



全国电力职业教育规划教材
职业教育电力技术类专业培训用书

电子技术

羿宗琪 主 编
陈丽茹 张 杰 焦学辉 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



全国电力职业教育规划教材
职业教育电力技术类专业培训用书

电子技术

主 编 羿宗琪
副主编 陈丽茹 张 杰 焦学辉
编 写 滕 非
主 审 高会生



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为全国电力职业教育规划教材。

全书分为两篇共 11 章。第 1 篇为模拟电子技术基础, 主要内容包括半导体二极管及其应用电路、半导体三极管及其基本放大电路、集成运算放大器、直流稳压电源、正弦波振荡电路; 第 2 篇为数字电子技术基础, 主要内容包括数字电路基础、组合逻辑电路基础、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与变换、D/A 转换器与 A/D 转换器、半导体存储器和可编程逻辑器件。全书实用性和应用性较强, 每章后附有本章小结和习题。

本书可供高职高专电力工程类专业的师生阅读, 也可供从事电子技术工作的工程技术人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

电子技术/羿宗琪主编. —北京: 中国电力出版社, 2009

全国电力职业教育规划教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 9690 - 3

I. 电… II. 羿… III. 电子技术—职业教育—教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 201509 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 12 月第一版 2009 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15 印张 352 千字

定价 24.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

序

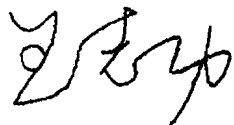
进入 21 世纪,“985 工程”和“211 工程”的实施,推动了高水平大学和重点学科的建设,在高校中汇聚了一大批高层次人才,产生了一批具有国际先进水平的学术和科学技术研究成果。然而高校规模的超高速扩大,导致不少学校的专业设置、师资队伍、教材资源和教学实验条件不能迅速适应发展需要,教学质量问题日益突现。高校教材,作为教学改革成果和教学经验的结晶,其质量问题自然备受关注。

需要指出的是,很多高等学校教材经过多年的教学实践检验,已经成为广泛使用的精品教材。同时,我们也应该看到,现用的教材中有不少内容陈旧、未能反映当前科技发展的最新成果,不能满足按新的专业目录修订的教学计划和课程设置的需要。这就要求我们的高等教育教材建设必须与时俱进、开拓创新,在内容质量和出版质量上均有新的突破。

根据教育部教高司 2003 年 8 月 28 日发出的 [2003] 141 号文件,在教育部组织下,历经数年,2006~2010 年教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会按照教育部的要求,致力于制定专业规范或教学质量标准,组织师资培训、教学研讨和信息交流等工作,并且重视与出版社合作,编著、审核和推荐高水平电子电气基础课程教材。

“电工学”、“电路”、“信号系统”、“电子线路”、“电磁场”、“自动控制原理”、“电机学”等电子电气基础课程是许多理工院校的先修课程,也是电子科学与技术、电气工程及其自动化等专业学科的基石,在科学研究领域和产业应用中发挥着极其重要的作用。此类教材的编写,应提倡新颖的立意,“适用、先进”的编写原则和“通俗、精炼”的编写风格,以百花齐放的形式和较高的编写质量来满足不同学科、不同层次的师生的教学要求。

本电子电气基础课程教材编审委员会即是基于此目的而设立的,希望能够鼓励更多的优秀教师参与其中,为高质量教材的编写和出版贡献出聪明才智和知识经验。



2009 年 10 月于东南大学

电子电气基础课程教材编审委员会

主任委员 王志功 东南大学

副主任委员 张晓林 北京航空航天大学 胡敏强 东南大学
王泽忠 华北电力大学 戈宝军 哈尔滨理工大学
马西奎 西安交通大学 刘新元 北京大学
孟 桥 东南大学

秘书长 李兆春 中国电力出版社

委 员 (按姓氏笔画排列)

于守谦	北京航空航天大学	公茂法	山东科技大学
王 殊	华中科技大学	王万良	浙江工业大学
王小海	浙江大学	王建华	西安交通大学
王松林	西安电子科技大学	邓建国	西安交通大学
付家才	黑龙江科技学院	刘润华	中国石油大学(华东)
刘耀年	东北电力大学	朱承高	上海交通大学
宋建成	太原理工大学	张正平	贵州大学
张彦斌	西安交通大学	李 承	华中科技大学
李 青	中国计量学院	李 琳	华北电力大学
李守成	北京交通大学	李国丽	合肥工业大学
李哲英	北京联合大学	李晓明	太原理工大学
李晶皎	东北大学	杨 平	上海电力学院
陈后金	北京交通大学	陈庆伟	南京理工大学
陈意军	湖南工程学院	陈新华	山东科技大学
宗 伟	华北电力大学	范蟠果	西北工业大学
段哲民	西北工业大学	段渝龙	贵州大学

胡虔生	东南大学	赵旦峰	哈尔滨工程大学
赵荣祥	浙江大学	唐庆玉	清华大学
徐淑华	青岛大学	袁建生	清华大学
郭陈江	西北工业大学	高会生	华北电力大学
崔翔	华北电力大学	梁贵书	华北电力大学
曾孝平	重庆大学	曾建唐	北京石油化工学院
韩璞	华北电力大学	韩学军	东北电力大学
雷银照	北京航空航天大学		

前言

电子技术是电力工程类专业重要的技术基础课。本书根据高职高专教学目标的要求，在总结高职教学经验与教改实践的基础上，按理论够用、应用为主的思路而编写。本书大量删减了集成电路的内部结构、电路组成以及与电子技术发展不相适应的内容，以增强教材的应用性和实用性，目的在于培养学生的逻辑思维能力、设计能力和实际动手能力。另外，每章后都配有本章小结和习题，便于学生更好地掌握所学知识。同时，本书也可供从事电子技术工作的工程技术人员参考使用。

本书由羿宗琪主编，并负责全书的统稿和定稿工作；陈丽茹、张杰、焦学辉为副主编；由高会生主审。第1、6、7、11章由羿宗琪编写，第2、3章由陈丽茹编写，第8章由张杰编写，第4、5章由焦学辉编写，第9、10章由滕菲编写。

由于编写水平有限，书中难免有疏漏和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编者

目 录

序 前言

第 1 篇 模拟电子技术基础

第 1 章 半导体二极管及其应用电路	1
1.1 半导体的基本知识	1
1.1.1 本征半导体	1
1.1.2 杂质半导体	2
1.1.3 PN 结	3
1.2 半导体二极管	4
1.2.1 二极管的结构和符号	4
1.2.2 二极管的伏安特性	5
1.2.3 二极管的主要参数	7
1.3 半导体二极管的应用电路	8
1.3.1 限幅电路	8
1.3.2 整流电路	9
1.4 特殊二极管	12
1.4.1 稳压二极管	12
1.4.2 发光二极管	14
1.4.3 光电二极管	15
1.4.4 变容二极管	16
1.4.5 SMT 与微型二极管	16
本章小结	16
习题	17
第 2 章 半导体三极管及其基本放大电路	20
2.1 半导体三极管	20
2.1.1 三极管的结构、符号及类型	20
2.1.2 三极管的偏置和基本连接方式	21
2.1.3 三极管的电流分配和放大作用	23
2.1.4 三极管的伏安特性	24
2.1.5 三极管的主要参数	25
2.1.6 温度对三极管特性的影响	26

2.1.7	三极管的选择原则	26
2.2	共发射极放大电路	27
2.2.1	单级共发射极基本放大电路(固定偏置电路)的组成	27
2.2.2	放大电路的静态工作点及放大原理	29
2.3	放大电路等效电路分析法	30
2.3.1	三极管的微变等效电路	30
2.3.2	放大电路的微变等效电路	30
2.3.3	放大电路动态性能指标计算	31
2.4	静态工作点稳定的电路	32
2.4.1	电路组成及稳定工作点的原理	32
2.4.2	电路的静态工作点和动态指标计算	33
2.4.3	工程应用	35
2.5	共集电极放大电路	35
2.5.1	电路组成	35
2.5.2	静态工作点	35
2.5.3	动态指标	36
2.5.4	电路特点	36
2.6	多级放大电路	36
2.6.1	多级放大电路的组成	36
2.6.2	多级放大电路的耦合形式	37
2.6.3	多级放大电路的动态分析	38
2.7	放大电路的频率特性	40
2.7.1	频率特性的概念	40
2.7.2	频率特性的定性分析及其指标	40
2.7.3	三极管的频率参数	43
2.8	差动放大电路	44
2.8.1	基本差动放大电路	44
2.8.2	实际差动放大电路	45
2.9	功率放大器	46
2.9.1	功率放大器的特点、要求及分类	46
2.9.2	乙类基本互补对称功率放大器	48
2.9.3	单电源互补对称功率放大器	50
2.9.4	甲乙类互补对称功率放大器	51
2.9.5	集成功率放大器	53
	本章小结	55
	习题	55
第3章	集成运算放大器	61
3.1	集成运算放大器简介	61
3.1.1	集成运算放大器的符号及组成	61

3.1.2	集成运算放大器的定义和特性	62
3.2	负反馈放大电路	64
3.2.1	反馈的概念	64
3.2.2	基本关系式	64
3.2.3	反馈的分类	65
3.2.4	反馈的判别	65
3.2.5	四种类型的负反馈组态	67
3.3	信号运算电路	70
3.3.1	比例运算电路	70
3.3.2	加、减法运算电路	71
3.3.3	微分与积分电路	73
3.4	信号处理及发生电路	74
3.4.1	滤波器	74
3.4.2	电压比较器	77
3.4.3	方波、矩形波发生器	80
3.5	集成运算放大器在使用中需注意的问题	83
3.5.1	集成运放的调零与消振	83
3.5.2	保护措施	84
3.5.3	提高输出功率	85
3.5.4	集成运算放大器的使用常识	85
	本章小结	85
	习题	86
第4章	直流稳压电源	90
4.1	概述	90
4.2	滤波电路	90
4.2.1	电容滤波电路	91
4.2.2	电感滤波电路	93
4.2.3	π 型滤波电路	93
4.3	稳压电路	94
4.3.1	稳压电路的主要指标	94
4.3.2	硅稳压二极管稳压电路	94
4.3.3	串联型稳压电路	96
4.4	集成稳压器	98
4.4.1	三端固定电压式集成稳压器	98
4.4.2	三端可调式集成稳压器	100
4.5	开关电源	102
4.5.1	开关型稳压电源的特点与分类	102
4.5.2	开关稳压电源的基本工作原理	103
4.5.3	集成开关稳压电源 CW4960/4962 及其应用	104

4.5.4 单片开关电源集成电路及其应用	105
本章小结	105
习题	106
第5章 正弦波振荡电路	108
5.1 正弦波振荡电路的基本原理	108
5.1.1 产生振荡的条件	108
5.1.2 振荡的建立与稳定	109
5.1.3 正弦波振荡器的组成和分析方法	109
5.2 LC正弦波振荡电路	110
5.2.1 LC并联谐振回路的主要特性	110
5.2.2 变压器反馈式正弦波振荡电路	110
5.2.3 三点式正弦波振荡电路	111
5.3 RC正弦波振荡电路	113
5.3.1 RC桥式正弦波振荡电路的组成	113
5.3.2 RC选频网络的特性	113
5.3.3 RC桥式正弦波振荡电路的振荡频率和起振条件	114
5.3.4 RC移相式振荡电路	115
5.4 石英晶体振荡电路	116
5.4.1 石英晶体的基本特性	116
5.4.2 石英晶体振荡电路	117
本章小结	119
习题	119

第2篇 数字电子技术基础

第6章 数字电路基础	121
6.1 数字电路概述	121
6.1.1 数字信号和数字电路	121
6.1.2 数字电路的特点	121
6.1.3 数字电路的分类	121
6.1.4 脉冲与脉冲参数	122
6.1.5 半导体二极管和三极管的开关特性	122
6.2 数制与编码	123
6.2.1 数制	123
6.2.2 数制间的转换	124
6.2.3 BCD编码	126
6.3 逻辑代数	127
6.3.1 基本逻辑运算及门电路符号	127
6.3.2 复合逻辑运算及门电路符号	129

6.3.3	常用逻辑门电路	131
6.3.4	逻辑代数的运算规律	133
6.4	逻辑函数的描述	135
6.4.1	真值表描述	135
6.4.2	逻辑函数表达式描述	136
6.4.3	逻辑图描述	137
6.5	逻辑函数的化简	138
6.5.1	逻辑函数化简的意义	138
6.5.2	代数法化简	138
6.5.3	卡诺图化简	139
	本章小结	142
	习题	143
第 7 章	组合逻辑电路基础	145
7.1	组合逻辑电路的分析	145
7.1.1	组合逻辑电路的概念与特点	145
7.1.2	组合逻辑电路的分析	145
7.2	组合逻辑电路的设计	146
7.3	常用组合逻辑模块	149
7.3.1	编码器	149
7.3.2	译码器	153
7.3.3	数据比较器	156
7.3.4	数据选择器	157
7.4	用中规模集成电路实现组合电路	158
7.4.1	用数据选择器实现组合逻辑函数	159
7.4.2	用译码器实现组合逻辑函数	159
	本章小结	160
	习题	160
第 8 章	时序逻辑电路	162
8.1	触发器	162
8.1.1	基本 RS 触发器	162
8.1.2	同步 RS 触发器	164
8.1.3	JK 触发器	165
8.1.4	D 触发器	168
8.2	寄存器	170
8.2.1	数码寄存器	170
8.2.2	移位寄存器	171
8.2.3	集成寄存器芯片	171
8.3	计数器	174
8.3.1	计数器的基本概念及分类	174

8.3.2 异步二进制计数器	174
8.4 中规模集成计数器	177
8.4.1 集成异步计数器及芯片	177
8.4.2 集成同步计数器及芯片	180
8.4.3 任意进制计数器	182
本章小结	184
习题	185
第9章 脉冲波形的产生与变换	188
9.1 单稳态触发器	188
9.1.1 单稳态触发器电路	188
9.1.2 单稳态触发器电路工作原理	188
9.1.3 单稳态触发器输出脉冲宽度的估算	189
9.1.4 集成单稳态触发器	189
9.1.5 单稳态触发器的应用	190
9.2 多谐振荡器	191
9.2.1 对称多谐振荡器	191
9.2.2 石英晶体多谐振荡器	193
9.3 施密特触发器	193
9.3.1 施密特触发器电压的传输特性	193
9.3.2 施密特触发器电路	194
9.3.3 集成施密特触发器	194
9.3.4 施密特触发器的应用	194
9.4 555 定时器	195
9.4.1 电路组成及工作原理	196
9.4.2 用 555 定时器构成施密特触发器	196
9.4.3 555 定时器的其他应用	198
本章小结	199
习题	200
第10章 D/A 转换器和 A/D 转换器	201
10.1 D/A 转换器	201
10.1.1 D/A 转换器的基本工作原理	201
10.1.2 二进制权电阻网络 D/A 转换器	201
10.1.3 $R-2R$ 倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	203
10.1.4 D/A 转换器的主要技术参数	204
10.1.5 集成 D/A 转换器 CDA7524 及其应用	204
10.2 A/D 转换器	207
10.2.1 A/D 转换的一般步骤	207
10.2.2 A/D 转换器的种类	209
10.2.3 逐次逼近型 A/D 转换器	209

10.2.4	A/D 转换器的主要技术参数	211
10.2.5	集成 A/D 转换器及应用举例	211
本章小结		213
习题		213
第 11 章	半导体存储器和可编程逻辑器件	215
11.1	半导体存储器	215
11.1.1	随机存储器 RAM	215
11.1.2	只读存储器 ROM	217
11.2	可编程逻辑器件.....	219
11.2.1	概述	219
11.2.2	可编程阵列逻辑 PAL	219
11.2.3	可编程逻辑阵列 PLA	219
本章小结		221
习题		221
参考文献		222

第1篇 模拟电子技术基础

第1章 半导体二极管及其应用电路

半导体器件是构成电子线路的重要器件,由于半导体器件具有体积小、质量轻、使用寿命长、输入功率小和功率转换效率高等优点,因而得到了广泛的应用。

本章首先介绍半导体的基本知识,半导体器件的核心——PN结;然后介绍二极管、稳压二极管、发光二极管的伏安特性曲线、主要参数及应用电路的工作原理。

1.1 半导体的基本知识

自然界中的物质按其导电能力的强弱可分为导体、半导体和绝缘体三大类。

导体如铜、铁、银等,其内部存在大量摆脱原子核束缚的自由电子,在外电场作用下,这些自由电子定向运动而形成较大的电流,使导体表现出很强的导电能力。我们把在外电场作用下能定向运动形成电流的带电粒子称为载流子。显然,自由电子是一种载流子。

半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间,常用的半导体材料有硅(Si)和锗(Ge)。半导体一般呈晶体结构,其导电能力在不同的条件下会有很大差别。当温度升高时,半导体的导电能力会迅速增加,即半导体具有热敏特性;当有光线照射半导体时,半导体的导电能力也会有明显变化,即半导体具有光敏特性;当在半导体中掺入微量的其他元素(称为杂质)时,半导体的导电能力也会显著增加,即半导体具有掺杂特性。

绝缘体如橡胶、云母等,因其原子核对最外层电子束缚很大,故常温下自由电子数目很少,因而基本不导电。

1.1.1 本征半导体

本征半导体是指纯净的、不含杂质的半导体。下面以硅半导体为例来分析本征半导体的导电特性。

由原子理论可知,原子最外层达到8个价电子时才能处于稳定状态,而每个硅原子最外层只有4个价电子,它是靠共价键结构使每个硅原子最外层满足8个价电子的条件。由图1-1可以看出,在硅半导体中,每个硅原子受邻近4个原子的束缚,形成4个共价键,共价键像纽带一样将排列整齐的原子连接起来,共价键中的价电子不易挣脱原子核束缚而成为自由电子,因此,本征半导体导电能力较差。

如果能从外界获得一定的能量,有的价电子就会挣脱共价键的束缚而成为自由电子,自由电子是带负电荷的载流子。当价电子挣脱共价键的束缚而成为自由电子时,在共价键中就留下一个空位,称为“空穴”。空穴的出现使相邻原子的价电子离开它所在的共价键来填补这个空穴,这种电子填补空穴的运动相当于带正电荷的空穴在运动,因此,可以把空穴看成是一种带正电荷的载流子。空穴数

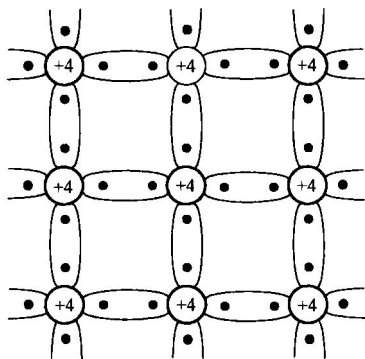


图1-1 本征半导体共价键结构

目越多, 半导体中的载流子数目就越多, 因此形成的电流就越大。在本征半导体中, 空穴与自由电子是成对出现的, 两者数目相等, 故称为电子—空穴对。本征半导体在温度升高时产生电子—空穴对的现象称为本征激发。

由以上分析可知, 在半导体中存在自由电子和空穴两种载流子, 而导体中只有自由电子一种载流子, 这是半导体与导体的不同之处。虽然半导体中存在两种载流子, 但是由于载流子数目有限, 故其导电能力仍不如导体。

1.1.2 杂质半导体

本征半导体的导电能力差, 如果在本征半导体中掺入其他微量元素, 可使其导电能力大大增强, 这就是半导体的掺杂特性。掺入的其他微量元素称为杂质。掺入杂质的半导体称为杂质半导体。根据掺入杂质的不同, 杂质半导体可分为 P 型半导体和 N 型半导体两大类。

1. P 型半导体

如果在本征半导体硅 (Si) 中掺入微量的三价元素, 如硼 (B)、镓 (Ga) 等, 便可形成 P 型半导体, 也叫空穴型半导体。

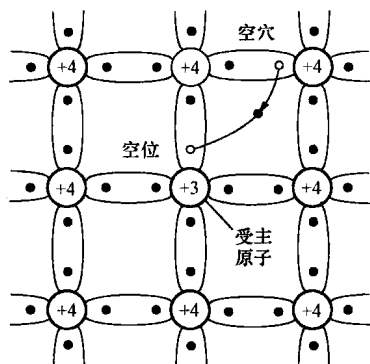


图 1-2 P 型半导体的共价键结构

设在硅半导体中掺入三价元素硼, 由于硼原子有 3 个价电子, 所以当 1 个硼原子与相邻 4 个硅原子组成共价键时, 因缺少 1 个价电子而形成 1 个空穴, 如图 1-2 所示。每掺入 1 个硼原子就形成 1 个空穴, 掺入的三价杂质越多, 空穴的数目就越多, 这样, 使半导体中空穴的数目远多于由于热运动产生的自由电子数。故称空穴为多数载流子, 简称多子; 自由电子为少数载流子, 简称少子。多子的浓度取决于掺入杂质的多少, 少子是由于热激发形成的, 其浓度与温度有密切的关系。掺入杂质后, 由于空穴数目大大增多, 故其导电能力也大大增强。显然, 这种半导体主要靠空穴导电。

掺入的三价杂质原子起接受电子的作用, 所以称为受主原子。每个受主原子接受 1 个价电子后都带上 1 个负电荷, 因此杂质原子都变成负离子, 但是整个 P 型半导体呈现电中性。杂质负离子被固定在晶格中不能移动, 也不参与导电。

2. N 型半导体

如果在本征半导体中掺入微量五价元素, 如磷 (P)、砷 (As) 等, 便可以形成 N 型半导体, 也叫电子型半导体。

设在硅半导体中掺入五价元素磷, 因为磷原子有 5 个价电子, 所以当 1 个磷原子与周围 4 个硅原子组成共价键时, 多出 1 个价电子, 多出的价电子在常温下就能摆脱磷原子的束缚成为自由电子, 如图 1-3 所示。每掺入 1 个磷原子, 就形成 1 个自由电子, 这样使自由电子数远多于热运动而产生的空穴数, 所以自由电子为多子, 空穴为少子。掺入杂质后, 由于自由电子数目大大增多, 故其导电能力也大大增强。显然, 这种半导体主要依靠自由电子

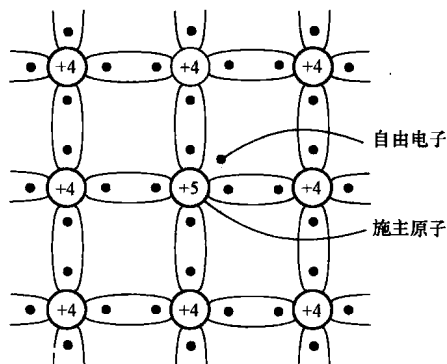


图 1-3 N 型半导体的共价键结构

导电。

掺入的五价磷原子可以提供自由电子，所以成为施主原子。每个施主原子给出1个自由电子后都带上1个正电荷，因此杂质原子都变成了正离子，但整个N型半导体呈现电中性。杂质正离子被固定在晶格中不能移动，也不参与导电。

1.1.3 PN结

上面介绍了本征半导体和杂质半导体，但人们感兴趣的不只是P型和N型半导体的导电性能，而是两者通过某种方式结合以后具有的特殊性能。PN结就是两者结合的产物，它是构成二极管、三极管、集成电路等多种半导体器件的基础。

1. PN结的形成

在一块完整的本征硅（或锗）片上，用不同的掺杂工艺使其一边形成N型半导体（N区），另一边形成P型半导体（P区），在这两种杂质半导体的交界面处就形成一个具有特殊性能的薄层，这个特殊薄层就是PN结。

P区空穴为多子，自由电子为少子；N区自由电子为多子，空穴为少子。因浓度差异而引起载流子从浓度高的区域向浓度低的区域运动，这种运动叫扩散运动，即P区的空穴扩散到N区，与N区的自由电子复合；同时，N区的自由电子扩散到P区，与P区的空穴复合。扩散的结果是：交界面附近P区一侧因失去空穴而留下不能移动的负离子，同样N区一侧因失去自由电子而留下不能移动的正离子。这样，在交界面两侧就形成了由正、负离子构成的空间电荷区，如图1-4（b）所示。交界面的左侧为负离子区，右侧为正离子区，于是就产生了指向P区的电场，叫内电场。显然，内电场阻碍多数载流子的扩散运动，却有利于少数载流子的运动，即P区的自由电子漂移到N区，N区的空穴漂移到P区。我们称少数载流子在内电场作用下的这种运动为漂移运动。

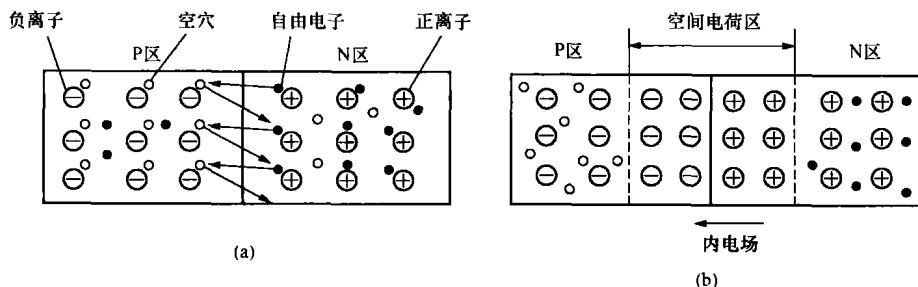


图1-4 PN结的形成

(a) 多子扩散示意图；(b) PN结的形成

开始时多子的扩散运动占优势，但随着扩散运动的进行，内电场逐渐加强，漂移运动也逐渐加强，最后扩散运动与漂移运动达到动态平衡，即有多少个多子扩散到对方，便有多少个少子从对方漂移过来。此时，交界面处形成稳定的空间电荷区，这个空间电荷区就是PN结。由于扩散运动与漂移运动所产生的电流方向相反，因而在动态平衡时，流过PN结的电流为零。

由于PN结内电场对多子扩散运动起阻挡作用，因而又把空间电荷区称为阻挡层。又因为空间电荷区内几乎没有载流子，即载流子耗尽了，只剩下不能导电的正、负离子，所以空间电荷区又称为耗尽层或耗尽区。