相邻原子的原子核的吸引，即一个价电子为相邻的两个原子核所共有，如图 1-4 所示，这样，相邻原子之间通过共有价电子的形式而紧密结合起来，即形成“共价键”结构。

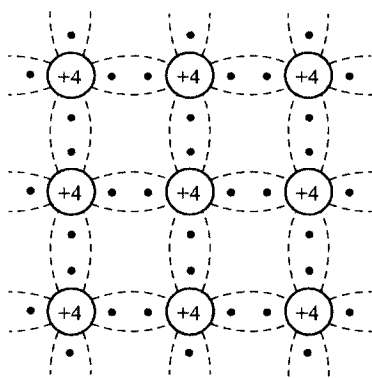


图 1-4 硅或锗晶体的共价键结构示意图

本征半导体晶体原子间的共价键具有很强的结合力，在绝对零度（ $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）时，价电子无法挣脱共价键的束缚，不能自由移动，因此，半导体不导电，相当于绝缘体。共价键内的价电子又叫**束缚电子**。

当温度上升或受光照时，价电子以热运动的形式不断从外界获得一定的能量，少数价电子因获得的能量较大，而挣脱共价键的束缚，成为“自由电子”，同时在原来的共价键的相应位置上留下一个空位，称为“空穴”，如图 1-5 中 A 处为空穴，B 处为自由电子。显然，自由电子和空穴是成对出现的，所以称它们为**电子—空穴对**。

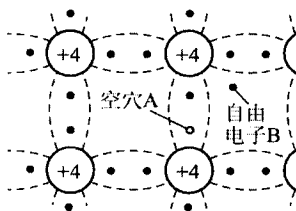


图 1-5 本征激发产生电子—空穴对

在电场作用下，自由电子和空穴能定向运动产生电流，它们统称为**载流子**。载流子的数量与温度有关。常温下，本征半导体中的载流子数量很少，所以其导电性接近于绝缘体，但在光或热的作用下，电子—空穴对的数量将增加，本征半导体的导电能力急剧上升。

（二）杂质半导体

掺入杂质后的半导体称为**杂质半导体**，它是制造半导体器件的基础材料，人们用控制掺杂的方法，人为地精确控制半导体的导电能力，制造出各种不同性能、不同用途的半导体器件。根据掺入杂质的不同，杂质半导体分为 N 型半导体和 P 型半导体两大类。



1. N 型半导体

在本征半导体中掺入微量的五价元素，如磷、砷、锑等。组成共价键时，晶体点阵中的某些半导体原子被杂质（例如磷 P）取代，如图 1-6 所示，磷原子的最外层有 5 个价电子，其中 4 个与相邻的半导体原子形成共价键，必定多出一个电子，这个多余的价电子处于共价键之外，束缚力较弱，很容易成为自由电子，且掺入的杂质越多，所产生的自由电子越多。

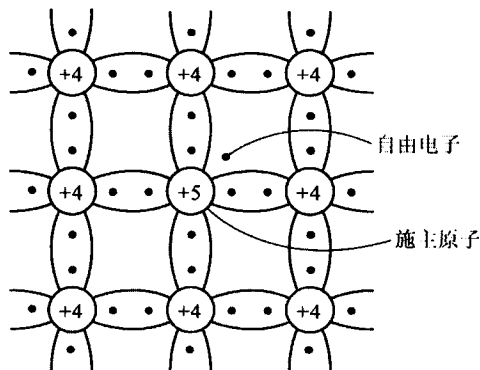


图 1-6 N 型半导体的共价键结构

显然，这种杂质半导体中的自由电子浓度远大于空穴浓度，所以称自由电子为多数载流子（简称多子），称空穴为少数载流子（简称少子）。因为这种半导体的导电能力主要依靠自由电子，自由电子带负电，所以又称其为 N 型半导体或电子型半导体。磷原子失去一个电子后，成了不能移动的带正电的离子，每个磷原子给出一个电子，所以称五价元素的磷为施主原子。这种掺杂所产生的自由电子浓度远大于本征激发所产生的电子—空穴对的浓度，所以杂质半导体的导电性能远超过本征半导体。

2. P 型半导体

在本征半导体中掺入微量的三价元素，如铝、硼、镓等，晶体点阵中的某些半导体原子被杂质（例如硼 B）取代，如图 1-7 所示，硼原子的最外层有三个价电子，与四价原子组成共价键时，因缺少一个电子而产生一个空穴，为了达到 8 电子稳定结构，这个空穴很容易吸引邻近的束缚电子来填补，使得硼原子成为不能移动的带负电的离子，由于硼原子接受电子，所以称为受主原子。在这种杂质半导体中，空穴浓度远大于自由电子浓度，空穴为多子，自由电子为少子。因为这种半导体的导电主要依靠空穴，而空穴带正电荷，所以称其为 P 型半导体或空穴型半导体。

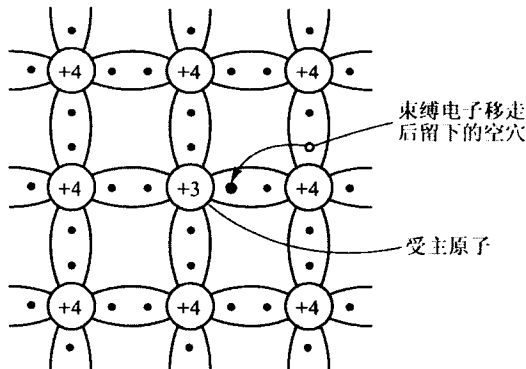


图 1-7 P 型半导体的共价键结构



N 型、P 型半导体总体上均是电中性的，其内部均有两种载流子存在，其中多子的浓度取决于所掺杂质的浓度，近似认为多子与杂质浓度相等，少子的浓度与温度或光照的影响密切相关。

杂质半导体多子和少子的移动都能形成电流。但由于数量的关系，起导电作用的主要是多子。为突出杂质半导体的主要特征，在画 P 型或 N 型半导体结构示意图时，常常只画成对出现的多子和离子，如图 1-8、1-9 所示。

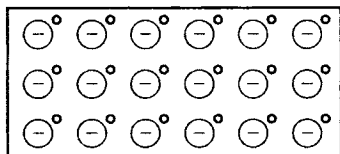


图 1-8 P 型半导体结构示意图

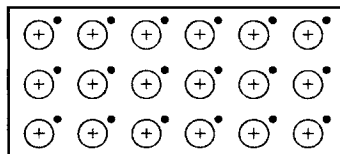


图 1-9 N 型半导体结构示意图

(三) PN 结

半导体掺杂是提高半导体导电能力的最有效方法，但是，仅仅提高导电能力不是最终目的，杂质半导体的微妙之处在于：将 P 型半导体和 N 型半导体以不同形式结合起来，可以构造出各种类型的半导体器件。这里着重介绍 PN 结，以及由它构成的各种二极管的特性和应用。

1. PN 结的形成

所谓 PN 结，就是 P 型半导体和 N 型半导体的交界面处所形成的一个特殊薄层。如果在一块纯净的半导体中，通过特殊的工艺，在它的一边掺入微量的三价元素硼，形成 P 型半导体；在它的另一边掺入五价元素磷，形成 N 型半导体。由于在 P 区里有大量的空穴，只有极少量的自由电子；同样，在 N 区里有大量的自由电子，只有极少量的空穴。这种浓度差异，导致载流子就要从浓度大的地方向浓度小的地方扩散，如图 1-10 (a) 所示。

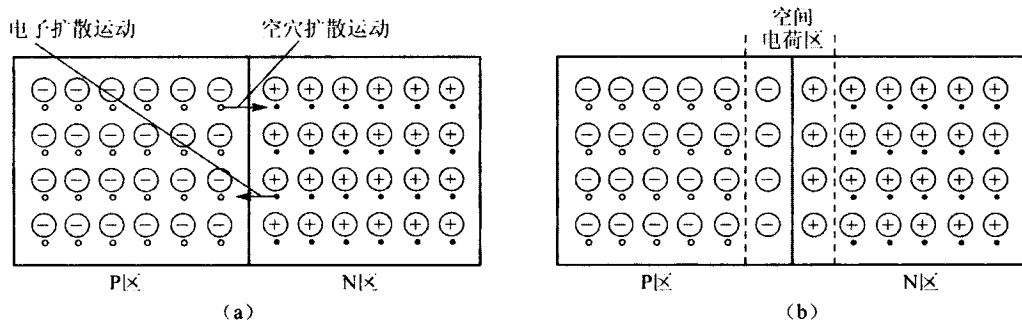


图 1-10 PN 结的形成

在扩散时，首先是交界面附近的空穴与自由电子碰撞而消失（这一现象称为复合），结果在交界面的 P 区一侧的空穴减少，出现一层带负电离子区。同理，靠近 N 区一侧出现一层带正电离子区。随着扩散运动的进行，在交界面两侧形成了一个空间电荷区，即所