



普通高等教育“十五”国家级规划教材

(高职高专教育)

电子电路及电子器件

(第2版)

郭培源 主编



高等教育出版社

普通高等教育“十五”国家级规划教材
(高职高专教育)

电子电路及电子器件

(第2版)

郭培源 主编

高等教育出版社

内容简介

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材(高职高专教育)。为适应电子信息技术和培养 21 世纪高等职业技术人才的迫切需要,本书是在第 1 版的基础上,经过教学改革与实践,对其内容做了一定的修改而写成的。本书更有利于教师和学生在学习中教学使用。

本书共分 12 章,内容包括:半导体器件基础、放大电路基础及其应用、模拟集成放大器及其应用、逻辑代数及逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、半导体存储器和可编程器件、信号处理电路、信号发生器、高性能模拟集成器件及应用、数/模和模/数转换器及其应用、直流稳压电源。

本书内容简明扼要、深入浅出、便于自学,可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校、民办高校及本科院校举办的二级职业技术学院电子、信息、电气、自动化及机电一体化等专业的教材,也可供从事电子技术工作的工程技术人员及其他相关专业人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

电子电路及电子器件/郭培源主编.—2 版.—北京:
高等教育出版社, 2004.7

ISBN 7-04-014664-9

I.电… II.郭… III.①电子电路—高等学校:
技术学校—教材②电子元件—高等学校:技术学校—
教材 IV.①TN710②TN6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 049141 号

策划编辑 尹洪 责任编辑 李刚 封面设计 王凌波 责任绘图 朱静
版式设计 王艳红 责任校对 殷然 责任印制 孔源

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 北京铭成印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 28
字 数 680 000

版 次 2000 年 8 月第 1 版
2004 年 7 月第 2 版
印 次 2004 年 7 月第 1 次印刷
定 价 31.90 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

出版说明

为加强高职高专教育的教材建设工作,2000年教育部高等教育司颁发了《关于加强高职高专教育教材建设的若干意见》(教高司[2000]19号),提出了“力争经过5年的努力,编写、出版500本左右高职高专教育规划教材”的目标,并将高职高专教育规划教材的建设工作分为两步实施:先用2至3年时间,在继承原有教材建设成果的基础上,充分汲取近年来高职高专院校在探索培养高等技术应用性专门人才和教材建设方面取得的成功经验,解决好高职高专教育教材的有无问题;然后,再用2至3年的时间,在实施《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,推出一批特色鲜明的高质量的高职高专教育教材。根据这一精神,有关院校和出版社从2000年秋季开始,积极组织编写和出版了一批“教育部高职高专规划教材”。这些高职高专规划教材是依据1999年教育部组织制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》(草案)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(草案)编写的,随着这些教材的陆续出版,基本上解决了高职高专教材的有无问题,完成了教育部高职高专规划教材建设工作的第一步。

2002年教育部确定了普通高等教育“十五”国家级教材规划选题,将高职高专教育规划教材纳入其中。“十五”国家级规划教材的建设将以“实施精品战略,抓好重点规划”为指导方针,重点抓好公共基础课、专业基础课和专业主干课教材的建设,特别要注意选择一部分原来基础较好的优秀教材进行修订使其逐步形成精品教材;同时还要扩大教材品种,实现教材系列配套,并处理好教材的统一性与多样化、基本教材与辅助教材、文字教材与软件教材的关系,在此基础上形成特色鲜明、一纲多本、优化配套的高职高专教育教材体系。

普通高等教育“十五”国家级规划教材(高职高专教育)适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

教育部高等教育司

2002年11月30日

前 言

本教材是普通高等教育“十五”国家级规划教材(高职高专教育),依据教育部最新制定的《高职教育模拟电子技术基础课程教学基本要求》以及《高职教育数字电子技术基础课程教学基本要求》编写而成。

高等职业教育是现代高等教育体系中的一个重要组成部分,它的任务是培养具有高尚职业道德、适应生产和建设第一线需要的高等技术应用性专门人才。本教材根据应用性人才培养目标的要求以及现代科学技术发展的需要,以现代电子技术的基本知识、基本理论为主线,使电子技术的基本理论与工程技术应用有机结合在一起,以应用为目的贯穿整个教材内容。为了充分体现高等技术教育的特点,本书力求反映近年来电子技术的发展和符合高等技术教育的教学规律和学生认识规律。学生的能力培养始终贯穿在整个教材中,使学生逐步提高获取知识的能力,逐步学会和掌握解决工程问题的思维方法和研究方法,这是本教材的核心。

本教材修订的原则是:保证基础、加强概念、联系应用、体现先进、精选内容、引导创新、面向更新、利于教学。

本书的特点是:

1. 基础理论知识的讲授以应用为目的,精选内容,以“必需、够用”为度,深入浅出,讲清原理,突出基本概念,理论证明和繁琐公式推导从略。

2. 以器件为核心,强调“管路结合、管为路用”原则。将分立元件及集成器件和电路紧密结合起来讲授,注意介绍最新实用电子电路以体现实用性。

3. 技术的核心是器件,电子技术是随着器件发展而发展的,注意介绍了新型电子器件和高性能集成电子器件及可编程器件以体现先进性。

4. 在教材结构、风格上,力求简明扼要、深入浅出和便于自学。在内容的安排和介绍中不仅思路清晰,而且注意对每一个提出的问题给出解决的步骤并做适当的归纳。将学科体系中分开的模拟、数字电子技术两部分合并编写,在教材内容编排上做到相互衔接、配合、和谐、统一,以有利于教学,从而体现适用性。

5. 例题、习题、思考题尽量结合工程实际。突出应用性,强调启发性。

6. 除电子技术基础知识之外,增加了“提高”和“引申”的内容,以扩大知识面、开阔视野。并对这部分内容(书中注有“*”的部分)设置相对独立的章节,以利于教师按学时多少和专业需要取舍。教师可根据具体要求、总学时数及学生水平情况灵活处理。删去这些内容不影响理论体系的完整性。除带“*”的章节外,本教材内容需96学时完成。

本书承蒙教育部国家工科电工电子基地主任、北京交通大学电子信息学院侯建军教授担任本书的主审工作,他审阅了本书的全稿,并提出了不少建设性的修改意见,在此谨致衷心感谢。

参加本书编写工作的有郭培源教授(前言、第1章、第2章、第3章、第8章、第9章、

第 10 章及附录)、梁丽副教授(第 4 章、第 5 章、第 6 章)、付扬副教授(第 7 章、第 11 章、第 12 章)。

郭培源任主编,负责全书的组织编写、定稿和统稿,梁丽、付扬协助主编工作,负责本教材的审阅工作。

现代电子技术发展日新月异,本书内容若有疏漏和错误,欢迎专家学者、使用本书的教师、学生和工程技术人员提出意见和建议,以便今后不断改进。

编者

2004.2.18

目 录

第 1 章 半导体器件基础	1	2.3 多级放大电路	50
1.1 PN 结	1	2.3.1 多级放大电路中的耦合方式	50
1.1.1 本征半导体的导电特性	1	2.3.2 多级放大电路的动态分析	51
1.1.2 杂质半导体的导电特性	2	2.3.3 多级阻容耦合放大电路的频率特性	52
1.1.3 PN 结及其单向导电性	3	2.4 差分放大电路	55
1.2 二极管	4	2.4.1 直接耦合方式及存在的问题	55
1.2.1 二极管的结构和特性	4	2.4.2 差分放大电路	55
1.2.2 二极管的主要参数	6	2.5 功率放大电路	63
1.2.3 二极管的应用	6	2.5.1 功率放大电路的特点及分类	63
1.2.4 特殊二极管	10	2.5.2 互补对称功率放大电路	65
1.3 晶体管	15	2.5.3 集成功率放大器	71
1.3.1 晶体管的结构和分类	15	2.6 放大电路的应用	74
1.3.2 晶体管的电流放大原理	16	2.6.1 低频集成功率放大器的应用	74
1.3.3 晶体管的共射特性曲线	17	2.6.2 放大电路在声控防盗等方面的应用	77
1.3.4 晶体管的主要参数	19	本章小结	80
1.3.5 温度对晶体管参数的影响	21	思考题和习题	80
1.4 场效应晶体管	21	第 3 章 模拟集成放大器及其应用	87
1.4.1 结型场效应晶体管	21	3.1 集成放大器基础	87
1.4.2 绝缘栅场效应晶体管	23	3.1.1 集成放大器概述	87
1.4.3 场效应晶体管的主要参数	26	3.1.2 集成放大器的结构、电路、分类及主要参数	88
1.4.4 场效应晶体管与双极型晶体管的特点比较及使用注意事项	27	3.1.3 理想集成放大器及其分析重点	90
本章小结	28	3.2 负反馈放大器	92
思考题和习题	28	3.2.1 反馈的基本概念	92
第 2 章 放大电路基础及其应用	33	3.2.2 负反馈的分析方法	95
2.1 放大电路的基本概念	33	3.2.3 负反馈放大器的四种基本组态	96
2.1.1 放大的概念	33	3.2.4 负反馈对放大器性能的影响	99
2.1.2 放大电路的主要性能指标	34	3.2.5 集成放大器组成的三种基本实用放大器	104
2.2 基本放大电路的工作原理	36	3.3 集成放大器的线性应用	107
2.2.1 基本共射放大电路的组成及各元件的作用	36	3.3.1 集成放大器在模拟运算中的应用	107
2.2.2 基本共射放大电路分析方法	36	3.3.2 集成放大器在信号测量等方面的	
2.2.3 工作点稳定的放大电路分析	43		
2.2.4 基本共集放大电路	45		
2.2.5 场效应晶体管放大电路	48		

应用	112	6.1 触发器	233
3.4 集成放大器应用技术	118	6.1.1 概述	233
本章小结	120	6.1.2 基本 RS 触发器	234
思考题和习题	120	6.1.3 同步触发器	238
第 4 章 逻辑代数及逻辑门电路	128	6.1.4 边沿触发器	245
4.1 数字电路的特点	128	6.1.5 触发器的逻辑功能分类及功能 转换	247
4.1.1 模拟信号与数字信号的特点	128	6.2 时序逻辑电路	252
4.1.2 数字电路的特点	129	6.2.1 概述	252
4.2 数制和码制	129	6.2.2 同步时序逻辑电路的分析	253
4.2.1 数制	129	6.2.3 计数器	257
4.2.2 数制转换	131	6.2.4 集成计数器及其应用	263
4.2.3 码制	132	6.2.5 寄存器及其应用	275
4.3 逻辑代数基础	134	6.2.6 同步时序逻辑电路的设计	283
4.3.1 逻辑代数中的基本逻辑运算及 复合逻辑运算	134	本章小结	288
4.3.2 逻辑代数中的基本公式和定理	137	思考题和习题	289
4.3.3 逻辑函数及其表示方法	140	*第 7 章 半导体存储器和可编程器件 ..	296
4.3.4 逻辑函数的化简方法	144	7.1 半导体存储器	296
4.4 逻辑门电路	156	7.1.1 半导体存储器的分类及技术 指标	296
4.4.1 分立元件门电路	156	7.1.2 只读存储器(ROM)	297
4.4.2 TTL 集成门电路	159	7.1.3 只读存储器的应用	300
4.4.3 CMOS 集成门电路	168	7.1.4 随机存储器(RAM)	304
4.4.4 集成门电路的接口问题	173	7.1.5 存储器容量的扩展	306
本章小结	175	7.2 可编程逻辑器件(PLD)	308
思考题和习题	176	7.2.1 概述	308
第 5 章 组合逻辑电路	183	7.2.2 通用阵列逻辑(GAL)	311
5.1 组合逻辑电路的分析	183	7.2.3 CPLD 和 FPGA 的介绍	315
5.1.1 组合逻辑电路的特点	183	7.2.4 数字系统设计	317
5.1.2 组合逻辑电路的分析	184	7.3 可编程模拟器件(PAC)	318
5.2 组合逻辑电路的设计	185	7.3.1 ispPAC10 器件内部结构和性能	318
5.3 常用集成组合逻辑器件及应用	190	7.3.2 ispPAC10 器件的应用	319
5.3.1 编码器	190	本章小结	321
5.3.2 译码器	197	思考题和习题	321
5.3.3 数据选择器	207	第 8 章 信号处理电路	323
5.3.4 数据分配器	214	8.1 有源滤波电路	323
5.3.5 加法器	217	8.1.1 无源滤波电路和有源滤波电路 性能的比较	323
5.3.6 数值比较器	224	8.1.2 低通有源滤波电路	324
*5.3.7 组合逻辑电路中的竞争冒险	227	8.1.3 高通有源滤波电路	329
本章小结	229	8.1.4 带通有源滤波电路	330
思考题和习题	229		
第 6 章 触发器和时序逻辑电路	233		

8.1.5 带阻有源滤波电路	332	第 11 章 数/模和模/数转换器及其	
* 8.1.6 开关电容滤波电路	335	应用	395
8.1.7 多功能有源滤波器	336	11.1 概述	395
8.2 电压比较器	337	11.2 D/A 转换器	396
8.2.1 简单电压比较器	337	11.2.1 D/A 转换器的基本原理	396
8.2.2 滞回电压比较器	340	11.2.2 D/A 转换器主要技术指标	397
8.2.3 窗口电压比较器	342	11.2.3 集成 D/A 转换器及其应用	397
本章小结	343	11.3 A/D 转换器	404
思考题和习题	344	11.3.1 A/D 转换器的基本原理	404
第 9 章 信号发生器	347	11.3.2 逐次逼近型 A/D 转换器	405
9.1 振荡电路的作用及分类	347	11.3.3 双积分型 A/D 转换器	406
9.2 正弦波振荡电路基本原理	349	11.3.4 A/D 转换器的主要技术指标	408
9.2.1 RC 型正弦波振荡器	351	11.3.5 集成 A/D 转换器及其应用	408
9.2.2 LC 型正弦波振荡器	353	本章小结	412
9.2.3 石英晶体振荡器	356	思考题和习题	413
9.3 非正弦波信号发生器基本原理	358	第 12 章 直流稳压电源	415
9.3.1 矩形波信号发生器	358	12.1 直流稳压电源的组成	415
9.3.2 三角波和锯齿波信号发生器	361	12.2 整流电路	415
9.3.3 阶梯波信号发生器	363	12.2.1 单相半波整流电路	416
9.4 集成信号发生器	364	12.2.2 单相桥式全波整流电路	417
9.4.1 集成函数发生器 5G8038 及其		12.3 滤波电路	418
应用	364	12.3.1 电容滤波电路	418
9.4.2 集成压控振荡器	366	12.3.2 电感滤波电路	419
9.4.3 555 集成信号发生器	367	12.4 稳压二极管稳压电路	419
本章小结	373	12.4.1 稳压电路的性能指标	420
思考题和习题	374	12.4.2 稳压二极管稳压原理	420
* 第 10 章 高性能模拟集成器件及		12.4.3 限流电阻的选择	421
应用	376	12.5 串联型稳压电路	422
10.1 集成模拟乘法器	376	12.5.1 串联型稳压电路的组成及工作	
10.1.1 模拟乘法器的基本概念	376	原理	422
10.1.2 模拟乘法器的应用	377	12.5.2 集成稳压器	423
10.1.3 集成模拟乘法器 BG314 简介	386	12.5.3 固定式集成稳压器的应用	425
10.2 集成锁相环在信号处理中的应用	387	* 12.5.4 可调式集成稳压器的应用	428
10.2.1 基本锁相环工作原理	387	本章小结	430
10.2.2 锁相环的应用	388	思考题和习题	430
10.3 集成多路模拟开关及应用	390	附录 A 新旧图形符号对照表	433
本章小结	393	附录 B 常用逻辑符号对照表	435
思考题和习题	393	参考文献	437

第 1 章

半导体器件基础

【内容提要】 本章首先介绍半导体的导电特性、PN 结的形成及其单向导电特性，然后介绍在电子技术领域中广泛应用的二极管、晶体管和场效晶体管的工作原理、特性曲线及主要参数。这些内容是学习电子电路的基础，也是学习的重点。

1.1 PN 结

1.1.1 本征半导体的导电特性

导电能力介于导体和绝缘体之间的物质称为**半导体**。自然界中有些物质如硅(Si)、锗(Ge)是半导体，而且硅和锗都是四价元素，原子核最外层有 4 个价电子。

纯净不掺杂质的半导体称为**本征半导体**。以硅晶体为例，它们的原子排列很有规律，并且每两个相邻原子共有一对价电子，这样的组合称为共价键结构，如图 1-1 所示。

共价键中的价电子受相邻两个原子核的制约，如果没有足够的能量就无法挣脱共价键的束缚。因此，在热力学零度(-273.16°C)时，本征半导体无自由电子，与绝缘体一样不导电。在光照或其他能量激发下，将有少数价电子获得足够的能量，挣脱共价键束缚，跳到键外，成为自由电子。这里应该注意，当价电子挣脱共价键成为自由电子后，在共价键中就留下一个空位，此空位被称为**空穴**。有了这样一个空位，在外电场能量激发下，邻近的价电子就会填补到这个空位上，这个价电子原来的位置又留下新的空位。然后，其他价电子又会移至这个新的空位上，其效果如同带正电荷的空位(空穴)在移动，这种运动称为**空穴运动**，如图 1-2 所示。

当半导体加上电压时，其电流由两部分组成，一是自由电子定向运动形成的电流，二是价电子递补空位形成的电流，两者流动方向相反，它们总是同时出现，这是本征半导体的重要特征。

在外电场或其他能量激发下，一方面本征半导体不断产生自由电子，同时也出现相同数量的空穴；另一方面，自由电子在运动中又会与空穴重新结合(称为复合)，这是一个相反过程，在一定温度下，电子-空穴既产生又复合，达到了相对动态平衡。

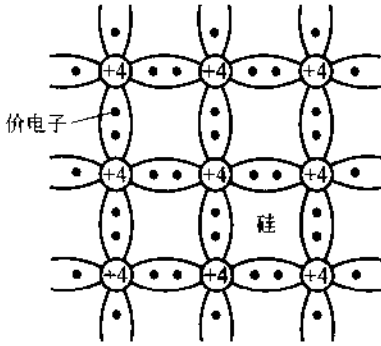


图 1-1 硅晶体共价键结构

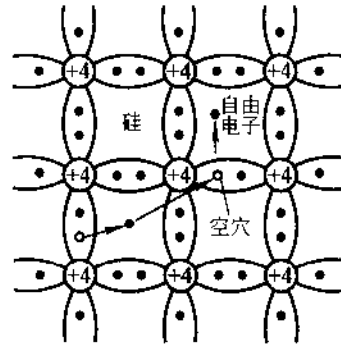


图 1-2 本征半导体中的电子空穴对

1.1.2 杂质半导体的导电特性

掺入杂质元素的半导体称为**杂质半导体**。本征半导体的导电能力很低，但如果掺入微量的杂质(某种元素)，导电性能就会发生明显变化。根据掺入杂质的不同，杂质半导体分为 N 型半导体和 P 型半导体两种。

1. N 型半导体

在本征半导体硅中掺入微量的五价元素磷(P)，硅晶体中某些原子的位置被磷原子代替，由于磷原子中多余的一个价电子不受共价键束缚，一旦获得很少能量，这个多余价电子就能挣脱磷原子核的吸引而成为自由电子。通常，几乎所有多余价电子都能成为自由电子，如图 1-3 所示。

上述杂质半导体，除了杂质给出的多余自由电子外，原晶体本身也产生少量的电子-空穴对，所以这种杂质半导体中，自由电子是多数载流子(简称**多子**)，空穴是少数载流子(简称**少子**)。这种杂质半导体称为**N 型半导体**。

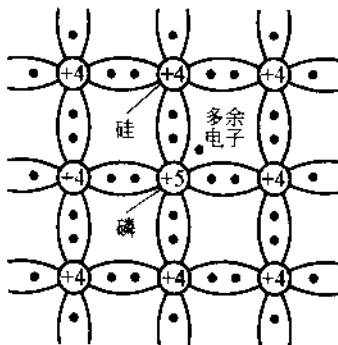


图 1-3 N 型半导体

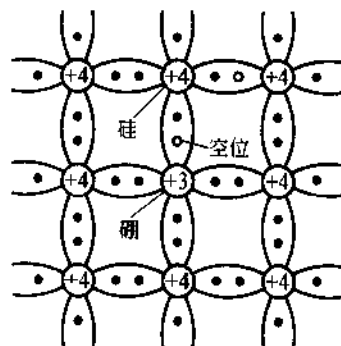


图 1-4 P 型半导体

2. P 型半导体

在本征半导体硅中掺入微量的三价元素硼(B)，硅晶体中某些原子的位置被硼原子代替，

但由于硼原子缺少了一个价电子而产生一个空穴，这样每个硼原子都会提供一个空穴，从而使空穴载流子的数目显著增加成为多子，自由电子因浓度降低而成为少子。这种杂质半导体称为**P型半导体**，如图1-4所示。

总之，杂质半导体中，多子与掺杂量有关，与半导体温度无关；而少子是由外电场或其他能量激发产生的，与半导体温度有着密切关系。

1.1.3 PN结及其单向导电性

杂质半导体在没加外电场或其他能量的情况下，从宏观上看，仍然呈电中性。如果在—块本征半导体上，通过掺入杂质，使—侧形成N型半导体，另一侧形成P型半导体，则在两种半导体交界面上形成—个薄层(空间电荷区)，称为**PN结**，如图1-5所示。

PN结是构成各种半导体器件的基础，二极管、晶体管分别由—个、两个PN结组成。了解PN结的性质对掌握半导体器件的原理是非常重要的。

1. PN结的形成

P型半导体和N型半导体结合在一起时，在交界处，由于电子与空穴数量不同而会产生浓度差，从而引起多数载流子从浓度高的区域向浓度低的区域扩散，这种运动称为**扩散运动**。扩散到P区的电子与空穴复合，扩散到N区的空穴与电子复合。随着扩

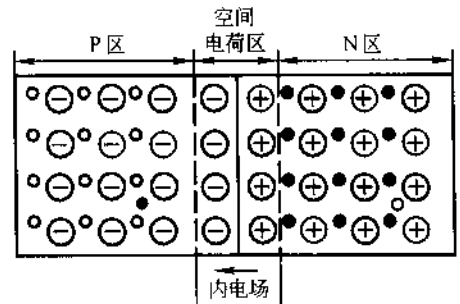


图1-5 PN结的形成

散的进行，在交界面附近的P区中空穴大量减少，出现了带负电的离子区；而在N区—侧因缺少电子，显露出带正电的离子区。这些离子虽然带电，但不能移动，它们形成了一个由N区指向P区的电场(内电场)，这个电场空间区就是PN结，由于在空间电荷区中载流子被消耗尽了，故又称为**耗尽层**。

内电场对多子的扩散不利，却有利于少子向对方区域运动。少数载流子在内电场作用下的定向运动称为**漂移运动**。在内电场作用下，从N区漂移到P区的空穴，填补了P区失去的空穴，从P区漂移到N区的电子，填补了N区失去的电子，从而使空间电荷减少，内电场削弱，耗尽层变窄，这又有利于多子的扩散而不利于少子的漂移。

因为多数载流子的扩散与少数载流子的漂移在动态平衡时，大小相等、方向相反、相互抵消，所以外部宏观上仍然呈电中性，也就是说，在没有外加电场或其他能量的激发作用下，PN结是没有电流通过的。

2. PN结的单向导电性

PN结在外加直流电压作用下，呈现什么特性呢？通过实验不难回答这个问题。

外加正向电压：外加正向电压是将P区与电源正极相连，N区经电阻与电源负极相连，这种接法也称**正向偏置**(简称**正偏**)，如图1-6所示。此时，内电场因与外电场方向相反而受到削弱，这有利于多子的扩散而不利于少子的漂移。多子的扩散通过外电路形成正向电流 I_F 。因此，加上不大的正向电压，就会产生相当大的电流。应在电路中串入电阻 R 限制过大的电流以避免烧坏PN结。

外加反向电压：外加反向电压是将P区与电源负极相连，N区经电阻 R 与电源正极相连，

这种接法也称**反向偏置**(简称**反偏**),如图1-7所示。此时,内电场因与外电场方向相同而得到加强,这有利于少子的漂移而不利于多子的扩散。少子的漂移形成反向电流 I_R 。由于少数子数量有限,因此,反向电流不仅很小,而且基本上不随外加电压变化而发生变化,故反向电流又称为**反向饱和电流**。

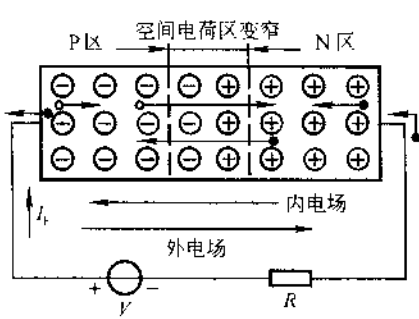


图1-6 外加正向电压PN结导通

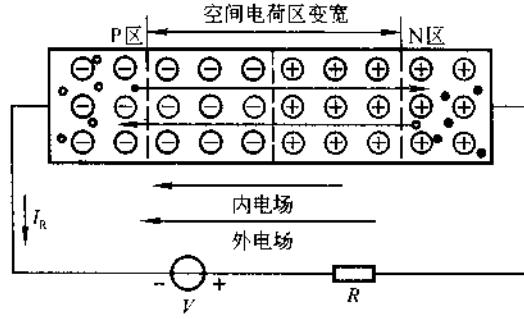


图1-7 外加反向电压PN结截止

由此可知,PN结正向偏置时,正向电阻很小,可形成较大的正向电流;PN结反向偏置时,呈现较大的反向电阻,反向电流很小。这就是PN结的单向导电性。

1.2 二极管

1.2.1 二极管的结构和特性

1. 二极管的结构

把一个PN结的两端接上电极引线,外面用金属(或玻璃、塑料)管壳封闭起来,便构成了二极管。其结构示意图和图形符号如图1-8所示。

二极管按照主要制造材料的不同可分为硅二极管、锗二极管等;按用途的不同可分为整流二极管、稳压二极管、开关二极管和检波二极管等;按结构的不同又可分为点接触型和面接触型两类。

点接触型二极管是将一根很细的硅铝触丝和一块N型半导体接触在一起,然后在金属触丝与半导体之间通过瞬时的大电流,使接触处产生大量的热量,把金属丝中微量金属原子扩散到N型半导体中形成一个PN结。点接触型二极管PN结面积小,不允许通过较大的电流,高频特性好,因此,适合于使用在小电流整流、高频检波、混频电路中。

面接触型二极管的PN结是用合金法或扩散法制成的,PN结面积较大,故允许通过较大的电流,适合于使用在低频整流等电路中。

二极管结构如图1-9所示。

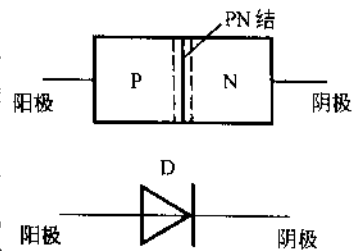


图1-8 二极管的结构示意图和图形符号

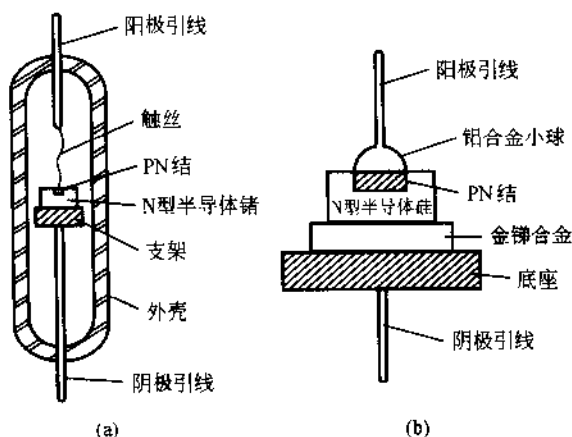


图 1-9 二极管结构图
(a) 点接触型;(b) 面接触型

2. 二极管的伏安特性

二极管的伏安特性如图 1-10 所示。横坐标表示加在二极管两端的电压，纵坐标表示流过二极管的电流。

(1) 正向特性

当二极管两端所加正向电压小于某一数值 U_{th} 时，由于外电场强度还不足以克服内电场，因而扩散运动难以进行，正向电流很小(几乎为零)，二极管呈现较大电阻，这段区域称为死区。 U_{th} 称为门槛电压或死区电压。硅管 $U_{th} = 0.5\text{ V}$ ，锗管 $U_{th} = 0.1\text{ V}$ 。当正向电压超过 U_{th} 后，内电场大大削弱，有利于多子扩散，正向电阻较小，正向电流按指数曲线规律增长，二极管处于导通状态。此时，硅管的导通电压降为 $0.6 \sim 0.8\text{ V}$ ，锗管的导通电压降为 $0.2 \sim 0.3\text{ V}$ 。

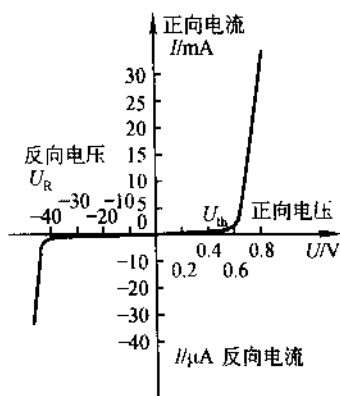


图 1-10 二极管伏安特性

(2) 反向特性
当二极管两端加反向电压时，内电场加强，阻碍扩散而有利于漂移。由于漂移过程少数子数量有限，仅形成很小的反向饱和电流 I_S ，硅管 I_S 为 nA 数量级，锗管为 μA 数量级。

(3) 反向击穿特性

当反向电压的数值增加到 U_R 时，反向电流将急剧增大，这种现象称为反向击穿。 U_R 称为反向击穿电压。使用二极管时，应避免反向电压超过反向击穿电压，以防损坏二极管。

(4) 二极管伏安方程

二极管两端电压与通过的电流用方程表示的关系称为二极管伏安方程，可表示为

$$I = I_S(e^{U/U_T} - 1) \quad (1-1)$$

式中， I_S 为反向饱和电流， $U_T = kT/q$ 为温度的电压当量，其中 k 为玻耳兹曼常数， T 为热力学温度， q 为电子的电荷 [量]。在常温(300 K)时， $U_T = 26\text{ mV}$ 。

由伏安方程可知，正向偏置时，只要 $U \gg U_T$ ，则

$$I \approx I_S e^{U/U_T} \quad (1-2)$$

即二极管电流随正向电压上升按指数规律变化。反向偏置时，只要 $|U| \gg U_T$ ，有 $e^{U/U_T} \approx 0$ ，则

$$I \approx -I_S \quad (1-3)$$

即二极管反向电流为一常数，不随两端电压变化而变化，此即反向饱和电流。

1.2.2 二极管的主要参数

除伏安特性外，二极管的性能还可用一些参数来表示，主要参数有以下四个。

(1) 最大整流电流 I_F

它是指二极管长期运行时，允许通过的最大正向平均电流。实际使用时，通过二极管的工作电流应小于 I_F ，如果超过此值，将引起 PN 结过热而烧坏。

(2) 反向电流 I_R

它是指二极管承受反向工作电压而未被反向击穿时的反向电流值。它的数值越小，表明二极管的单向导电特性越好。

(3) 最高反向工作电压 U_{RM}

它是指二极管工作时两端所允许加的最大反向电压。通常 U_{RM} 约为反向击穿电压 U_R 的一半，以保证管子安全工作，避免击穿。

(4) 最高工作频率 f_M

PN 结具有电容效应，它的存在限制了二极管的工作频率。如果通过二极管的信号频率超过管子的最高工作频率 f_M ，则结电容的容抗变小，高频电流将直接从结电容上通过，管子的单向导电性变差。

1.2.3 二极管的应用

利用二极管的单向导电性，可以组成整流、限幅、钳位、检波及续流等应用电路。

1. 单相半波整流电路

将交流电变成脉动直流电的过程称为整流。图 1-11 所示为单相半波整流电路，Tr 为电源变压器，二极管 D 与负载电阻 R_L 串联后接变压器二次绕组。

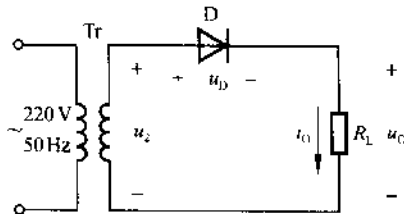


图 1-11 单相半波整流电路

在交流电压 u_2 的正半周，二极管 D 上作用着正向电压，二极管导通，若忽略二极管电压降，则负载 R_L 上的电压 u_0 与交流电压 u_2 的正半周相等。

在交流电压 u_2 的负半周，二极管 D 上作用着反向电压，二极管不导通，电路中没有电

流，负载 R_L 上没有电压降，交流电压 u_2 的负半周全部作用在二极管上。

电路中电压和电流的波形如图 1-12 所示。可见，变压器二次侧的正弦交流电压被变换成了负载两端的单向脉动直流电压，达到了整流的目的是。由于这种电路在交流电的半周内才有电流流过负载，所以称为**单相半波整流电路**。

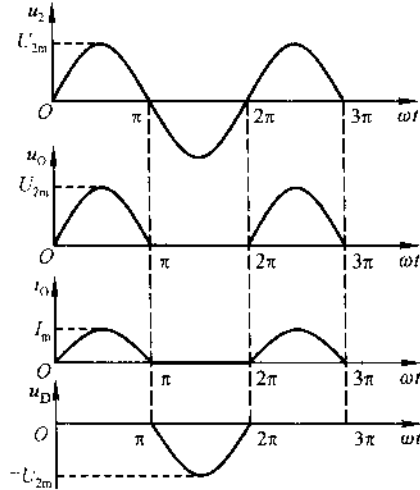


图 1-12 单相半波整流波形

单相半波整流电路特点是电路结构简单，缺点是输出电压的脉动大，变压器的利用率低。

2. 单相全波整流电路

为了克服单相半波整流的不足，可采用**单相全波整流电路**，如图 1-13 所示。

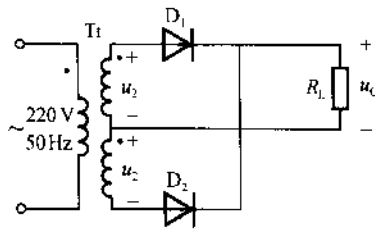


图 1-13 单相全波整流电路

在交流电压 u_2 的正半周， D_1 导通， D_2 承受反向电压而截止；在 u_2 的负半周， D_2 导通， D_1 承受反向电压而截止。即一个周期内两个二极管轮流导通，从而正、负半周具有同一方向的电流流过负载 R_L ，故称为**全波整流电路**，其电流、电压波形如图 1-14 所示。

单相全波整流输出电压平均值大，脉动较小，但是变压器结构较复杂，利用率低，进一步的改进电路见第 12 章。

3. 二极管限幅电路

限制输出信号幅度的电路称为**限幅电路**。当输入信号幅度变化较大时，为了使信号幅度能够限制在一定范围内，可将输入信号接入限幅电路。图 1-15 所示为限幅电路及其输入和输出波形。

为分析方便起见，设 D 为理想二极管，即忽略二极管正向电压降和反向电流。当 $u_i > V$ 时，二极管导通，由于其正向压降为零，所以 $u_o = V$ ，即输出电压正半周幅度被限制为 V 值，输入电压超出 V 的那部分 ($u_i - V$) 电压降在电阻 R 上；当 $u_i < V$ 时，二极管截止，电路中电流为零， $u_R = 0$ ，所以 $u_o = u_i$ 。

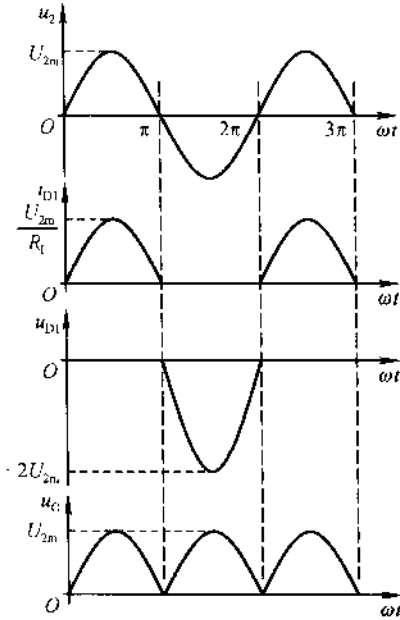


图 1-14 单相全波整流波形

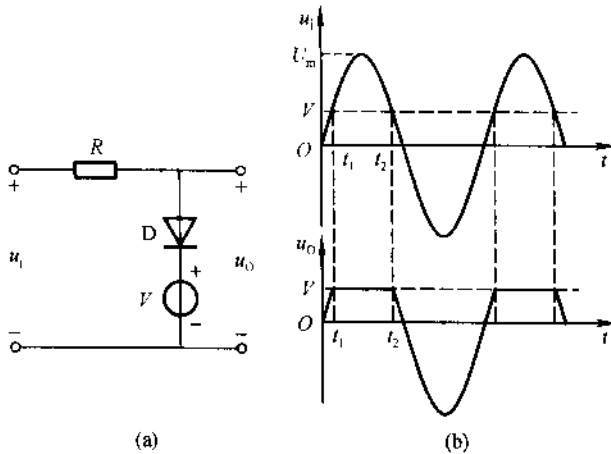


图 1-15 半导体二极管限幅电路及波形

(a) 限幅电路; (b) 波形

4. 钳位电路

将电路中的某点电位值钳制在选定的数值上而不受负荷变动影响的电路称为钳位电路，如图 1-16 所示。

只要二极管 D 处于导通状态，不论负载 R_L 改变多少，电路的输出端电压 u_o 始终等于