

中等专业学校
工科电子类 规划教材

DIANZHI JISHU JICHU

电子技术 基础

江 吟 清

华中理工大学出版社



中等专业学校教材

非电专业通用

电子技术基础

江吟清

华中理工大学出版社

武汉

(鄂)新登字第 10 号

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础/江吟清

武汉:华中理工大学出版社,1995.7

ISBN 7-5609-1064-5

I. 电…

II. 江…

III. 电子技术-中等专业学校-教材

IV. TN3.30

电子技术基础

江吟清

责任编辑 郑兆昭

*

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山 邮编 430074)

新华书店湖北发行所经销

武汉市新华印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:19.5 字数:464 000

1995 年 7 月第 1 版 1997 年 3 月第 3 次印刷

印数:10 001—16 000

ISBN 7-5609-1064-5/TN·33

定价:16.80 元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本教材是按机电部中专工科非电子类专业《电子技术基础》教学大纲要求,总结作者多年的教学实践经验,本着教学改革精神编写而成。由机电部中专电子技术专业教学指导委员会征稿并推荐出版。

全书分三大部分:模拟电子技术、数字电子技术和电力电子技术。共十二章。各部分配有适量的例题、小结、思考题、应用实例及阅读材料。教学时数为 120 学时(含实验)。

本书图形符号及文字符号采用国家最新标准。

本教材适用于中专工科非电专业的基础课程教学,也可作为职业学校非电专业、工厂技术人员的电子技术培训教材和自学参考书。

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作的规定,我部承担了全国高等学校和中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力,有关出版社的紧密配合,从1978~1990年,已编审、出版了三个轮次教材,及时供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要,贯彻国家教委《高等教育“八五”期间教材建设规划纲要》的精神,“以全面提高教材质量水平为中心,保证重点教材,保持教材相对稳定,适当扩大教材品种,逐步完善教材配套”,作为“八五”期间工科电子类专业教材建设工作的指导思想,组织我部所属的八个高等学校教材编审委员会和四个中等专业学校专业教学指导委员会,在总结前三轮教材工作的基础上,根据教育形势的发展和教学改革的需要,制订了1991~1995年的“八五”(第四轮)教材编审出版规划。列入规划的,以主要专业主干课程教材及其辅助教材为主的教材约300余种。这批教材的评选推荐和编审工作,由各编委会或教学指导委员会组织进行。

这批教材的书稿,其一是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐,由编审委员会(小组)评选择优产生出来的,其二是在认真遴选主编人的条件下进行约编的,其三是经过质量调查在前几轮组织编写出版的教材中修编的。广大编审者、各编审委员会(小组)、教学指导委员会和有关出版社,为保证教材的出版和提高教材的质量,作出了不懈的努力。

限于水平和经验,这批教材的编审、出版工作还可能有缺点和不足之处,希望使用教材的单位,广大教师和同学积极提出批评和建议,共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

前 言

本书系按机械电子工业部的工科电子类专业教材 1991~1995 年编审规划出版,由机电部中专电子技术专业教学指导委员会征稿并推荐出版。责任编辑为金文华。

本书由无锡无线电工业学校江吟清主编,辽宁电子工业学校纪嘉强主审。全书分为三部分共 12 章。第一部分为模拟电子技术,包括第 1~5 章。这部分介绍半导体二极管、三极管特性,讨论放大、振荡及整流电路的电子技术和应用,在讲清基本放大电路工作原理的基础上,专章介绍了集成运算放大器及其应用。第二部分为数字电子技术,包括第 6~10 章。这部分内容有逻辑代数基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、脉冲波形的产生和整形。这部分加强了中大规模数字集成电路功能和应用知识的介绍,例如:555 时基电路。第三部分为电力电子技术,包括第 11~12 章,这部分介绍了晶闸管特性及可控整流技术,并简单介绍了有源逆变、无源逆变、直流斩波器的工作原理、典型电路及应用。

使用本教材时注意:

1. 书中的例题、思考题、小结、习题、应用实例及阅读材料是为适应中专文化素质特点,加强实践性、应用性、理论联系实际而设置的多种教学手段,可根据需要选用。
2. 非电专业门类较多,为满足不同专业的需求,书中所列的章节条目,可当“菜单”选用,次序也可在一定范围内适当调整。
3. 本书为《电子技术基础》课程的理论教学内容。各章学时数建议分配如下:

章 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
学 时 (含实验)	8	24	12	4	6	8	8	6	16	10	12	6
实验	4	6	2		2		2		4	4	4	

本书第四章由莫善珏编写(特邀),其余由江吟清编写,在编写过程中得到了无锡无线电工业学校电子学科、电工线路组同志们的极大关心和支持,周元兴、丁武斌同志参加了审稿,并提出了许多宝贵意见和建议,特在此致以诚挚的感谢。由于编者水平有限,书中难免还存在不妥之处,敬希前辈同仁和读者批评指正。

编 者

1994. 4. 17

于无锡

目 录

第一部分 模拟电子技术

第一章 半导体二极管及整流电路

1.1 半导体基本知识	(2)	1.3 半导体二极管整流电路	(13)
1.1.1 本征半导体	(2)	1.3.1 单相半波整流电路	(14)
1.1.2 杂质半导体	(3)	1.3.2 单相全波整流电路	(15)
1.1.3 PN 结及其单向导电性	(5)	1.3.3 单相桥式整流电路	(16)
1.2 半导体二极管	(7)	1.3.4 电容滤波电路	(18)
1.2.1 结构、分类与命名	(7)	1.4 硅稳压管稳压电路	(19)
1.2.2 伏安特性曲线及主要参数	(9)	习题(E1)	(22)
1.2.3 硅稳压管	(11)		

第二章 晶体三极管及基本放大电路

2.1 晶体三极管	(24)	2.5.3 反馈类型的判断方法	(62)
2.1.1 三极管的基本结构	(24)	2.5.4 负反馈放大器中的几个定义式	(65)
2.1.2 三极管的电流放大作用	(25)	2.5.5 负反馈对放大器性能的影响	(66)
2.1.3 三极管共射极接法的特性曲线	(27)	2.6 多级放大电路	(68)
2.1.4 三极管的主要参数	(29)	2.6.1 级间耦合方式及特点	(68)
2.1.5 晶体三极管的分类和型号	(31)	2.6.2 阻容耦合放大电路的分析方法	(70)
2.2 基本放大电路	(35)	2.7 差动放大电路	(70)
2.2.1 组成与工作原理	(36)	2.7.1 直耦放大电路中的特殊问题	(70)
2.2.2 直流通路与交流通路	(39)	2.7.2 差动放大电路	(72)
2.2.3 微变等效电路法	(41)	2.8 场效应管及其放大电路	(79)
2.2.4 图解法	(47)	2.8.1 结型场效应管	(79)
2.3 分压式电流负反馈偏置电路	(53)	2.8.2 绝缘栅场效应管	(83)
2.3.1 静态工作点稳定的概念	(53)	2.8.3 场效应管放大电路	(86)
2.3.2 分压式偏置电路	(53)	习题(E2)	(89)
2.4 射极输出器	(57)		
2.5 放大电路中的负反馈	(61)		
2.5.1 反馈和负反馈概念	(61)		
2.5.2 反馈的类型	(62)		

第三章 集成运算放大器及其应用

3.1 集成运放简介	(94)	3.1.1 集成运放基本结构	(95)
		3.1.2 集成运放主要参数及使用知识	

..... (95)	和输出电阻 (102)
3.2 集成运放电压传输特性..... (98)	3.3.3 运算电路 (104)
3.3 信号运算电路——线性应用..... (99)	3.4 电压比较器 (107)
3.3.1 三种输入方式 (99)	3.5 集成运放的其它应用 (109)
3.3.2 三种输入方式下的输入电阻	思考题与习题(E3) (112)

第四章 正弦波振荡电路

4.1 正弦波振荡器工作原理 (115)	4.4 石英晶体振荡电路 (123)
4.2 RC 正弦波振荡电路 (117)	思考题与习题(E4) (125)
4.3 LC 正弦波振荡电路 (119)	

第五章 功率放大电路及直流稳压电路

5.1 最简单的功率放大电路 (127)	5.5 集成功率放大器 (132)
——射极输出器..... (127)	5.6 串联型直流稳压电路 (133)
5.2 OCL 互补对称功率放大电路 (128)	5.6.1 串联型直流稳压电路 (133)
5.3 准互补对称功放电路 (130)	5.6.2 集成稳压器 (135)
5.4 OTL 互补对称功放电路 (132)	思考题与习题(E5) (137)

第二部分 数字电子技术

第六章 数字电路基本知识

6.1 数制与码制 (141)	6.3 逻辑代数的基本公式和基本规则 (148)
6.1.1 常用数制 (141)	6.3.1 基本公式 (148)
6.1.2 不同进制数的换算 (142)	6.3.2 3条基本规则 (150)
6.1.3 二进制代码 (144)	6.4 逻辑函数的化简 (151)
6.2 逻辑代数 (145)	6.4.1 代数法化简 (151)
6.2.1 逻辑代数基本概念 (145)	6.4.2 卡诺图化简法 (152)
6.2.2 3种基本逻辑运算 (146)	习题(E6) (159)
6.2.3 逻辑函数及其表示法 (147)	

第七章 逻辑门电路

7.1 晶体二极管、三极管的开关特性 (161)	7.3.2 复合逻辑门 (170)
7.1.1 脉冲信号 (161)	7.3.3 正逻辑和负逻辑 (172)
7.1.2 二极管开关特性 (162)	7.4 TTL 集成与非门 (173)
7.1.3 三极管开关特性 (163)	7.4.1 TTL 集成与非门 (173)
7.2 反相器 (164)	7.4.2 三态门 (176)
7.3 基本逻辑门 (167)	7.4.3 TTL 使用注意事项 (177)
7.3.1 基本逻辑门 (167)	7.5 CMOS 门电路 (179)
	7.5.1 CMOS 非门 (179)

7.5.2 CMOS 与非门、或非门	(179)	 注意事项	(181)
7.5.3 CMOS 传输门	(180)	思考题与习题(E7)	(182)
7.5.4 CMOS 器件的特点和使用			

第八章 组合逻辑电路

8.1 组合逻辑电路的分析和设计方法	(184)	8.4.1 数据选择器	(195)
8.1.1 组合逻辑电路的分析方法	(184)	8.4.2 数据分配器	(196)
8.1.2 组合逻辑电路的设计	(185)	8.5 数值比较器	(196)
8.2 编码器	(186)	8.6 加法器	(198)
8.2.1 二进制编码器	(186)	8.6.1 半加器	(198)
8.2.2 键控 8421BCD 编码器	(187)	8.6.2 全加器	(199)
8.2.3 优先编码器	(187)	8.7 组合逻辑电路中的竞争和冒险	(200)
8.3 译码器	(190)	8.7.1 什么是竞争和冒险	(200)
8.3.1 二进制译码器	(190)	8.7.2 产生竞争、冒险的原因	(200)
8.3.2 8421BCD 译码器	(191)	8.7.3 竞争冒险的判断	(202)
8.3.3 二十进制显示译码器	(192)	8.7.4 冒险现象的消除方法	(202)
8.4 数据选择器和数据分配器	(195)	思考题与习题(E8)	(203)

第九章 双稳态触发器和常用时序逻辑电路

9.1 触发器的基本功能	(205)	9.4.2 触发器逻辑功能的转换	(216)
9.1.1 基本 RS 触发器	(205)	9.5 触发器应用举例——消除机械式	
9.1.2 同步 RS 触发器	(207)	开关抖动电路	(217)
9.1.3 JK 触发器和 D 触发器基本		思考题与习题(E9-1)	(220)
逻辑功能	(208)	9.6 寄存器	(221)
9.1.4 同步触发器的空翻问题	(210)	9.6.1 数码寄存器	(221)
9.2 主从型触发器	(210)	9.6.2 移位寄存器	(223)
9.2.1 主从 RS 触发器	(210)	9.7 计数器	(224)
9.2.2 主从 JK 触发器	(211)	9.7.1 异步计数器	(225)
9.3 边沿触发器	(213)	9.7.2 同步计数器	(227)
9.3.1 边沿 JK 触发器	(213)	9.7.3 集成计数器	(230)
9.3.2 边沿 D 触发器——维持阻塞型		9.8 顺序脉冲发生器	(234)
D 触发器	(215)	9.9 数字集成电路计数器应用实例	
9.4 国产集成触发器及触发器逻辑		——数字钟	(236)
功能的转换	(216)	思考题与习题(E9-2)	(237)
9.4.1 国产集成触发器产品	(216)		

第十章 脉冲波形的产生和整形

10.1 RC 电路	(240)	10.2 555 集成定时器	(245)
10.1.1 三要素法	(240)	10.3 多谐振荡器	(247)
10.1.2 微分电路和积分电路	(243)	10.4 单稳态触发器	(249)

10.5 施密特触发器..... (252)	习题(E10) (256)
------------------------	---------------------

第三部分 电力电子技术

第十一章 晶闸管与可控整流电路

11.1 晶闸管..... (259)	11.3.1 三相桥式不可控整流电路 (270)
11.1.1 晶闸管的结构 (259)	11.3.2 三相全控桥式整流电路 ... (271)
11.1.2 晶闸管的工作原理 (260)	11.4 晶闸管的保护..... (273)
11.1.3 晶闸管伏安特性和主要参数 (261)	11.5 单结晶体管触发电路..... (274)
11.1.4 大功率整流二极管 (263)	11.5.1 单结晶体管 (274)
11.2 单相可控整流电路..... (263)	11.5.2 单结晶体管振荡电路 (276)
11.2.1 单相半波可控整流电路 ... (263)	11.5.3 单结晶体管触发电路 (277)
11.2.2 单相半控桥式整流电路 ... (267)	11.6 简易触发电路..... (278)
11.2.3 单相全控桥式整流电路 (268)	11.7 应用实例..... (280)
11.3 三相桥式可控整流电路..... (270)	习题(E11) (284)

第十二章 应用晶闸管的其它电路

12.1 晶闸管交流调压电路..... (285)	12.2.3 有源逆变应用举例 (291)
12.1.1 单相交流调压 (285)	12.3 逆变器..... (292)
12.1.2 过零触发和晶闸管调功器 (286)	12.3.1 逆变器工作原理 (293)
12.2 有源逆变电路..... (287)	12.3.2 开关元件..... (294)
12.2.1 有源逆变的工作原理 (287)	12.4 直流斩波器..... (295)
12.2.2 逆变失败及最小逆变角 ... (290)	思考题与习题(E12) (297)
	参考文献..... (299)

第一部分 模拟电子技术

电子电路中的电信号有两大类:模拟信号和数字信号。

所谓模拟信号是指模拟各种物理量的电压和电流信号。这类电信号随时间的变化是连续的,波形是平滑的,可以在一定范围内任意取值。例如由话筒得到的语音信号就是模拟信号。

模拟电子电路中的工作信号都是模拟信号,即都是连续变化的信号。整流、放大、振荡电路都是典型的模拟电子电路。

本书模拟电子技术部分将介绍常用半导体器件及基本放大电路方面的知识,并在此基础上对集成运算放大器、集成稳压器等模拟集成电路的原理和应用作专章专节介绍。这部分共分五章,各章内容简介如下:

第一章半导体基本知识介绍PN结的单向导电性、半导体二极管、硅稳压管及单相整流滤波电路。

第二章晶体三极管及基本放大电路介绍晶体三极管、结型场效应管、MOS管的特性、参数及使用知识;介绍放大的概念,基本放大电路的分析和计算方法。

第三章集成运算放大器介绍集成运算放大器的特性、参数及使用常识;介绍集成运算放大器的线性应用和非线性应用。

第四章正弦波振荡电路介绍常见正弦波振荡电路(包括RC、LC、石英晶体振荡器)的基本工作原理及应用。

第五章功率放大电路及直流稳压电源介绍功率放大电路的特殊问题,OCL及OTL功率放大电路原理,集成功率放大器;直流稳压电源以串联型直流稳压电路为例,介绍其工作原理及集成稳压器的知识。

第一章 半导体二极管及整流电路

半导体二极管是一种应用很广的电子元件。本章在简述半导体基本知识的基础上,介绍半导体二极管的特性和主要参数,并以整流电路为例讨论半导体二极管的应用。最后介绍稳压二极管及由稳压二极管构成的并联型直流稳压电路。

1.1 半导体基本知识

1.1.1 本征半导体

自然界的物质按导电能力差异分为导体、绝缘体和半导体三类。半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间,硅、锗是常用的半导体材料。

半导体除了导电能力介于导体与绝缘体之间外,还具有不同于其它物质的许多特殊性质。例如,在纯净的半导体材料中,掺入极微量(百万分之一)的有用杂质,它的导电能力会急剧(百万倍)增强。正是利用这一特性,制造出许多不同功能的半导体器件,如半导体二极管、半导体三极管、晶闸管、集成电路等。此外,半导体材料对光、热、电、磁等外界条件非常敏感,同一块半导体材料在不同温度或不同光强照射下,导电能力差异很大。利用这方面特性,可制成热敏元件,如热敏电阻;光敏元件,如光电二极管、光电三极管,光电耦合器件等。

物质都由原子组成。原子则由带正电的原子核和核外电子组成,电子分层绕核不停运转,

最外层的电子受原子核的束缚力较小,它对该物质的导电性能起着决定性作用。最外层电子叫价电子。硅和锗的原子结构如图 1-1 所示。它们都有 4 个价电子,都是 4 价元素。

半导体材料使用时都要制成晶体。晶体中的原子按一定规律整齐排列,图 1-2 所示为硅、锗晶体的平面结构示意。硅、锗原子组成晶体结构后,原子间距离很近,相互影响很大,原来属于某一原子的价电子为相邻两个原子所共有。

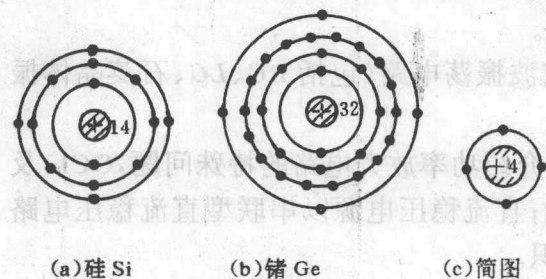


图 1-1 硅和锗的原子结构

每相邻的两个原子都共有一对电子,叫共有电子对,形成“共价键”结构。此时,每个硅原子外层形成拥有 8 个价电子的稳定结构。

完全纯净的半导体晶体称本征半导体。绝对零度和无外界激发时,本征半导体中共价键结构稳定,本征半导体相当于绝缘体。当外界能量激发(温度升高或受到光线照射)时,共价键中的价电子获得一定能量,其中少数价电子挣脱共价键的束缚成为自由电子。与此同时,共价键的位置上便留出空位,称为空穴,如图 1-3 所示。自由电子带负电,空穴带正电。空穴形成以后,出现的空位很容易被其附近的价电子或自由电子所填补,去填补的价电子又在原位上留下新的空穴。

如果存在外加电场,空穴就会定向地依次被相邻价电子(而不是自由电子)填补,其效果等

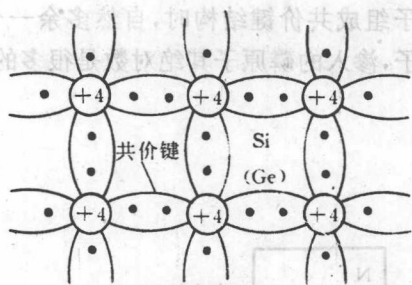


图 1-2 硅、锗晶体结构示意图

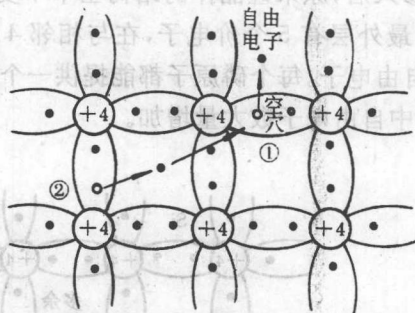


图 1-3 自由电子和空穴的形成

价于一个空穴在半导体定向移动一样,如图 1-4 所示。运载电荷的粒子称载流子,空穴也是一种载流子。可见,半导体中存在自由电子和空穴两种载流子。

在外电场作用下,半导体中的两种载流子将同时定向运动:自由电子逆电场方向作定向运动,形成电子电流;空穴则顺电场方向作定向运动,形成空穴电流。电子电流是带负电粒子的定向运动,空穴电流是带正电粒子的定向运动。半导体中的电流等于电子电流与空穴电流之和,如图 1-5 所示。

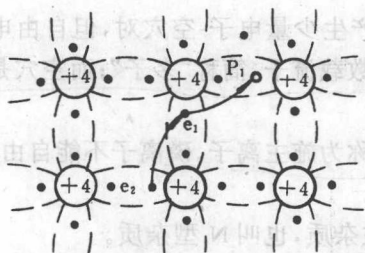


图 1-4 价电子填补空穴的运动

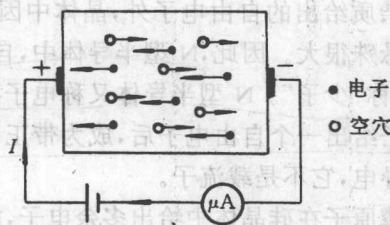


图 1-5 半导体中电流等于电子电流和空穴电流之和

在半导体中,不仅有电子载流子导电,而且有空穴载流子导电,这是半导体的一种特殊导电方式,也是半导体区别于导体的一个重要特性。

在半导体中,由于热运动不断产生自由电子,同时出现相等数量的空穴,这种现象叫“热激发”。由热激发形成的电子、空穴总是成对出现的,因此,称之为“电子-空穴对”。另一方面,自由电子在运动中又有可能填补某个空穴,使空穴消失,这是一种相反的过程,称为“复合”。在一定温度下,这种运动达到相对平衡,这时,热激发和复合的过程虽然仍在继续不断地进行,但“电子-空穴对”却维持一定的数目,即载流子维持一定的浓度。温度升高时,载流子浓度将按指数规律增加,因此,温度对半导体性能影响很大。常温下,纯净半导体中的载流子浓度很小,导电能力很差。

1.1.2 杂质半导体

在本征半导体中掺入微量的有用杂质,就会使半导体的导电性能发生显著变化。掺入杂质后的半导体叫杂质半导体。杂质半导体是制造半导体器件的基础材料。按掺入杂质性质的不同,杂质半导体可分为电子型半导体(N 型半导体)和空穴型半导体(P 型半导体)。

一、N 型半导体

在硅(或锗)晶体中掺入微量 5 价元素杂质,如磷,即获得 N 型半导体。因掺入的磷是微量

的,所以掺入后,原来硅晶体的结构基本不变,仅个别硅原子被磷原子取代,如图 1-6(a)所示。磷原子的最外层有 5 个价电子,在与相邻 4 个硅原子组成共价键结构时,自然多余一个价电子,形成自由电子。每个磷原子都能提供一个自由电子,掺入的磷原子其绝对数是很的,因而使半导体中自由电子数大量增加。

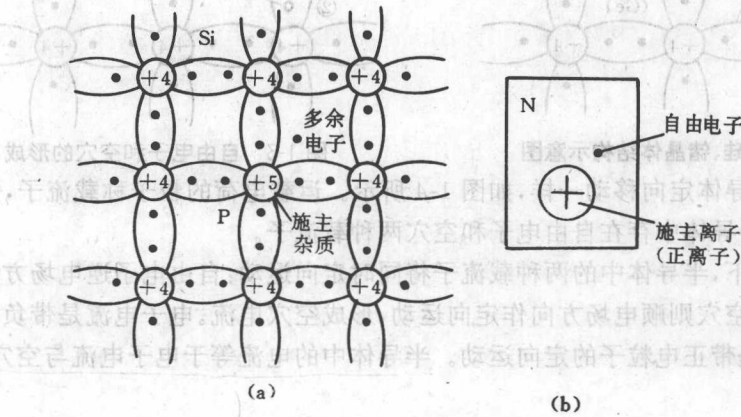


图 1-6 N 型半导体

除了杂质给出的自由电子外,晶体中因热激发也会产生少量电子-空穴对,但自由电子数与空穴数悬殊很大。因此,N 型半导体中,自由电子是多数载流子,简称“多子”;而空穴是少数载流子,简称“少子”。N 型半导体又称电子型半导体。

磷原子给出一个自由电子后,成为带正电的磷离子,称为施主离子。磷离子不能自由移动,不能参与导电,它不是载流子。

由于磷原子在硅晶体中给出多余电子,故称磷为施主杂质,也叫 N 型杂质。

N 型半导体中,正电荷量与负电荷量相等,对外不显电性。N 型半导体符号如图 1-6(b)所示。

二、P 型半导体

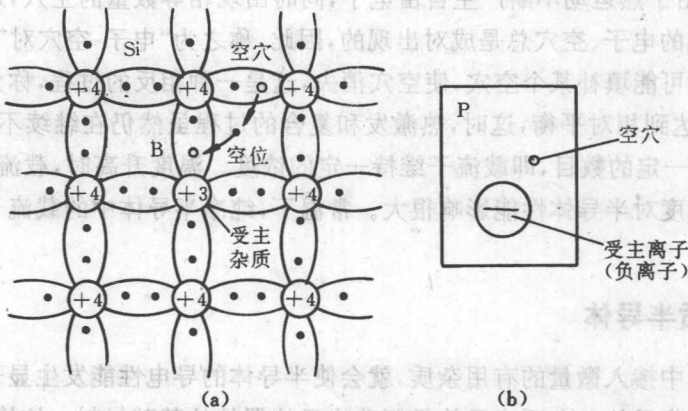


图 1-7 P 型半导体

在硅(或锗)晶体中掺入微量 3 价元素,如硼,即获得 P 型半导体,图 1-7(a)所示为在纯净硅中掺入硼的情况。硼是 3 价元素,最外层只有 3 个电子,所以在与硅原子组成共价键结构时,

因缺少一个电子,就形成了一个空位(不同于空穴)。这个空位被邻近的价电子所填补时,硼原子就成了带负电的离子,与此同时,在邻近处则出现了一个带正电的空穴。这样,掺入的硼杂质,其每一个原子都可提供一个空穴。故掺硼的结果,使空穴数目大大增加。这种半导体中,空穴数远大于自由电子数,空穴靠掺杂形成,是多数,称为多子;自由电子靠热激发形成,是少数,称为少子。P 型半导体又称空穴型半导体。硼原子获得电子后,成为负离子,也叫“受主”离子。由于它不能自由移动,故不能参与导电,因而也不是载流子。P 型半导体符号如图 1-7(b)所示。

1.1.3 PN 结及其单向导电性

如果在同一块半导体中,通过掺杂,使一部分形成 P 型半导体,另一部分形成 N 型半导体,则在 P 区与 N 区交界面上就会形成一个具有特殊导电性能的薄层——PN 结。PN 结的特殊导电性,是半导体二极管、三极管、场效应管、晶闸管及集成电路等多种半导体器件的基础。

一、PN 结的形成

P 区和 N 区形成后,就同一种载流子(空穴或电子)而言,在交界面两侧,两个区中的浓度相差很大,由于浓度差的缘故,将形成多数载流子的扩散运动,如图 1-8(a)所示。图中,P 区的多子空穴浓度大大高于 N 区,P 区的空穴将向 N 区扩散;N 区的电子浓度大大高于 P 区,N 区的多子电子将向 P 区扩散。扩散运动的结果,P 区一边失去空穴,形成了带负电的离子层;N 区一边失去电子,形成了带正电的离子层。由于离子不能移动,于是交界面两侧出现了一层很薄的带电区域,称为“空间电荷区”,这就是上面所说的 PN 结。因空间电荷区内的载流子已扩散掉了,所以空间电荷区又称为“耗尽层”。

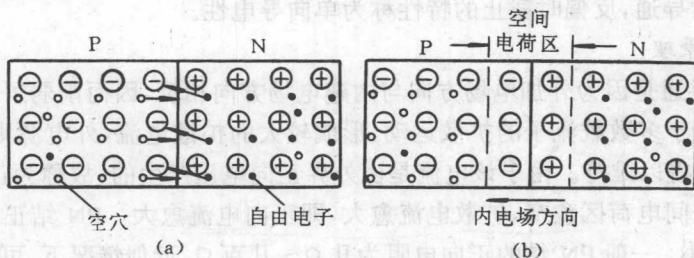


图 1-8 PN 结的形成

空间电荷区出现后,由于正负电荷间的相互作用,在空间电荷区中便形成了一个电场,方向从 N 区指向 P 区。由于这个电场是由载流子扩散运动,即由内部形成的,而不是外加电压形成的,故称为内建电场。载流子浓度差愈大,则空间电荷区愈宽,内建电场也愈强。内建电场的电场力使多数载流子的扩散受到阻力,因此,空间电荷区又叫阻挡层;另一方面,内建电场会促使少数载流子的运动。在内建电场作用下,N 区的少数载流子空穴会越过 PN 结向 P 区运动;P 区的少数载流子电子会越过 PN 结向 N 区运动。少数载流子在内建电场作用下的这种定向运动称为“漂移运动”。内建电场愈强,漂移运动愈强;内建电场愈弱,漂移运动愈弱。

上述 P 区和 N 区半导体中,多子的扩散运动和少子的漂移运动是互相联系又互相对立的两种过程。开始时,扩散占优势,空间电荷区逐渐加宽。以后,内建电场越来越强,扩散运动随之减弱,漂移运动却越来越强。最后,虽然扩散运动和漂移运动都在不断地进行,却会达到一种动态平衡,空间电荷区不再加宽,内建电场不再增强,PN 结就处在相对稳定状态,如图 1-8(b)所示。室温下,在平衡状态时,PN 结内建电场的大小,硅管约为 0.6~0.8V,锗管约为 0.1~

0.3V。

二、PN 结的单向导电性

PN 结的单向导电性是 PN 结的基本特性。

1. PN 结的单向导电性

图 1-9(a)实验中,给 PN 结外加正向电压(又称正向偏置,简称正偏),即 P 区接电池 GB 正极,N 区接电池 GB 负极,电路中的灯亮。实验说明 PN 结正偏时,相当于接通的开关,电路中电流较大,PN 结的这种状态称为正向导通状态。图 1-9(b)实验中,给 PN 结外加反向电场(又称反向偏置,简称反偏),即 P 区接电池 GB 负极,N 区接电池 GB 正极时,灯不亮。实验说明 PN 结反向偏置时,相当于断开的开关,这种状态通常称为反向截止状态。

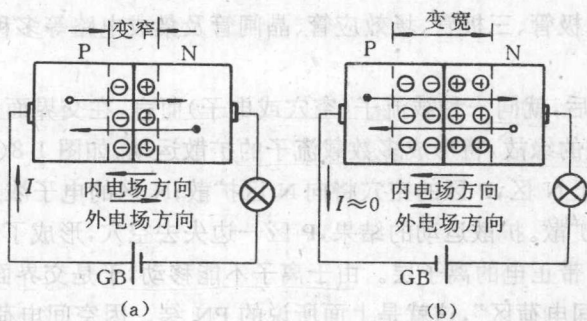


图 1-9 PN 结单向导电性实验

PN 结正偏时导通,反偏时截止的特性称为单向导电性。

2. 单向导电原理

PN 结正偏导通是因为外加电场方向与内建电场方向相反,因而削弱了内建电场,使空间电荷区变窄,有助于多数载流子的扩散运动,形成较大的扩散电流,外电源则不断地向半导体提供电荷,使电流得以维持。由于该电流是由外界正向电压产生的,故称为正向电流。外加正向电压愈大,则空间电荷区愈窄,扩散电流愈大,即正向电流愈大。PN 结正偏时电流较大,意味着正向电阻很小。一般 PN 结的正向电阻为几 Ω ~几百 Ω ,近似情况下,可看作接通的开关。

PN 结反偏时,外加电场与内建电场方向一致,使空间电荷区加宽,扩散很难进行。相反,倒有助于漂移运动,形成反向电流。由于漂移运动是少数载流子的运动,所以反向电流很小,可以认为,PN 结反偏时基本不导电。PN 结反偏时,反向电阻很大,一般为几 $k\Omega$ ~十几 $M\Omega$,近似情况下,可看作为断开的开关。

综上所述可见,PN 结的单向导电性是因为空间电荷区的存在及其随外加电压而变化的缘故。

思考题

1-1-1 杂质半导体中的多数载流子是怎样形成的?少数载流子又是怎样形成的?

1-1-2 P 型半导体中多数载流子是空穴,N 型半导体中多数载流子是电子。能否说 P 型半导体带正电,N 型半导体带负电?为什么?

1-1-3 扩散电流与漂移电流各是什么载流子的运动?

1-1-4 试简述 PN 结的形成及 PN 结单向导电原理。

1.2 半导体二极管

1.2.1 结构、分类与命名

半导体二极管(简称二极管),实际上就是由一个PN结外接两根电极引线,并以管壳(金属、塑料或玻璃)封装加固而成的。几种常见半导体二极管的外形及二极管电路符号如图1-10所示。图1-10(b)中,P区引线称为阳极,或正极;N区引线称为阴极或负极。箭头方向由P区指向N区,表示导通时的电流方向。半导体二极管文字符号以V表示。

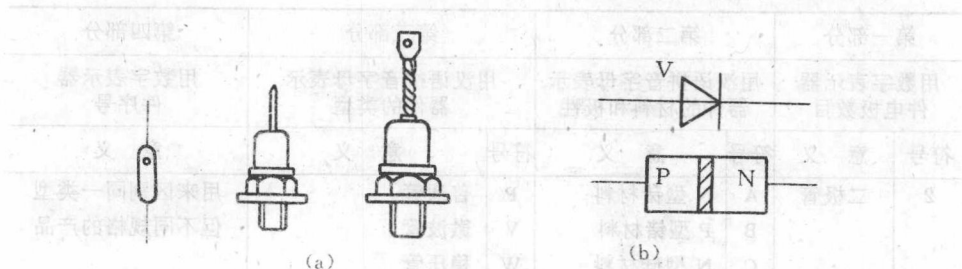


图 1-10 半导体二极管外形及符号

半导体二极管类型很多,按结构分,有点接触型和面接触型两类。点接触型二极管的结构如图1-11(a)所示。由于点接触型二极管PN结的结面积很小,所以不能承受高的反向电压和通过较大的电流(一般几十mA以下),但点接触型二极管高频特性好,适用于高频检波和小电流整流场合,也用作数字电路中的开关元件。面接触型二极管结构如图1-11(b)所示。由于面接触型二极管结面积比较大,允许通过的电流就大,可达几百mA至1kA以上,因而适用于整流。但由于极间电容大,故不宜用于高频电路。

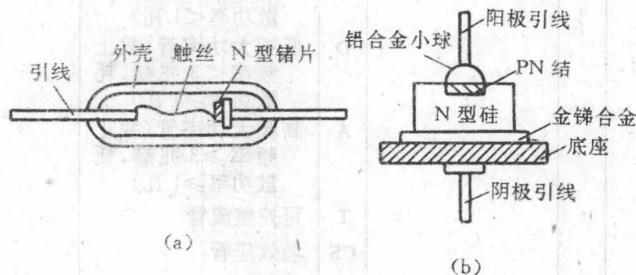


图 1-11 半导体二极管结构

二极管按制作材料的不同,分为硅二极管和锗二极管。锗二极管一般为小功率管,多作检波用。大功率的整流元件一般都采用硅材料,为利于散热和安装方便,采用螺栓结构。一般说,外形越大,功率也越大。

按用途分,普通二极管又有整流管、检波管、开关管、稳压管等。

二极管根据其外形、结构、材料、功率和用途分成各种类型。这些不同类型的管子都按国家标准来命名,附录1-1给出了国产半导体分立器件型号命名法。