



高职高专电子信息类专业项目课程规划教材

放大电路 测试与设计

主 编 华永平

副主编 张智玮 徐瑞亚



免费下载电子教案

<http://www.cmpedu.com>

理念的先进性

充分体现任务引领、实践导向的课程思想

项目的代表性

8个项目覆盖高保真放大器、立体声调音控制器、音频功率放大器、直流稳压电源的测试与设计

任务的操作性

55个任务由浅入深完成各类放大器的测试与设计

体例的科学性

用“读一读”、“做一做”和“想一想”把理论、实践和提高融于一体



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高职高专电子信息类专业项目课程规划教材

放大电路测试与设计

主 编 华永平

副主编 张智玮 徐瑞亚

参 编 马永兵



机械工业出版社

本书是高职高专电子信息类专业主干课程教材。全书包含 8 个项目, 分别是: 二极管基本特性的测试、晶体管放大器的测试与设计、场效应晶体管放大器的测试与设计、高保真放大器的测试与设计、立体声调音控制器的测试与设计、音频功率放大器的测试与设计、直流稳压电源的测试与设计、音频功率放大器的整机装配与联调。在每个项目中都提出了具体的学习目标与工作任务, 突出工作任务与知识的联系, 让学生在职业实践活动的基础上掌握知识, 增强了课程内容与职业岗位能力要求的相关性, 强化了知识的针对性和应用性。

本书可作为高职高专电子、通信、自动化和机电类相关专业“模拟电子技术基础与实践”类课程的教材, 也可供从事电子技术工作的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

放大电路测试与设计/华永平主编. —北京: 机械工业出版社, 2010. 1
高职高专电子信息类专业项目课程规划教材
ISBN 978-7-111-28827-5

I. 放… II. 华… III. ①放大器—电子电路—测试—高等学校: 技术学校—教材 ②放大器—电子电路—设计—高等学校: 技术学校—教材
IV. TN722

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 204762 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 董欣 版式设计: 张世琴

责任校对: 李秋荣 责任印制: 乔宇

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2010 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·17.5 印张·429 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-28827-5

定价: 29.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者服务部: (010) 68993821 封面无防伪标均为盗版

前 言

所谓“项目课程”，是指以工作项目为中心，以工作任务完成过程为主线选择和组织课程内容、以完成工作任务为主要学习方式，并将理论与实践有机整合，能使学习者在实践活动中主动学习和有效应用知识的一种课程模式。自 2004 年起，南京信息职业技术学院电子信息专业课程建设团队，在有关课程专家的理论指导下，依据“能力本位、行动导向”的课程设计原则对高职电子信息类专业教学体系进行全面改革，构建了“以职业实践为主线、以项目课程为主体”的模块化的课程体系，开发了 10 余门专业技术核心项目课程。

(1) 按产品生产岗位划分的课程有：电子产品装配、电子产品调试与检验、彩色电视机维修、通信终端设备维修。

(2) 按产品技术特征划分的课程有：电工电路测试与设计、放大电路测试与设计、数字逻辑电路测试与设计、无线电通信电路测试与设计、传感与控制电路测试与设计、数字通信电路测试与设计。

本书是一本独具特色的理论、实践、仿真、多媒体一体化教材，是作者在多年的教学改革与实践的基础上所编写的教学改革系列教材之一。为适应电子信息时代的新形势和培养 21 世纪电子信息类高素质、高技能型人才的迫切需要，本书对传统教材的结构和内容进行了较大改动。首先是实践教学内容采用真实的放大器产品进行分析和讲解，简洁、明了、通俗易懂。全书遵循“实践—理论—实践”和“理论—实践—理论”的认知规律，充分调动学习者的学习积极性，并从理论和实践两个方面提高了教学效果；增加了利用 EDA 软件对电子电路进行计算机仿真分析的新方法，使电子电路的一般概念得到了生动形象的表述。另外，本书在内容的编排上尽量做到科学、合理，循序渐进。

本书包含 8 个项目，分别是：二极管基本特性的测试、晶体管放大器的测试与设计、场效应晶体管放大器的测试与设计、高保真放大器的测试与设计、立体声调音控制器的测试与设计、音频功率放大器的测试与设计、直流稳压电源的测试与设计、音频功率放大器的整机装配与联调，并在书后附有各类常用半导体器件参数等内容，突出了项目教学的工程性和技术性特征。每个项目都包含若干模块，每个模块由一个或多个任务组成。每个任务都按照先简单、后复杂；先测试、后设计；先单元电路、后总体电路的顺序进行安排。在每个项目完成的过程中嵌入知识（理论知识和实践知识）的学习，做到“读、做、想、学”等方面环环紧扣，师生互动，以期达到最佳的教学效果。本书配有电子教案和“项目测试报告格式”、“项目设计报告格式”等辅助教学资源，读者可到机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 免费下载。

本书由南京信息职业技术学院华永平主编，张智玮、徐瑞亚任副主编，马永兵参编。部分企业工程技术人员在课程开发阶段为本书的编写提供了许多有价值的参考资料，并提出了一些具体的编写意见。在此表示衷心的感谢！

编 者

目 录

前言

项目 1 二极管基本特性的测试	1
模块 1.1 二极管单向导电性的测试	2
任务 1.1.1 二极管单向导电性的测试	4
任务 1.1.2 二极管伏安特性的测试	8
模块 1.2 稳压二极管特性的测试	13
任务 稳压管稳压电路的测试	13
模块 1.3 变容二极管特性的测试	16
任务 1.3.1 二极管电容效应的测试	17
任务 1.3.2 变容二极管调谐电路的测试	18
模块 1.4 发光二极管特性的测试	20
任务 发光二极管特性的测试	21
模块 1.5 光电二极管特性的测试	22
任务 光电二极管特性的测试	23
知识小结	25
思考与练习	26
项目 2 晶体管放大器的测试与设计	28
模块 2.1 晶体管基本特性的测试	30
任务 2.1.1 晶体管各极电流分配关系的测试	32
任务 2.1.2 晶体管共射输入特性曲线的测试	37
任务 2.1.3 晶体管共射输出特性曲线的测试	38
模块 2.2 晶体管基本放大器工作状态的测试	42
任务 2.2.1 晶体管放大作用的测试	42
任务 2.2.2 阻容耦合电路交直流叠加的测试	44
任务 2.2.3 放大电路静态工作点的测量	47
任务 2.2.4 放大电路交流工作状态的测试	49
任务 2.2.5 放大电路异常现象的测试	51
任务 2.2.6 静态工作点对输出波形影响的测试	55
任务 2.2.7 β 变化对静态工作点影响的测试	58
任务 2.2.8 分压式偏置电路工作点稳定性的测试	59
模块 2.3 放大器性能指标的测试	62
任务 2.3.1 放大电路放大倍数的测量	64
任务 2.3.2 放大电路输入电阻的测量	65
任务 2.3.3 放大电路输出电阻的测量	66

模块 2.4 共集电极和共基极放大器基本特性的测试	69
任务 2.4.1 共集电极放大器基本特性的测试	70
任务 2.4.2 共基极放大器基本特性的测试	73
模块 2.5 小功率晶体管放大器的设计与调试	76
任务 设计小功率晶体管音频放大器	78
知识小结	81
思考与练习	83
项目 3 场效应晶体管放大器的测试与设计	89
模块 3.1 结型场效应晶体管 (JFET) 基本特性的测试	90
任务 JFET 各电压与电流关系的测量	92
模块 3.2 金属-氧化物-半导体场效应晶体管 (MOSFET) 基本特性的测试	98
任务 3.2.1 增强型 MOSFET 基本特性的测试	99
任务 3.2.2 耗尽型 MOSFET 基本特性的测试	103
模块 3.3 场效应晶体管放大器基本特性的测试	107
任务 3.3.1 共源放大电路基本特性的测试	109
任务 3.3.2 共漏放大电路基本特性的测试	112
模块 3.4 小功率场效应晶体管放大器的设计与调试	114
任务 小功率场效应晶体管音频放大器的设计	115
知识小结	116
思考与练习	116
项目 4 高保真放大器的测试与设计	120
模块 4.1 放大器频率失真与非线性失真的测试	122
任务 4.1.1 放大器频率失真现象的主观测试	122
任务 4.1.2 放大电路的性能指标之四——频率特性的测试	123
任务 4.1.3 放大器非线性失真现象的主观测试	127
模块 4.2 负反馈放大器基本性能的测试	128
任务 4.2.1 负反馈放大器提高增益稳定性现象的主观测试	131
任务 4.2.2 负反馈放大器改善频率失真现象的主观测试	132
任务 4.2.3 负反馈放大器改善非线性失真现象的主观测试	133
模块 4.3 小功率高保真放大器的设计	147
任务 小功率高保真放大器的设计	152
知识小结	154
思考与练习	155
项目 5 立体声调音控制器的测试与设计	159
模块 5.1 集成运算放大器基本应用电路的测试	160
任务 5.1.1 加法电路的测试	162
任务 5.1.2 减法电路的测试	163
任务 5.1.3 积分电路的测试	165
任务 5.1.4 微分电路的测试	167

任务 5.1.5 简单电压比较器的测试	168
任务 5.1.6 迟滞电压比较器的测试	170
模块 5.2 立体声调音控制器的设计	175
任务 立体声调音控制器的测试与设计	176
模块 5.3 立体声调音控制器的原理图设计	183
任务 立体声调音控制器原理图的设计	183
知识小结	188
思考与练习	188
项目 6 音频功率放大器的测试与设计	191
模块 6.1 功率放大电路的测试	192
任务 6.1.1 射极输出器效率的测试	193
任务 6.1.2 基本(乙类)互补对称电路的测试	195
任务 6.1.3 甲乙类互补对称电路的测试	202
模块 6.2 音频功率放大器的设计	207
任务 音频功率放大器的测试与设计	207
模块 6.3 音频功率放大器的电路板设计	212
任务 音频功率放大器的印制电路板的设计	212
知识小结	217
思考与练习	217
项目 7 直流稳压电源的测试与设计	220
模块 7.1 直流稳压电源各单元电路基本特性的测试	221
任务 7.1.1 电源变压器基本特性的测试	222
任务 7.1.2 整流电路的测试	223
任务 7.1.3 滤波电路的测试	227
任务 7.1.4 稳压电路的测试	233
模块 7.2 直流稳压电源的设计	243
任务 直流稳压电源的测试与设计	245
知识小结	247
思考与练习	248
项目 8 音频功率放大器的整机装配与联调	250
任务 音频功率放大器的整机装配与联调	250
附录	255
附录 A 半导体器件型号命名方法	255
附录 B 常用二极管参数表	259
附录 C 常用晶体管参数表	262
附录 D 常用场效应晶体管参数表	266
附录 E 部分集成运放主要参数表	267
附录 F 常用集成稳压器主要参数表	268
参考文献	271

项目 1 二极管基本特性的测试

各种电子设备的主要组成部分是电子线路，而电子线路的核心组成部分是半导体器件，如晶体二极管（简称二极管）、晶体管（通常称为三极管）、场效应晶体管（FET）和集成电路（IC）。半导体器件具有体积小、重量轻、使用寿命长、输入功率小和功率转换效率高等优点而得到广泛应用。

由于二极管是各种半导体器件及其应用电路的基础，因此本项目通过相关测试和仿真学习二极管的基本特性及其基本应用电路。

本项目共有 5 个模块：

模块 1.1 二极管单向导电性的测试。通过对普通二极管的单向导电性、伏安特性曲线的测试，理解二极管的结构及其单向导电性，掌握二极管伏安特性曲线，了解其等效电路模型，掌握普通二极管电路的装接与测试方法，掌握 Multisim 仿真软件的使用。

模块 1.2 稳压二极管特性的测试。通过对稳压二极管及其稳压电路的测试，了解二极管的反向击穿特性，掌握稳压二极管的工作状态、伏安特性及其应用，掌握稳压二极管电路的装接与测试方法。

模块 1.3 变容二极管特性的测试。通过对二极管的电容效应、变容二极管调谐电路的仿真测试，了解二极管的电容效应，掌握变容二极管的工作状态、基本特性及其应用。

模块 1.4 发光二极管特性的测试。通过对发光二极管基本特性的测试，了解发光二极管的发光机理，掌握发光二极管的工作状态、基本特性及其应用，掌握发光二极管电路的装接与测试方法。

模块 1.5 光电二极管特性的测试。通过光电二极管基本特性的测试，了解二极管的光敏特性，掌握光电二极管的工作状态、伏安特性及其应用，掌握光电二极管电路的装接与测试方法。

项目 1 任务书

项目模块	任 务	相关知识点	课时
模块 1.1	任务 1.1.1 二极管单向导电性的测试	半导体材料	3
		二极管的结构与符号	
		二极管的单向导电性	
	任务 1.1.2 二极管伏安特性的测试	二极管的伏安特性曲线	3
		二极管的等效电路模型	
		二极管的温度特性	
模块 1.2	任务 稳压管稳压电路的测试	二极管的反向击穿特性	1
		稳压管的伏安特性	
		稳压管稳压电路	
		稳压管的主要参数	
模块 1.3	任务 1.3.1 二极管电容效应的测试	二极管的电容效应	0.5
	任务 1.3.2 变容管调谐电路的测试	变容二极管特性	0.5
		变容管电调谐电路	

(续)

项目模块	任 务		相关知识要点	课时
模块 1.4	任务	发光二极管特性的测试	发光二极管的工作机理	1
			发光二极管的伏安特性	
模块 1.5	任务	光电二极管特性的测试	二极管的光敏特性	1
			光电二极管的伏安特性	
总 计				10



学习目标

- ◇ 能正确测量各种二极管的外特性，能正确记录测量结果并对结果作准确描述。
- ◇ 能查阅半导体器件手册。
- ◇ 能描述二极管的主要参数、分类及其选择使用方法。
- ◇ 能判断和处理简单电路故障。
- ◇ 能撰写项目测试报告。
- ◇ 了解二极管及其基本特性：二极管的结构与符号、二极管的单向导电性、二极管的反向击穿特性、二极管的电容效应、二极管的光电效应、二极管的温度特性等。
- ◇ 了解各种二极管的基本应用。



工作任务

- ◇ 普通（开关）二极管外特性的测试、记录结果并进行特性描述。
- ◇ 稳压二极管外特性的测试、记录结果并进行特性描述。
- ◇ 发光二极管外特性的测试、记录结果并进行特性描述。
- ◇ 光敏二极管外特性的测试、记录结果并进行特性描述。
- ◇ 变容二极管外特性的测试、记录结果并进行特性描述。
- ◇ 撰写项目测试报告。

模块 1.1 二极管单向导电性的测试



学习目标

- ◇ 能正确测试普通二极管的单向导电性。
- ◇ 能正确测量并绘出普通二极管的伏安特性曲线。
- ◇ 能正确记录测量结果并能对结果作准确描述。
- ◇ 了解普通二极管的结构、符号、单向导电性、温度特性等。
- ◇ 了解普通二极管的等效电路模型。



工作任务

- ◇ 普通二极管单向导电性测试电路的装接。
- ◇ 普通二极管单向导电性的测试、结果记录及描述。
- ◇ 普通二极管伏安特性曲线的测试、结果记录及绘制。



看一看

各种普通二极管（简称二极管，区别于稳压、变容、发光、光敏等特殊二极管）器件的外形图及封装形式如图 1-1 所示。

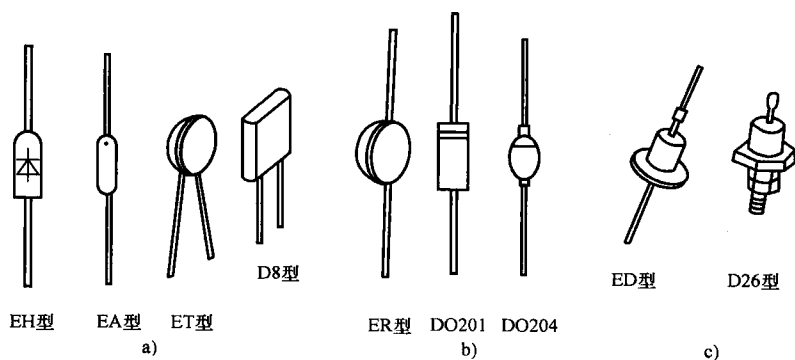


图 1-1 各种普通二极管外形图及封装形式

a) 小功率二极管 b) 中功率整流二极管 c) 大功率整流二极管

二极管的基本结构如图 1-2a 所示。二极管通常由管芯、管壳和电极三部分组成。其核心组成部分管芯由 P 型半导体和 N 型半导体相互紧密结合所构成。为了使二极管能与外部电路进行可靠连接，需要在 P 区和 N 区两端引出两个电极引线或贴片焊接区（贴片元器件），并加以封装（管壳）。二极管的电路符号如图 1-2b 所示，其箭头方向表示正向电流的方向，即由阳极指向阴极的方向。

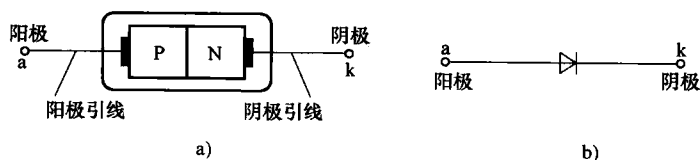


图 1-2 二极管的结构和符号

a) 结构示意图 b) 符号

二极管种类很多，分类方法也不相同。按所用的半导体材料可分为硅管和锗管；按功能可分为开关管、整流管、稳压管、变容管、发光管和光电（敏）管等，其中开关管和整流管统称为普通二极管，其他则统称为特殊二极管；按工作电流大小可分为小电流管和大电流管；按耐压高低可分为低压管 and 高压管；按工作频率高低可分为低频管和高频管等。具体型号及选择可查阅相关器件手册。

二极管的命名方法见附录 A。

任务 1.1.1 二极管单向导电性的测试



做一做

测试工作任务书

任务名称	二极管单向导电性的测试	任务编号	AMP. T1. 1
任务要求	按测试程序要求完成所有测试内容，并撰写测试报告		
测试设备	模拟电路综合测试台 1 台，0~30V 直流稳压电源 1 台，数字万用表 1 块，毫安表 1 只，微安表 1 只		
元器件	VD 为 1N4148， R 为 $1k\Omega$		
测试电路			
测试程序	① 按上图接好电路 ② 由直流稳压电源输出 10V 电压接入输入端，即 $U_i = +10V$（此时二极管两端所加的电压为正向电压），测量输出电压和电流的大小，并记录 $U_o = \underline{\hspace{2cm}} V$，$I = \underline{\hspace{2cm}} mA$ 测量此时二极管两端的电压为 $U_{VD} = \underline{\hspace{2cm}} V$ 结论：当二极管两端所加的电压为正向电压时，二极管将 <u> </u>（导通/截止，截止即不导通） ③ 保持步骤②，将二极管反接（此时二极管两端所加的电压为反向电压），测量输出电压和电流的大小，并记录：$U_o = \underline{\hspace{2cm}} V$；$I = \underline{\hspace{2cm}} mA$ 结论：当二极管两端所加的电压为反向电压时，二极管将 <u> </u>（导通/截止） ④ 用万用表直接测量二极管的正、反向电阻，比较大小并记录：正向电阻 = <u> </u> $k\Omega$，反向电阻 = <u> </u> $k\Omega$ 结论：二极管 <u> </u>（具有/不具有）单向导电性，且正向导通时，导通电压降约为 <u> </u>（零/零点几/几）伏		
结论与体会			



读一读

半导体器件是电子电路中应用最普遍的基本元件，是由经过特殊加工且性能可控的半导体材料制成的。

1. 本征半导体

(1) 半导体材料

所谓半导体是指导电能力介于导体和绝缘体之间的物质。最常用的半导体材料是硅

(Si) 和锗 (Ge) 两种元素半导体。

半导体具有如下特性：

- ① 当半导体受到外界光和热的激发时，其导电能力会发生显著变化（即光敏与热敏特性）。
- ② 在纯净的半导体中加入微量的杂质，其导电能力会有显著的增加（即掺杂特性）。

(2) 本征半导体及其导电作用

1) 本征半导体

本征半导体是完全纯净的、结构完整的半导体晶体，如图 1-3a 所示。

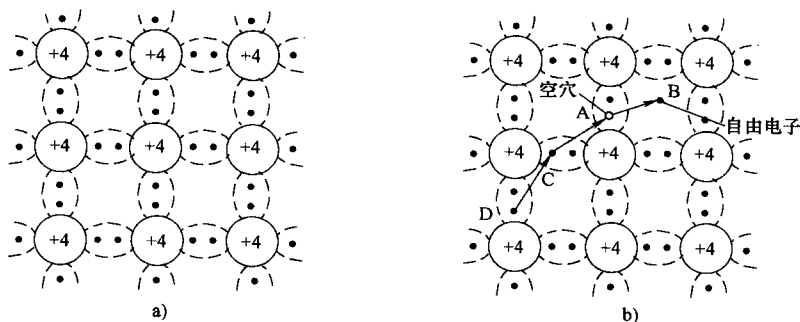


图 1-3 本征半导体

a) 结构示意图 b) 本征激发

在热力学温度为 0K （即 -273.15°C ）时，本征半导体中的价电子不能挣脱共价键的束缚，不能自由移动。此时，本征半导体是不能导电的。当温度升高或受光照射时，价电子以热运动的形式不断地从外界获取能量，少数价电子获得足够大的能量而挣脱共价键的束缚，成为自由电子，如图 1-3b（B 处）所示，这种现象称为本征激发。

2) 两种载流子

当价电子挣脱共价键的束缚成为自由电子，就同时在原来的共价键的相应位置上留下一个空位，这个空位称为空穴。空穴是一种带正电荷的载流子，其电量与电子电量相等。如图 1-3b 所示，其中 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，所以称为电子空穴对。

可见，在本征半导体中存在两种载流子，带负电荷的自由电子和带正电荷的空穴。金属导体中只有一种载流子，即自由电子，这是二者的一个重要区别。但由于本征激发产生的电子空穴对的数目很少，载流子浓度很低，因此本征半导体的导电能力很弱。

在本征激发产生电子空穴对的同时，自由电子在运动中因能量的损失有可能和空穴相遇，重新被共价键束缚起来，电子空穴对消失，这种现象称为“复合”。显然，在一定的温度下，激发和复合都在不停地进行，但最终将达到动态平衡。

(3) 杂质半导体

通过扩散工艺，在本征半导体中掺入微量合适的杂质，就会使半导体的导电性能发生显著改变，形成杂质半导体。

1) N 型半导体

在纯净的硅（或锗）晶体中掺入微量的 5 价元素磷，就形成了 N 型半导体。杂质磷原子有 5 个价电子，它以 4 个价电子与周围的硅原子形成共价键，多余的一个价电子处于共价键之外，很

容易成为自由电子，而磷原子本身因失去电子变成带正电荷的离子，如图 1-4 所示。

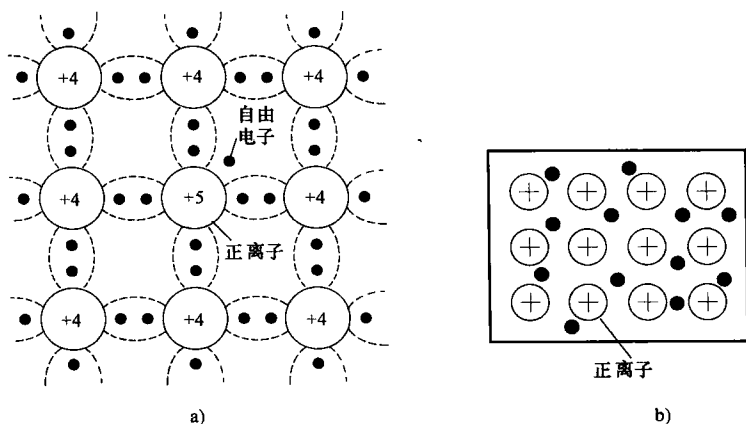


图 1-4 N 型半导体

a) 结构示意图 b) 离子和载流子 (不计本征激发)

由于这种杂质原子可以提供自由电子，因此称为施主杂质。通常，掺杂所产生的自由电子浓度远大于本征激发所产生的自由电子或空穴的浓度，所以杂质半导体的导电性能远超过本征半导体。

显然，在 N 型半导体中，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)，空穴为少数载流子 (简称少子)。多子的浓度取决于所掺杂质的浓度，而少子是由本征激发产生的，因此它的浓度与温度或光照密切相关。

2) P 型半导体

在纯净的硅 (或锗) 晶体中掺入微量的 3 价元素硼，就形成了 P 型半导体。由于硼原子只有 3 个价电子，它与周围的硅原子形成共价键时，因缺少一个电子而产生一个空位 (即空穴)。在室温下它很容易吸引邻近硅原子的价电子来填补，于是杂质硼原子变为带负电荷的离子，而邻近硅原子的共价键中则出现了一个空穴，如图 1-5 所示。

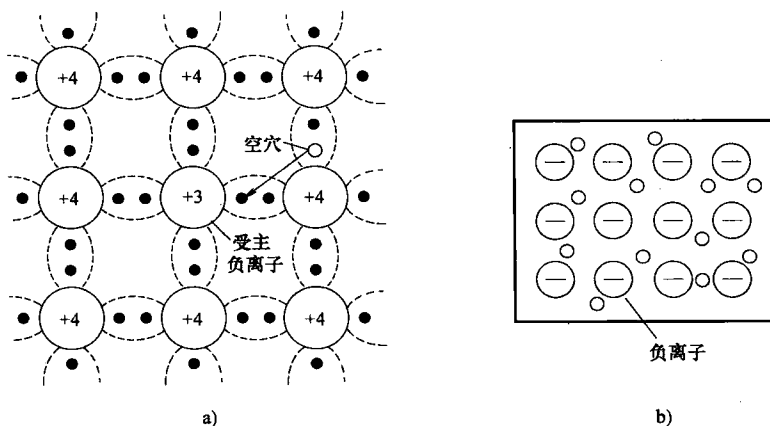


图 1-5 P 型半导体

a) 结构示意图 b) 离子和载流子 (不计本征激发)

由于这种杂质原子能吸收电子，因此称为受主杂质。显然，在 P 型半导体中，空穴是多子，而自由电子是少子。

2. 二极管的单向导电性

二极管最基本的特性就是单向导电性。由于二极管的组成核心为 PN 结，因此必须首先了解 PN 结的形成及其导电机理。

(1) PN 结的形成

如果将 P 型半导体和 N 型半导体制作在同一块本征半导体基片上，在它们的交界面就会形成一层很薄的特殊导电层即 PN 结。PN 结是构成各种半导体器件的基础。

1) 多子的扩散运动

如图 1-6a 所示，由于 N 区的电子多空穴少，而 P 区则空穴多电子少，在交界面两侧就出现了浓度差，从而引起了多数载流子的扩散运动。N 区的电子向 P 区扩散，而 P 区的空穴也要向 N 区扩散。扩散到相反区域的载流子将被大量复合，在交界面附近载流子的浓度就会下降，仅留下不能移动的杂质离子，从而形成了一个很薄的空间电荷区，这就是 PN 结，又称为耗尽层，如图 1-6b 所示。

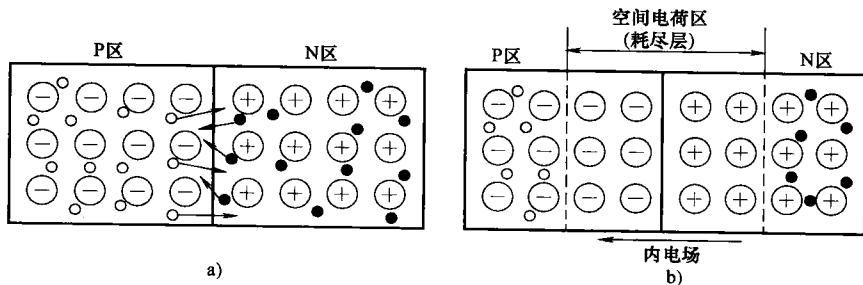


图 1-6 PN 结的形成

a) 载流子的扩散运动 b) 平衡状态下的 PN 结

2) 少子的漂移运动

空间电荷区出现的同时，也产生了一个由 N 区指向 P 区的内电场。显然，内电场将阻止多子的扩散，因此空间电荷区又称为势垒区或阻挡层。另一方面，内电场将引起少数载流子的漂移运动，P 区的电子向 N 区运动，而 N 区的空穴向 P 区运动。

因此，在交界面两侧同时存在扩散和漂移这两种方向相反的运动。显然，在无外电场或其他激发作用下，扩散和漂移将达到动态平衡，空间电荷区的宽度基本保持不变。此时，扩散电流与漂移电流大小相等，方向相反，流过 PN 结的总电流为零。

(2) PN 结的单向导电性

若在 PN 结两端外加电压，即给 PN 结加偏置，就将破坏原来的平衡状态，PN 结中将有电流流过。而当外加电压极性不同时，PN 表现出截然不同的导电性能，即呈现出单向导电性。

1) 正向导通

若 PN 结的 P 端接电源正极、N 端接电源负极，这种接法称为正向偏置，简称正偏，如图 1-7a 所示。正偏时，PN 结变窄，流过较大的正向电流（主要为多子的扩散电流），其方

向由 P 区指向 N 区。此时 PN 结对外电路呈现较小的电阻, 这种状态称为正向导通。

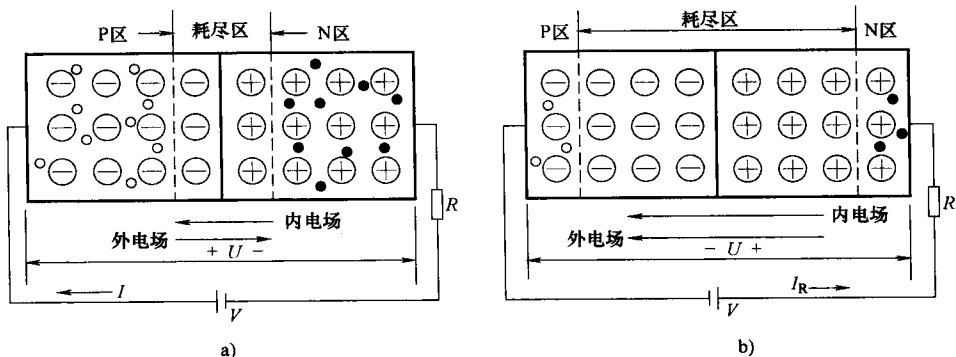


图 1-7 外加电压时的 PN 结

a) 正偏 b) 反偏

2) 反向截止

若 PN 结的 P 端接电源负极、N 端接电源正极, 这种接法称为反向偏置, 简称反偏, 如图 1-7b 所示。反偏时, PN 结变宽, 流过较小的反向电流 (主要为少子的漂移电流), 其方向由 N 区指向 P 区。此时 PN 结对外电路呈现较高的电阻, 这种状态称为反向截止。

综上所述, PN 结正向导通、反向截止, 这就是 PN 结的单向导电性, 它决定了二极管的单向导电性。

任务 1.1.2 二极管伏安特性的测试



做一做

测试工作任务书

任务名称	二极管伏安特性的测试	任务编号	AMP. T1. 2
任务要求	按测试程序要求完成所有测试内容, 并撰写测试报告		
测试设备	模拟电路综合测试台 1 台, 0~30V 直流稳压电源 1 台, 数字万用表 1 块, 毫安表 1 只, 微安表 1 只		
元器件	VD 为 1N4148, R 为 1k Ω		
测试电路			
	a) 正向特性测量电路	b) 反向特性测量电路	

(续)

任务名称	二极管伏安特性的测试				任务编号		AMP. T1. 2																																				
测试程序	① 按图 a 接好电路（此时读出的电压和电流值应视为正值）																																										
	② 按下表中的要求测量各点电压和电流值，并填入表中																																										
	③ 按图 b 接好电路（此时读出的电压和电流值应视为负值）																																										
	④ 按下表中的要求测量各点电压和电流值，并填入表中																																										
	⑤ 根据测量结果，在坐标纸上大致绘出二极管的伏安特性曲线，即 $I-U$ 关系曲线（ U 为横坐标， I 为纵坐标）																																										
	<table><tr><td>U/V</td><td>0</td><td>0.5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>I/mA</td><td></td><td></td><td>0.5</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>5</td><td>10</td></tr><tr><td>U/V</td><td>-1</td><td>-10</td><td>-20</td><td colspan="5"></td></tr><tr><td>$I/\mu A$</td><td></td><td></td><td></td><td colspan="5"></td></tr></table>								U/V	0	0.5							I/mA			0.5	1	2	3	5	10	U/V	-1	-10	-20						$I/\mu A$							
U/V	0	0.5																																									
I/mA			0.5	1	2	3	5	10																																			
U/V	-1	-10	-20																																								
$I/\mu A$																																											
结论与体会																																											



想一想

二极管正常工作时, 其偏置是正偏还是反偏? 或者两种情况都有可能? 为什么?



读一读

1. 二极管的伏安特性

如图 1-8 所示为二极管的伏安特性曲线。为了使曲线清晰, 横轴所代表的电压在 $U > 0$ 和 $U < 0$ 两部分采用不同的比例, 纵轴所代表的电流在 $I > 0$ 和 $I < 0$ 两部分则采用不同的单位。

(1) 正向特性

二极管两端不加电压时, 其电流为零, 故特性曲线从原点开始。正向特性曲线开始部分变化很平缓, 表明正向电压较小时, 正向电流很小, 此时二极管实际上没有导通, 工作于“死区”。死区以后的正向特性曲线上升较快, 表明只有在正向电压超过某一数值后, 电流才显著增大, 这个电压称为导通电压或开启电压, 用 U_{on} 表示。在室温下, 硅管的 $U_{on} \approx 0.5V$, 锗管的 $U_{on} \approx 0.1V$ 。只有当 $U > U_{on}$ 时, 正向电流从零开始随端电压按指数规律增大, 二极管才真正处于导通状态, 呈现很小的电阻。当正向电流较大时, 正向特性几乎与横轴垂直, 说明当二极管导通时, 二极管两端电压 (称为管压降, 用 U_{VD} 表示) 变化很小, 通常, 硅管的管压降约为 $0.6 \sim 0.8V$, 锗管的管压降约为 $0.1 \sim 0.3V$ 。

(2) 反向特性

反向特性曲线靠近横轴, 说明二极管外加反向电压时, 反向电流很小, 二极管处于截止状态, 呈现出很大的电阻, 而且当反向电压稍大后, 反向电流基本不变, 即达到饱和。因此

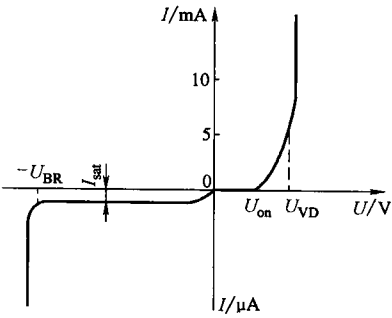


图 1-8 二极管的伏安特性曲线

二极管的反向电流又称为反向饱和电流, 用 I_{sat} 表示。小功率硅管的反向电流一般小于 $0.1\mu\text{A}$, 而锗管通常为几微安。反向电流越小, 二极管的单向导电性越好。

二极管的伏安特性也可以用特性方程来描述。

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

$$U_T = kT/q$$

式中, I_{sat} 为反向饱和电流; U_T 为温度电压当量; k 为玻耳兹曼常数; T 为热力学温度; q 为电子电量。在室温为 27°C 或 300K 时, $U_T \approx 26\text{mV}$ 。

2. 二极管的温度特性

半导体材料具有热敏特性。因此, 二极管对温度也有一定的敏感性。在室温附近, 温度每升高 1°C , 正向压降减小 $2 \sim 2.5\text{mV}$; 温度每升高 10°C , 反向电流约增大一倍。显然, 二极管的反向特性受温度的影响较大。这一点对二极管的实际应用是不利的, 因为不管是普通二极管还是特殊二极管均有可能工作在反向区。需要指出的是, 温度对二极管的影响是不可避免的, 因为温度总是存在且经常变化的。

3. 二极管等效电路模型

二极管是一种非线性器件, 因而对二极管电路的严格分析一般要采用非线性电路的分析方法, 具有一定的困难。这里主要介绍普通二极管的等效电路分析法。

(1) 理想模型

图 1-9a 表示理想二极管的 U - I 特性, 其中的虚线表示实际二极管的 U - I 特性。图 1-9b 为它的等效电路。由图 1-9a 可见, 在正向偏置时, 其管压降为 0V , 而当二极管处于反向偏置时, 认为它的电阻为无穷大, 电流为 0 。在实际的电路中, 当电源电压远大于二极管的管压降时, 利用此法来近似分析是可行的。

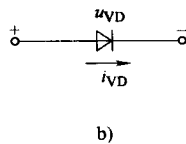
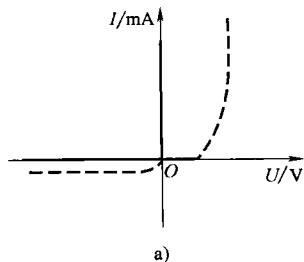


图 1-9 理想模型
a) U - I 特性 b) 等效电路

(2) 恒压降模型

恒压降模型如图 1-10 所示, 其基本思想是当二极管导通后, 其管压降 U_{VD} 认为是恒定的, 且不随电流的变化而变化, 典型值为 0.7V 。不过, 这只有当二极管的电流 i_{VD} 近似等于或大于 1mA 时才是可行的。该模型提供了合理的近似, 因此应用也较广。

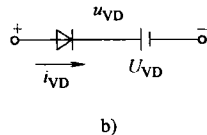
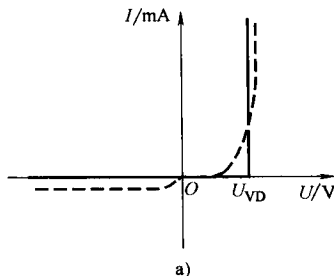


图 1-10 恒压降模型
a) U - I 特性 b) 等效电路

(3) 折线模型

为了较真实地描述二极管 U - I