



“十四五”职业教育国家规划教材

电子技术

第 3 版

主 编 夏继军

副主编 陈 祥 周登攀 杨 芳

叶 莉 范润宇 夏舒航

居剑文



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书是“十四五”职业教育国家规划教材。本书是编者在多年高等职业教育教学改革与实践的基础上,结合高等职业院校的办学定位、生源情况,以及行业岗位需求和职业教育的特点编写而成的。

本书共8个项目,主要包括直流稳压电源的制作、扩音器的制作、小型家用空调温度控制器的装配与调试、函数信号发生器的制作与调试、简单抢答器的制作、编码译码显示电路的制作、数字电子钟的设计与制作、锯齿波发生器的设计与制作等。

本书内容全面,实用性强,既可作为高等职业院校装备制造大类、电子信息类等专业的教材,也可作为从事相应工作的技术人员的实用参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术 / 夏继军主编. -- 3版. -- 北京: 北京
邮电大学出版社, 2025. (2026 重印) -- ISBN 978-7-5635-7545-9
I. TN
中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2025YJ2868 号

策划编辑: 闫洪一 责任编辑: 高 宇 封面设计: 黄燕美

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号

邮政编码: 100876

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 河北龙大印务有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 21.5

字 数: 445 千字

版 次: 2015 年 1 月第 1 版 2025 年 6 月第 3 版

印 次: 2026 年 1 月第 2 次印刷

ISBN 978-7-5635-7545-9

定 价: 59.80 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

服务电话: 400-615-1233

电子技术迅猛发展,电子产品和设备在各个领域的应用越来越广。掌握电子技术的基础知识和基本技能是对装备制造大类各专业学生的基本要求。电子技术作为专业基础课程,其任务是使学生掌握电子技术的基础知识、基本技能和基本方法,并为学习后续课程和提高职业素养打下基础。

本书第1版曾获评首届全国机械行业职业教育优秀教材,第2版为“十四五”职业教育国家规划教材。为适应现代职业教育发展和电子技术发展的需要,顺应装备制造行业数字化、网络化、智能化、绿色化发展的新趋势,编者按照国家专业人才培养标准要求,对教材进行了修订。本书保留了项目式的结构,根据新产业、新业态、新模式下岗位(群)的新要求,调整了课程目标,引入了电子行业前沿内容,增加了电子仿真内容,等等。

本书立足实际,语言通俗易懂,兼具很强的理论性和实践性。在编写本书的过程中,编者力争做到以下几点。

(1)教材思政融入。整体设计教材思政,将安全操作、认真务实、团队协作、实事求是、精益求精、科技创新、科学严谨和知行合一等职业素养有侧重地融入相应实践操作中,将家国情怀、民族自豪、民族复兴等爱国元素融入知识学习中,同时将“科技是第一生产力”“加快发展数字经济”等党的二十大精神融入课程中。

(2)岗课融通。通过分析电子技术对应的典型工作岗位和工作任务,根据能力复杂程度,整合典型工作任务,形成综合能力领域,结合相关职业资格标准,构建项目化、模块化课程,培养学生的职业综合素质和行动能力。

(3)理实一体。理论知识以必需、够用为度,避免枯燥、实用性不强的理论灌输。以能力为本位,以学生为中心,通过构建具体的工作任务使学生主动学习和实践,做到“教中做、做中学、学中练”。

(4)对接前沿。对接最新技术发展,将电子行业的新知识、新技术、新器件、新工艺以及新动态引入教材,保持内容的先进性。

本书参考学时如下。

课程内容	参考学时
项目一 直流稳压电源的制作	8
项目二 扩音器的制作	12
项目三 小型家用空调温度控制器的装配与调试	10
项目四 函数信号发生器的制作与调试	8
项目五 简单抢答器的制作	10

续表

课程内容	参考学时
项目六 编码译码显示电路的制作	10
项目七 数字电子钟的设计与制作	10
项目八 锯齿波发生器的设计与制作	8
合计	76

本书由黄冈职业技术学院夏继军任主编，TCL 集团武汉华星光电技术有限公司陈祥、长江工程职业技术学院周登攀、黄冈职业技术学院杨芳、武汉职业技术大学叶莉、湖南科技职业学院范润宇、中国机械总院集团武汉材料保护研究所有限公司夏舒航、黄冈职业技术学院居剑文任副主编。其中，项目一、项目二由周登攀编写，项目三由居剑文编写，项目四由范润宇编写，项目五、项目六由夏继军编写，项目七由杨芳编写，项目八由叶莉编写，附录由夏舒航编写，书中部分案例由陈祥提供。

教材开发过程中还得到了各届学生和合作企业的大力支持，在此一并表示感谢！

由于编者水平有限，本书难免存在疏漏和不妥之处，敬请广大读者提出宝贵意见。

编 者

现代社会电子技术发展迅速,各种电子设备在各个领域中发挥着重要作用,掌握电子技术的相关知识和技能已成为对电类专业学生的基本要求。因此,各高职院校电类专业均开设了电子技术或类似课程。

电子技术作为专业基础课程,其任务是使学生具备从事电类职业所必需的电子通用技术基础知识、基本技能和基本方法,并为学习后续课程、提高职业素质、形成职业综合技能打下基础。

本书立足实际,适应新形势,语言通俗易懂,理论性和实用性强。编者在编写过程中力争做到以下几点。

(1)符合“以应用为目的,以必需、够用为度”的原则。从实际应用出发,力求避免知识的断层和重复,减少枯燥、实用性不强的理论灌输。

(2)强调“以就业为导向”。通过对职业岗位(群)所需专业知识和专项能力的科学分析,力求教材定位与就业市场相结合,充分体现“以就业为导向,以能力为本位,以学生为中心”的风格。

(3)充分体现“项目导向、任务驱动”的教学理念。通过构建具体的工作任务作为学生学习的切入点,使学生能够主动学习,达到“教中做、做中学、学中练”的目的。

(4)引进最新技术。将电子行业的新技术、新器件和新工艺引入教材,保证内容的先进性。

本书参考学时如下。

课程内容	学 时
项目一 直流稳压电源的制作	8
项目二 扩音器的制作	8
项目三 小型家用空调温度控制器的制作与调试	10
项目四 函数信号发生器的制作与调试	12
项目五 简单抢答器的制作	10
项目六 编码译码显示电路的制作	8
项目七 数字电子钟的设计与制作	12
项目八 锯齿波发生器的设计与制作	8
合计	76

本书由黄冈职业技术学院夏继军任主编,长江工程职业技术学院周登攀、黄冈职业技术学院叶俊、长江工程职业技术学院陈玉、上饶职业技术学院帅江华任副主编。其中,项目一,



项目二的任务一、任务二、任务三由周登攀和黎阳编写,项目二的任务四、任务五、任务六由黄小华编写,项目三、项目四由陈玉编写,项目五由帅江华编写,项目六和附录由夏继军编写,项目七、项目八由叶俊编写,全书由夏继军统稿。

本书在编写过程中参考了国内相关著作和文献资料,并得到了许多专业技术人员的无私帮助,在此对相关作者和人员一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

目录

CONTENTS

项目一 直流稳压电源的制作

任务一	识别与检测半导体二极管	2
	知识链接	2
	一、半导体的基础知识	2
	二、半导体二极管	7
	虚拟仿真	10
	实践操作	10
	思考与练习	15
任务二	组装、测试整流电路	15
	知识链接	15
	一、单相半波整流电路	16
	二、单相全波整流电路	17
	三、单相桥式整流电路	17
	虚拟仿真	19
	实践操作	20
	思考与练习	22
任务三	组装、测试滤波电路	23
	知识链接	23
	一、电容滤波电路	23
	二、电感滤波电路	24
	三、复式滤波电路	24
	虚拟仿真	25
	实践操作	26
	思考与练习	27
任务四	组装、测试稳压电路	28
	知识链接	28
	一、并联型稳压电路	28
	二、串联型稳压电路	30
	三、固定输出集成稳压器	31
	四、可调输出集成稳压器	33

虚拟仿真	34
实践操作	35
思考与练习	37

项目二 扩音器的制作

任务一 识别与检测半导体三极管 39

知识链接	39
一、半导体三极管的结构与分类	39
二、三极管的电流放大作用	41
三、三极管的输入和输出特性	42
四、三极管的主要参数	43
五、温度对三极管的影响	45
虚拟仿真	45
实践操作	46
思考与练习	48

任务二 制作与测试基本放大电路 49

知识链接	49
一、放大电路的基本概念	50
二、放大电路的基本分析方法	52
三、放大电路静态工作点的稳定	58
四、共集电极和共基极放大电路	60
五、场效应管放大电路	63
六、可控硅	67
虚拟仿真	69
实践操作	70
思考与练习	73

任务三 制作与测试多级放大电路 75

知识链接	75
一、多级放大电路的耦合方式	76
二、多级放大电路的动态分析	78
虚拟仿真	81
实践操作	82
思考与练习	84

任务四 制作与测试差动放大电路 85

知识链接	85
一、直接耦合放大电路的零点漂移	85
二、典型差动放大电路的组成及特点	86

三、差动放大电路的输入和输出方式	87
四、差动放大电路的输入信号	88
五、差动放大电路的动态性能指标	88
虚拟仿真	90
实践操作	91
思考与练习	94
任务五 制作与测试负反馈放大电路	95
知识链接	95
一、反馈的基本概念	96
二、反馈放大电路的基本关系式	96
三、反馈的极性、判断和类型	97
四、负反馈对放大电路性能的影响	99
五、放大电路中引入负反馈的一般原则	101
虚拟仿真	101
实践操作	102
思考与练习	105
任务六 制作与测试扩音器	107
知识链接	107
一、功率放大电路的特点和分类	107
二、互补对称功率放大电路(OCL 电路)	109
三、交越失真的概念及消除方法	111
四、用复合管组成互补对称功率放大电路	113
五、单电源互补对称功率放大电路(OTL 电路)	113
六、集成功率放大器	114
虚拟仿真	115
实践操作	116
思考与练习	119

项目三 小型家用空调温度控制器的装配与调试

任务一 认识与检测集成运算放大器	121
知识链接	121
一、认识集成运算放大器	121
二、理想集成运算放大器	123
三、检测集成运算放大器	125
虚拟仿真	125
实践操作	126
思考与练习	127

任务二 装配与调试小型家用空调温度控制器 127

知识链接	127
一、集成运放的线性应用	127
二、集成运放的非线性应用	131
三、集成运放应用的注意事项	133
虚拟仿真	134
实践操作	135
思考与练习	138

项目四 函数信号发生器的制作与调试**任务一 制作与测试 RC 正弦波振荡器** 141

知识链接	141
一、振荡电路概述	141
二、RC 正弦波振荡电路	143
三、LC 正弦波振荡电路	145
虚拟仿真	151
实践操作	152
思考与练习	154

任务二 制作与调试函数信号发生器 155

知识链接	155
一、矩形波发生器	155
二、三角波发生器	157
三、锯齿波发生器	158
虚拟仿真	158
实践操作	159
思考与练习	163

项目五 简单抢答器的制作**任务一 测试基本逻辑门电路** 165

知识链接	165
一、数字信号和数字电路	165
二、基本逻辑代数运算	167
三、复合逻辑运算	169
四、逻辑代数的基本定律	170
虚拟仿真	173
实践操作	174
思考与练习	176

任务二 制作简单抢答器 177

知识链接	177
一、关于逻辑函数化简的几个问题	177
二、公式化简法	178
三、最小项与卡诺图化简法	179
四、组合逻辑电路的分析与设计方法	184
虚拟仿真	192
实践操作	193
思考与练习	194

项目六 编码译码显示电路的制作**任务一 测试编码器的逻辑功能** 197

知识链接	198
一、数制与编码	198
二、编码器	203
虚拟仿真	206
实践操作	207
思考与练习	210

任务二 制作编码译码显示电路 211

知识链接	211
一、译码器	212
二、数据选择器	217
三、加法器	219
虚拟仿真	221
实践操作	222
思考与练习	223

项目七 数字电子钟的设计与制作**任务一 制作改进型抢答器** 227

知识链接	227
一、基本 RS 触发器	227
二、同步 RS 触发器	230
三、常用集成触发器	231
四、触发器的转换	236
虚拟仿真	241
实践操作	242
思考与练习	244

**任务二 设计与制作数字电子钟** 245

知识链接	246
一、时序逻辑电路的分析	246
二、寄存器	251
三、计数器	256
四、时序逻辑电路的设计	270
虚拟仿真	274
实践操作	276
思考与练习	277

项目八 锯齿波发生器的设计与制作**任务一 制作叮咚门铃** 280

知识链接	280
一、555 定时器的电路结构与工作原理	280
二、用 555 定时器组成的施密特触发器	282
三、用 555 定时器组成的单稳态触发器	284
四、用 555 定时器组成的多谐振荡器	285
虚拟仿真	287
实践操作	288
思考与练习	289

任务二 设计与制作锯齿波发生器 290

知识链接	290
一、D/A 转换器	290
二、A/D 转换器	297
虚拟仿真	304
实践操作	305
思考与练习	307

附录 常用电子元器件参考资料

一、部分电气图形符号	308
二、常用电子元器件型号命名方法及主要技术参数	309
三、常用集成电路引脚图	327

参考文献	332
------	-----

直流稳压电源的制作

直流稳压电源是一种常用的电子仪器,其功能是将交流电转换为电子设备所需的直流电,为各种电子电路提供直流电源。小功率直流稳压电源由电源变压器、整流电路、滤波电路和稳压电路四部分组成,如图 1-1 所示。

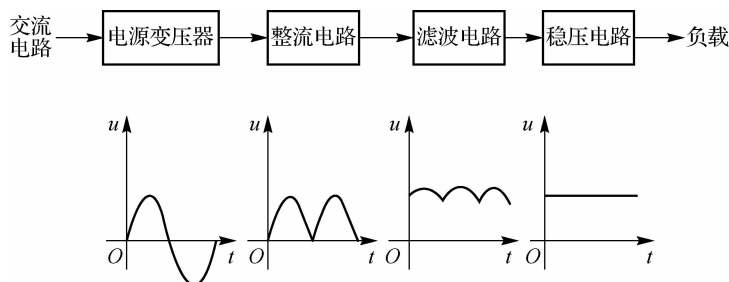


图 1-1 小功率直流稳压电源的组成框图及各环节的输出波形



素质目标

- ◎ 培养对电子技术的爱好和兴趣；
- ◎ 培养严格遵守操作规程和劳动纪律的意识；
- ◎ 培养良好的工作态度和严谨的工作作风。



知识目标

- ◎ 了解半导体的导电原理；
- ◎ 掌握二极管的结构、类型、特点和主要参数；
- ◎ 掌握二极管的伏安特性；
- ◎ 掌握整流电路的类型、特点和工作原理；
- ◎ 掌握滤波电路的类型、特点和工作原理；
- ◎ 掌握稳压电路的类型、特点和工作原理。



技能目标

- ◎ 会使用万用表、示波器、信号发生器、交流毫伏表和面包板等常用电子设备与仪器；
- ◎ 能识别和鉴定常见的各类二极管；
- ◎ 会对整流电路、滤波电路、稳压电路进行组装和测试。



任务一

识别与检测半导体二极管



任务目标

了解半导体二极管的种类,熟悉各种二极管的名称;了解不同类型二极管的作用;掌握面包板、万用表和信号发生器等电子设备的使用方法;掌握检测二极管的方法,能对各种二极管进行正确的测量,并对其质量做出评价。



知识链接

引入:1883年美国发明家爱迪生发现了热电子效应,1904年弗莱明利用这个效应制成了电子二极管,并证实了电子管具有“阀门”作用,它首先被用于无线电检波。1906年美国的德弗雷斯在弗莱明的二极管中放进了第三个电极——栅极,而发明了电子三极管,从而建树了早期电子技术上最重要的里程碑。又经过五年的研究改进,从1911年开启了使用电子技术的时代。所以,电子技术作为一门新兴科学,其发展至今不过一百多年。

1948年用半导体材料做成的第一只晶体管叫“半导体器件”或“固体器件”,1951年有了商品,这是出现分立元件的又一个里程碑。20世纪50年代末提出“集成”的观点。1950年基尔比在无线电工程师协会(IRE)的一次会议上宣布“固体电路”的出现(后来称为“集成电路”)。集成电路的出现和应用,标志着电子技术发展到了一个新的阶段。1960年集成电路处于“小规模集成”阶段,每个半导体芯片上只有不到100个元器件。1966年进入“中规模集成”阶段,每个芯片上有100到1000个元器件。1969年进入“大规模集成”阶段,每个芯片上的元器件达到10000左右。1975年更进一步跨入“超大规模集成”阶段,每个芯片上的元器件多达10000个以上。目前的超大规模集成,在几十平方毫米的芯片上有上百万个元器件,已经进入“微电子”时代,这大大促进了先进科学技术的发展。

电子技术水准是现代化的一个重要标志,电子工业是实现现代化的重要物质技术基础。电子工业的发展速度和技术水平,直接影响到工业、农业、科学技术和国防建设,关系着社会主义建设的发展速度和国家的安危;也直接影响到亿万人民的物质、文化生活水平的提高,与广大群众的切身利益息息相关。

一、半导体的基础知识

电子电路是由晶体管组成的,而晶体管是由半导体制成的,所以在学习电子电路之前,一定要了解半导体的基础知识。半导体器件是20世纪中期开始发展起来的,具有体积小、质量轻、使用寿命长、可靠性高、输入功率小和功率转换效率高等优点,因而在现代电子技术中得到了广泛应用。



1. 本征半导体

1) 半导体材料

根据导电能力(电阻率)的不同,物体可划分为导体、绝缘体和半导体。导电性能介于导体与绝缘体之间的材料称为半导体,半导体的电阻率为 $10^{-5} \sim 10^8 \Omega \cdot \text{m}$ 。在电子器件中,常用的半导体材料有元素半导体,如硅(Si)、锗(Ge)等;化合物半导体,如砷化镓(GaAs)等;以及掺杂或制成其他化合物的半导体材料,如硼(B)、磷(P)、铟(In)和锑(Sb)等。其中,硅是最常用的一种半导体材料。半导体的导电能力在不同条件下有很大的差别,例如,当受到外界热和光的作用时,它的导电能力明显变化;向纯净的半导体中掺入某些特定的杂质元素时,会使它的导电能力具有可控性。这些特殊的性质决定了半导体可以制成各种器件。

2) 半导体的共价键结构

本征半导体是化学成分纯净、物理结构完整的半导体晶体。半导体在物理结构上有多晶体和单晶体两种形态,制造半导体器件必须使用单晶体,即整个半导体材料由一个晶体组成。制造半导体器件的半导体材料纯度要求很高,要达到 99.999999%,常称为“九个9”。

用于制造半导体器件的材料硅和锗都是4价元素,它们的最外层电子轨道上有4个电子(称为价电子)。将纯净半导体经过一定工艺过程制成单晶体,由于原子排列的有序性,价电子为相邻的原子共有,形成如图1-2所示的共价键结构。在共价键的束缚下,其原子的最外层电子不像金属那样容易挣脱出来而成为自由电子,在外界条件为热力学零度和无外界激发时,价电子不能自由移动,此时半导体是不导电的。

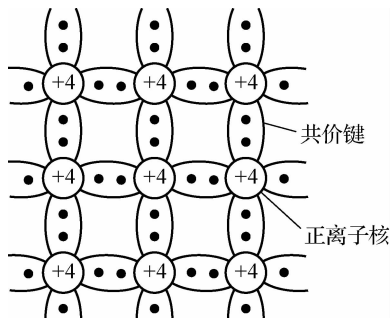


图 1-2 单晶硅的共价键结构

3) 半导体的本征激发与复合现象

常温下,热能的激发使本征半导体共价键中的价电子获得足够的能量而脱离共价键的束缚,成为自由电子。同时,在共价键中留下一个空位,称为空穴。这种产生自由电子和空穴对的现象,称为本征激发。本征半导体中,自由电子和空穴成对出现,数目相同。温度越高,半导体材料中产生的自由电子和空穴越多。

由于本征激发而在本征半导体中存在一定浓度的自由电子(带负电荷)和空穴(带正电荷)对,故其具有导电能力,但导电能力有限。图1-3所示为本征激发产生的电子空穴对。

如图1-4所示,空穴(图中位置①)出现以后,邻近的束缚电子(图中位置②)可能获取足够的能量来填补这个空穴,而在这个束缚电子的位置又出现一个新的空位,另一个束缚电子(图中位置③)又会填补这个新的空位,这样就形成束缚电子填补空穴的运动。为了区别自由电子的运动,称此束缚电子填补空穴的运动为空穴运动。

游离的部分自由电子也可能回到空穴中去,称为复合。在一定温度下,本征激发和复合达到动态平衡,此时载流子浓度一定,且自由电子数和空穴数相等。在室温下,本征半导体中的载流子数目是一定的,数量很少,当温度升高时,会有更多的价电子挣脱束缚,产生的自由电子-空穴对的数目也相对增加。

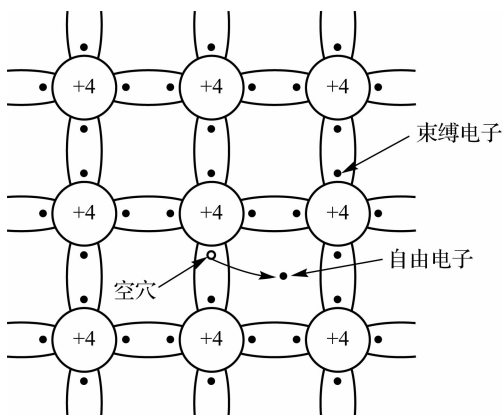


图 1-3 本征激发产生的电子空穴对

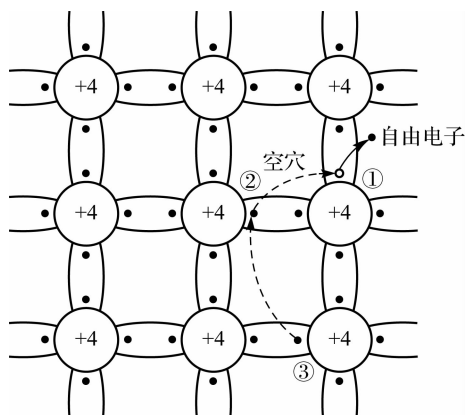


图 1-4 束缚电子填补空穴的运动

4) 半导体的导电机理

在没有外电场作用下,自由电子和空穴的运动是无规则的,半导体中没有电流。在外电场作用下,带负电的自由电子将逆电场方向做定向运动形成自由电子电流,带正电的空穴将顺电场方向做定向运动形成空穴电流。因此,在半导体中有自由电子和空穴两种承载电流的粒子(即载流子),这是半导体的特殊性质。空穴导电的实质是:相邻原子中的价电子(共价键中的束缚电子)依次填补空穴而形成电流。由于电子带负电,而电子的运动与空穴的运动方向相反,因此认为空穴带正电。

由于不断地本征激发,又不断地复合,在一定的温度或光照条件下达到动态平衡,这时半导体中的两种载流子数目保持相对稳定。温度越高、光照越强,半导体中的两种载流子的数目越多,导电性能就越好。

2. 杂质半导体

为了提高半导体的导电能力,在本征半导体中掺入微量的杂质元素,这种掺杂后的半导体称为杂质半导体。根据掺入杂质元素的性质不同,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

P 型半导体是在本征半导体硅(或锗)中掺入微量的 3 价元素(如硼、铟等)而形成的。杂质原子只有 3 个价电子,与周围硅原子组成共价键时,缺少 1 个电子,因此在晶体中便产生 1 个空穴。当相邻共价键上的电子受热激发获得能量时,就有可能填补这个空穴,使硼原子成为不能移动的负离子,而原来硅原子的共价键因缺少了 1 个电子,便形成了空穴,使得整个半导体仍呈电中性,如图 1-5 所示。

在 P 型半导体中,空穴是多数载流子,主要由杂质原子提供;自由电子是少数载流子,由热激发形成。提供空穴的 3 价杂质原子将相邻的价电子吸引来填补这个空穴,从而使 3 价杂质原子带负电,因此 3 价杂质原子也称为受主杂质。

2) N 型半导体

N 型半导体是在本征半导体硅中掺入微量的 5 价元素(如磷、砷、镓等)而形成的,杂质原子有 5 个价电子与周围硅原子结合成共价键时,多出 1 个价电子,这个多余的价电子易成为自由电子,如图 1-6 所示。



思考

思考题 1

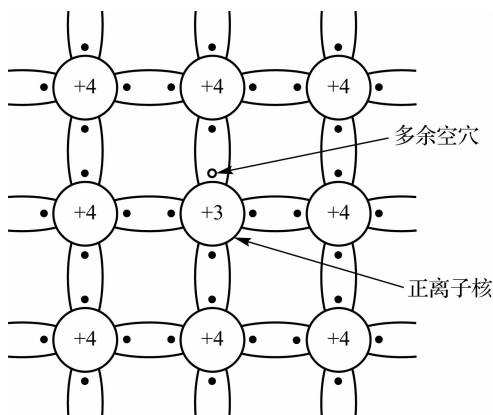


图 1-5 P型半导体的共价键结构

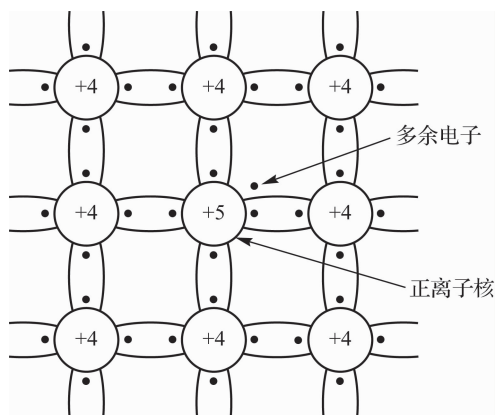


图 1-6 N型半导体的共价键结构

在N型半导体中，自由电子是多数载流子，主要由杂质原子提供；空穴是少数载流子，由热激发形成。提供自由电子的五价杂质原子因最外层失去1个自由电子成为正离子，因此五价杂质原子也称为施主原子。

综上所述，在掺入杂质后，载流子的数目都有相当程度的增加，因而对半导体掺杂是改变半导体导电性能的有效方法。

3. PN 结

1)PN 结的形成

当通过一定的工艺，使一块P型半导体和一块N型半导体结合在一起时，在它们的交界处会形成一个特殊的区域，称为PN结。

P型半导体和N型半导体结合后，由于P型半导体的空穴浓度高，电子浓度低，而N型半导体的自由电子浓度高，空穴浓度低，所以交界面附近两侧的载流子形成了浓度差。浓度差将引起多数载流子的扩散运动，电子从N区向P区扩散，空穴从P区向N区扩散，如图1-7所示。它们扩散的结果是使P区一边失去空穴，留下了带负电的杂质离子，N区一边失去电子，留下了带正电的杂质离子。半导体中的离子不能任意移动，因此不参与导电。这些不能移动的带电粒子在P区和N区交界面附近形成了一个很薄的空间电荷区（又称阻挡层、势垒），扩散越强，空间电荷区越宽，如图1-8所示。

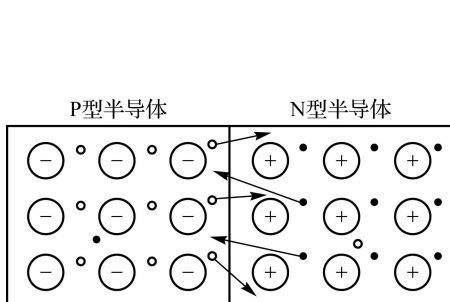


图 1-7 载流子的扩散

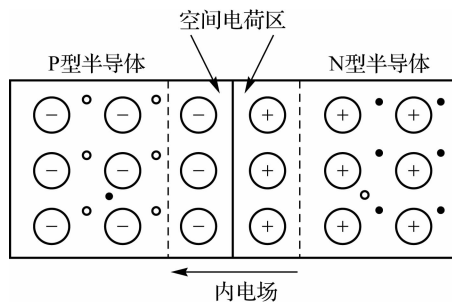


图 1-8 PN 结的形成

在空间电荷区，由于缺少多数载流子，所以其也称为耗尽层。出现空间电荷区以后，由于正、负电荷之间的相互作用，在空间电荷区形成了一个内电场，其方向是从带正电的N区

指向带负电的 P 区。显然,这个电场的方向与载流子扩散运动的方向相反,是阻止扩散的。另外,这个电场将使 N 区的少数载流子空穴向 P 区漂移,使 P 区的少数载流子电子向 N 区漂移。漂移运动的方向正好与扩散运动的方向相反。从 N 区漂移到 P 区的空穴补充了原来交界面上 P 区所失去的空穴,从 P 区漂移到 N 区的电子补充了原来交界面上 N 区所失去的电子,这就使空间电荷减少。因此,漂移运动的结果是使空间电荷区变窄。当参与扩散运动和漂移运动的载流子数目相等时,PN 结便处于动态平衡状态。

2) PN 结的单向导电性

当外加电压使 PN 结中 P 区的电位高于 N 区的电位,称为加正向电压,简称正偏;反之称为加反向电压,简称反偏。

如图 1-9(a)所示,PN 结正偏时,在正向电压的作用下,PN 结的平衡状态被打破,P 区中的多数载流子空穴和 N 区中的多数载流子电子都会向 PN 结移动。当 P 区空穴进入 PN 结后,就会和原来的一部分负离子中和,使 P 区的空间电荷量减少。同样,当 N 区电子进入 PN 结时,中和了部分正离子,使 N 区的空间电荷量减少,结果使 PN 结变窄,即耗尽层变薄。由于这时耗尽层中载流子增加,故而电阻减小。势垒降低使 P 区和 N 区中能越过这个势垒的多数载流子大大增加,形成扩散电流。在这种情况下,由少数载流子形成的漂移电流,其方向与扩散电流相反,和正向电流比较,其数值很小,可忽略不计。这时 PN 结内的电流由占支配地位的扩散电流决定。在外电路上形成一个流入 P 区的电流,称为正向电流 I_F 。外加电压 U_F 稍有变化(如 0.1 V),便能引起电流的显著变化,因此电流 I_F 是随外加电压急速上升的。这时,正向的 PN 结表现为一个很小的电阻。在一定的温度条件下,由本征激发决定的少数载流子浓度是一定的,故少数载流子形成的漂移电流是恒定的,基本与所加反向电压的大小无关,这个电流也称为反向饱和电流。此时,PN 结导通,呈现低电阻,相当于开关闭合。

如图 1-9(b)所示,PN 结反偏时,在反向电压的作用下,P 区中的空穴和 N 区中的电子都将进一步离开 PN 结,使耗尽层加宽,PN 结的内电场加强。这一结果,一方面使 P 区和 N 区中的多数载流子很难越过势垒,扩散电流趋近于零;另一方面,内电场的加强使得 N 区和 P 区中的少数载流子更容易产生漂移运动。这样,此时流过 PN 结的电流由占支配地位的漂移电流决定。漂移电流表现在外电路上是有一个流入 N 区的反向电流 I_R 。由于少数载流子是由本征激发产生的,其浓度很小,所以 I_R 是很微弱的,一般为微安数量级。当管子制成后, I_R 的数值取决于温度,而几乎与外加电压 U_R 无关。 I_R 受温度的影响较大,在某些实际应用中必须予以考虑。PN 结在反向偏置时, I_R 很小,PN 结呈现一个很大的电阻,可认为它基本是不导电的。此时,PN 结截止,呈现高电阻,相当于开关断开。



动画
PN 结的单向导电性

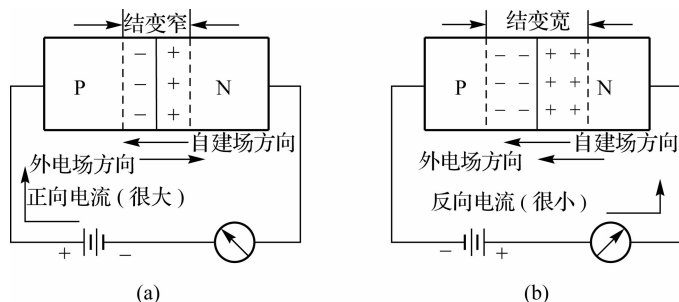


图 1-9 PN 结的单向导电性



PN 结是半导体的基本结构单元,其基本特性是单向导电性,即当外加电压极性不同时,PN 结表现出截然不同的导电性能。PN 结加正向电压时,呈现低电阻,具有较大的正向扩散电流;PN 结加反向电压时,呈现高电阻,具有很小的反向漂移电流。这是 PN 结具有单向导电性的具体表现。



思考

思考题 2

二、半导体二极管

1. 二极管的结构和类型

半导体二极管简称二极管。如图 1-10(a)所示,在 PN 结上加引线和外壳封装,就成为二极管。其中 P 区一侧的电极称为阳极,N 区一侧的电极称为阴极。其符号如图 1-10(b)所示。

按结构划分,二极管有点接触型、面接触型和平面型三大类,其外形如图 1-10(c)所示。点接触型二极管的特点是 PN 结面积小,结电容小,用于检波和变频等高频电路;面接触型二极管的特点是 PN 结面积大,用于工频大电流整流电路;平面型二极管往往用于集成电路制造工艺中,其 PN 结面积可大可小,用于高频整流和开关电路中。

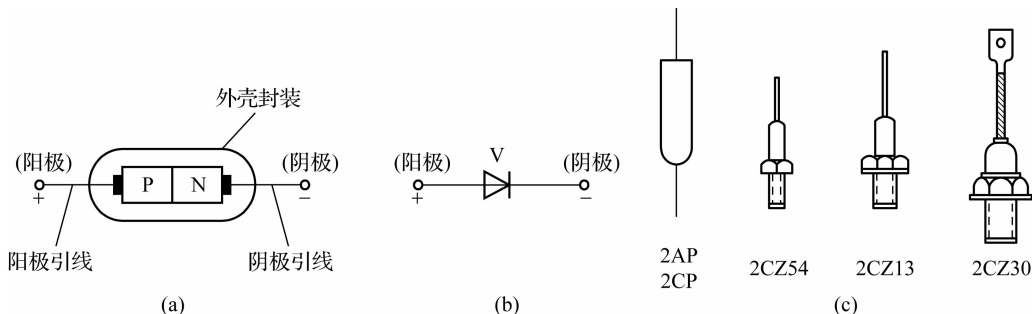


图 1-10 二极管的结构、符号及外形

另外,按材料划分,二极管有硅二极管、锗二极管和砷化镓二极管等;按用途划分,二极管有整流、稳压、开关、发光、光电、变容、阻尼等二极管;按封装形式划分,二极管有塑封及金属封等二极管;按功率划分,二极管有大功率、中功率及小功率等二极管。

2. 二极管的伏安特性

二极管既然含有 PN 结结构,就必然具有单向导电性。常利用伏安特性曲线来形象地描述二极管的单向导电性。伏安特性曲线是指加到二极管两端的电压与流过二极管的电流的关系曲线。二极管的伏安特性曲线如图 1-11 所示,可分为正向特性和反向特性两部分。

(1)正向特性。二极管两端加正向电压时,就产生正向电流。当正向电压较小时,正向电流极小(几乎为零),这一部分称为死区电压(阈值电压),硅管的死区电压约为 0.5 V,锗管的死区电压约为 0.1 V。当正向电压超过死区电压时,正向电流会急剧增大,二极管呈现很小电阻而处于导通状态,硅管的正向导通压降为 0.6~0.7 V,锗管的正向导通压降为 0.2~0.3 V。二极管正向导通时,要特别注意它的正向电流不能超过最大值,否则将烧坏 PN 结。

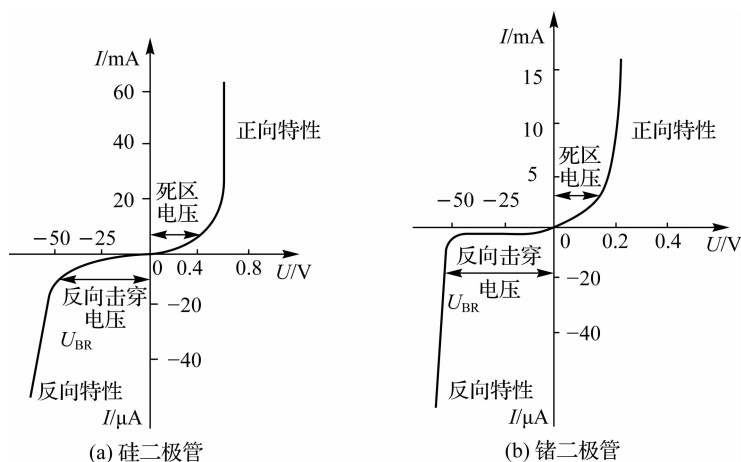


图 1-11 二极管的伏安特性曲线

(2)反向特性。二极管两端加反向电压时,由于少数载流子的漂移运动,形成很小的反向电流。反向电流在电压开始增加的很大范围内,几乎不随反向电压而变化,二极管相当于非常大的电阻,此时的电流称为反向饱和电流。在同样的温度下,硅管的反向饱和电流为几微安至几十微安,锗管的反向饱和电流可达几百微安,此时半导体处于截止状态。反向电压继续增加到某一电压时,反向电流剧增,二极管失去单向导电性,这种现象称为反向击穿,该电压称为反向击穿电压,用 U_{BR} 表示。二极管被击穿后,一般不能恢复原来的性能。二极管正常工作时不允许出现这种情况。

(3)温度对伏安特性曲线的影响。由于二极管的核心是一个PN结,它的导电性能与温度有关。温度升高时,二极管正向特性曲线向左移动,正向压降减小;反向特性曲线向下移动,反向电流增大。

有时为了讨论方便,在一定条件下,可以把二极管的伏安特性理想化,即认为二极管的死区电压和导通电压都等于零。这样的二极管称为理想二极管。

3. 二极管的主要参数

二极管的特性除用伏安特性曲线表示外,还可用一些数据来说明,这些数据就是二极管的参数。二极管的参数是合理选择和使用二极管的依据,各种参数都可从半导体器件手册中查出,下面只介绍几个常用的主要参数。

(1)最大整流电流 I_{FM} :二极管长时间通电运行所允许的最大平均正向电流。使用时如果超过该值,将会烧毁二极管。

(2)最高反向工作电压 U_{RM} :保证二极管正常工作,不被反向击穿的反向电压。一般取反向击穿电压的一半左右作为最高反向工作电压。

(3)反向电流 I_{RM} :二极管反向运用,承受最高反向工作电压时的反向电流。 I_{RM} 越小越好。反向电流受温度影响比较大。

(4)最高工作频率 f_M :二极管正常工作的上限频率。若超过此值,会因结电容的作用而影响其单向导电性。

应当指出,受制造工艺所限,半导体器件参数具有分散性,同型号管子的参数值会有一些的差距,所以手册上往往给出的是参数的上限值、下限值或范围。此外,使用时应特别注

意手册上每个参数的测试条件,当使用条件与测试条件不同时,参数也会发生变化。

4. 特殊二极管

(1)稳压二极管。稳压二极管又称齐纳二极管,简称稳压管,其利用二极管反向击穿的特性实现稳压。稳压管工作在反向击穿区。二极管的伏安特性曲线显示,反向击穿后,反向电流在较大范围内变化,二极管的端电压却基本不变,从而实现稳压。使用稳压管必须在电路中加入阻值适当的电阻,以限制反向电流在允许范围内,使稳压管的功率损耗不致过大而烧坏。稳压管的伏安特性曲线、图形符号及稳压管电路如图 1-12 所示。

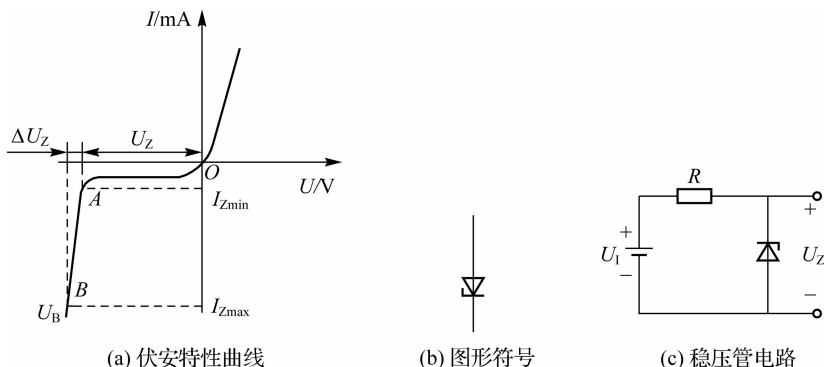


图 1-12 稳压管的伏安特性曲线、图形符号及稳压管电路

(2)光电二极管。光电二极管的结构与普通二极管的结构基本相同,只是在 PN 结处,通过管壳上的一个玻璃窗口能接收外部的光照。光电二极管的 PN 结在反向偏置状态下运行,其反向电流随光照强度的增加而上升。光电二极管的主要特点是其反向电流与光照度成正比。光电二极管的特性曲线、图形符号及等效电路如图 1-13 所示。

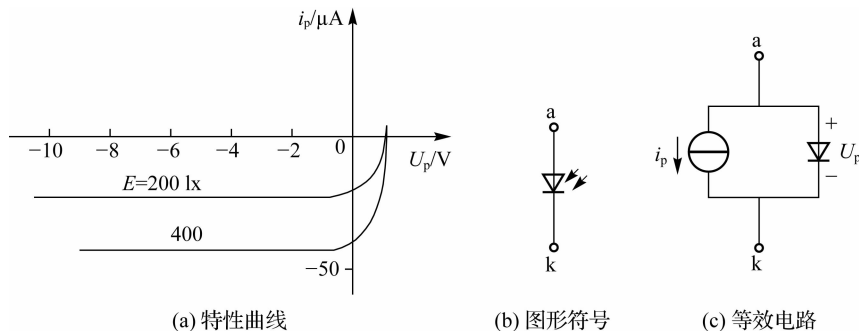


图 1-13 光电二极管的特性曲线、图形符号及等效电路

(3)发光二极管。发光二极管与普通二极管相同,也是用一个 PN 结制成的。它也具有单向导电性,同时在正向导通时能发光,是直接把电能转换为光能的器件。发光二极管的类型很多,有单色发光二极管、红外发光二极管、激光发光二极管等。发光二极管的外形及符号如图 1-14 所示。



思考

思考题 3

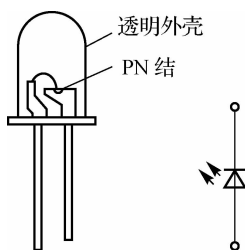


图 1-14 发光二极管的外形及符号

虚拟仿真

本书中主要利用 Multisim 仿真软件对电子电路进行仿真、分析和设计。Multisim 是一款由美国国家仪器公司(National Instruments, NI)推出的电路仿真工具,特别适合于板级的模拟/数字电路设计和教育。它提供了一个交互式的电路图环境,使得设计人员可以在虚拟环境中进行电路的设计、测试和分析,从而降低开发成本并缩短设计周期。



视频
半导体二极管
仿真测试

一、电路测试

二极管极性测试仿真电路图如图 1-15 所示。

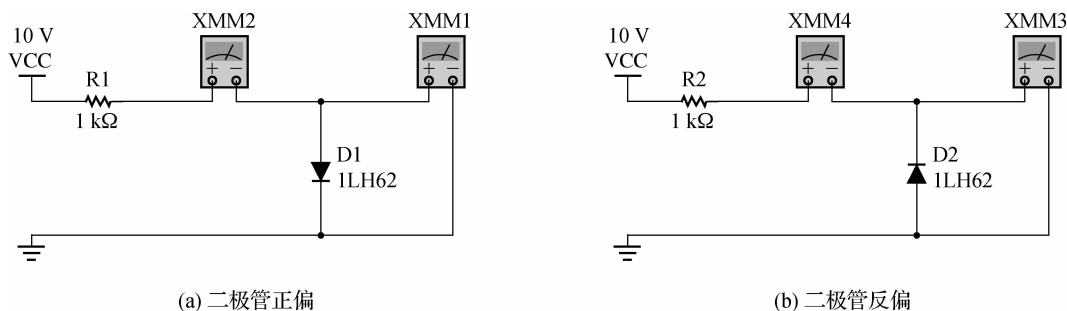


图 1-15 二极管极性测试仿真电路图

二、仿真内容及要求

- (1) 判断二极管的极性,进一步深刻理解二极管的单向导电性。
- (2) 二极管伏安特性测试。通过改变电位器滑动触头的位置,用电压表和电流表分别测一组电压值和电流值,然后绘制二极管的伏安特性曲线,总结其特点。

实践操作

一、目标

- (1) 能正确识读二极管上标出的型号,了解该二极管的作用和用途。
- (2) 会对各种二极管进行正确测试,并对其质量做出评价。



视频
识别与检测半
导体二极管



(3)熟练掌握万用表、面包板和信号发生器的使用方法。

二、设备

- (1)不同类型、不同规格的新二极管若干。
- (2)不同类型、不同规格的已经损坏的二极管若干。
- (3)指针式万用表和数字式万用表各 1 块,面包板 1 块,信号发生器 1 台。

三、内容与步骤

(一)面包板的使用

面包板(万用线路板)是一种常用的具有多孔插座的插件板,因板子上有很多像面包中的小孔的插孔得名。面包板是专为电子电路的无焊接实验设计制造的。由于各种电子元器件可根据需要随意插入或拔出,免去了焊接,节省了电路的组装时间,而且元件可以重复使用,所以非常适合电子电路的组装、调试和训练。

1. 面包板的结构

图 1-16 为 SYB-130 型面包板结构示意图。面包板中央有一凹槽,凹槽两边各有 65 列小孔,每列的 5 个小孔在电气上相互连通。集成电路的引脚分别插在凹槽两边的小孔上。插座上、下边各 1 排(即 X 排和 Y 排)在电气上是分段相连的 55 个小孔,分别作为电源与地线插孔用。对于 SYB-130 型面包板,X 排和 Y 排的 1~15 孔、16~35 孔、36~50 孔在电气上是连通的。其他型号的面包板在 X 排电气连通上有所不同,使用前请参照使用说明或自行测试(请思考如何用万用表进行电气连通测试)。

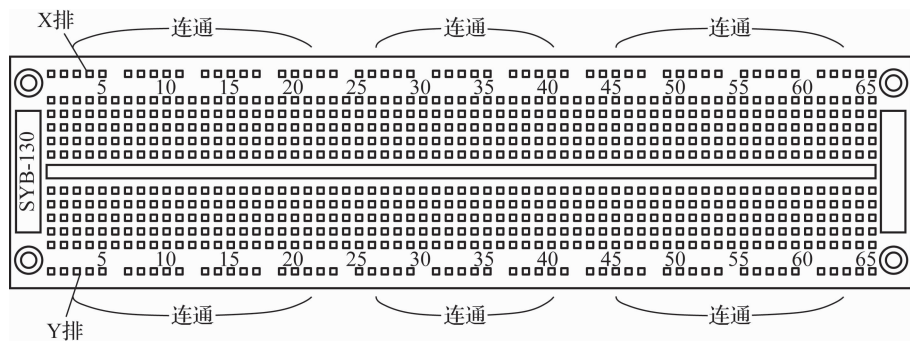


图 1-16 SYB-130 型面包板结构示意图

2. 面包板的使用方法及注意事项

(1)安装分立元件时,应便于看到其极性和标志。将元件引脚理直后,在需要的地方折弯。为了防止裸露的引线短路,必须使用带套管的导线。一般不剪断元件引脚,以便于重复使用。

(2)对多次使用的集成电路的引脚,必须修理整齐,引脚不能弯曲,所有引脚应稍向外偏,这样能使引脚与插孔可靠接触。要根据电路图确定元器件在面包板上的排列方式,以便走线方便。为了能够正确布线并便于查线,所有集成电路的插入方向要保持一致,不能为了临时走线方便或缩短导线长度而把集成电路倒插。

(3)根据信号流程的顺序,采用边安装边调试的方法。将元器件安装后,先连接电源线



和地线。为了查线方便,连线应尽量采用不同颜色。例如,一般正电源用红色,负电源用蓝色,地线用黑色,信号线用黄色,也可根据条件选用其他颜色。

(4)面包板宜使用直径为 0.6 mm 左右的单股导线,一般不要插入引脚直径大于 0.8 mm 的元器件,以免破坏内部接触片的弹性。根据导线的距离及插孔的长度剪断导线,元器件引脚或导线头要求剪成 45°斜口,线头剥离长度约为 6 mm。要沿面包板的板面垂直方向插入方孔,应能感觉到有轻微、均匀的摩擦阻力,全部插入底板以保证接触良好。在面包板倒置时,元器件应能被簧片夹住而不脱落。裸线不宜露在外面,防止与其他导线短路。

(5)连线要求紧贴在面包板上,以免碰撞弹出面包板,造成接触不良。必须使连线在集成电路周围通过,不允许跨接在集成电路上,也不得使导线互相重叠在一起。尽量做到横平竖直,这样有利于查线、更换元器件及连线。

(6)在布线过程中,要求把放置在面包板上元器件的位置和所用的引脚号标在电路图上,保证调试和查找故障的顺利进行。

(7)所有地线必须连接在一起,形成一个公共参考点。

(8)面包板应该在通风、干燥处存放,特别要避免被电池漏出的电解液腐蚀。要保持面包板清洁,焊接过的元器件不要插在面包板上。

(二)信号发生器的使用

信号发生器是用来产生不同形状、不同频率波形的仪器,实验中常用作信号源,信号的波形、频率和幅度等可通过开关和旋钮调节。信号发生器有模拟式和数字式两种。

TH-SG10 型数字合成信号发生器的频率范围为 10 mHz~10 MHz,分辨率为 1 μ Hz,频率误差 $\leq \pm 5 \times 10^{-5}$ 。其幅度范围为 2 mV~20 V_{PP}(高阻)、1 mV~10 V_{PP}(50 Ω),最高分辨率为 2 μ V_{PP}(高阻)、1 μ V_{PP}(50 Ω),其中 V_{PP}表示电压的峰-峰值。

例如,设置输出 20 mV_{PP}、10 kHz 正弦信号的步骤如下。

(1)打开电源。

(2)按下“频率”键→由右侧数码键盘输入“1、0”→按下单位键“调制/kHz”,此时屏幕显示“10 kHz”。

(3)按下“幅度”键→由右侧数码键盘输入“2、0”→按下单位键“偏移/mV”,此时屏幕显示“20 mV_{PP}”。

(4)按下“波形”键,选择输出正弦波,此时屏幕显示为正弦波形符号。

改变频率和幅度进行几组数据的设置练习,最后调出“ $f=1$ kHz,50 mV_{PP}”的正弦波信号,并记录波形。

注意:信号发生器输出幅度为电压的峰-峰值,而不是有效值,两者的换算关系请读者自行思考。

(三)二极管的检测

1. 判别极性

有的二极管从外壳的形状上可以区分电极;有的二极管的极性用二极管符号印在外壳上,箭头指向的一端为负极;还有的二极管用色环或色点来标志极性(靠近色环的一端是负极,有色点的一端是正极)。

若二极管上无标志,可用万用表测其正反向电阻值来确定极性。如图 1-17(a)所示,测量时将万用表选在“ $R \times 100$ ”或“ $R \times 1k$ ”挡,两表笔分别接二极管的两个电极。若测出的电

阻值较小,说明是正向导通,黑表笔接的是二极管的正极,红表笔接的是负极;若测出的电阻值较大,红表笔接的是二极管的正极,黑表笔接的是负极。

2. 检测好坏

可通过测量正、反向电阻来判断二极管的好坏。一般小功率硅二极管的正向电阻为几百至几千千欧,锗管为 $100\ \Omega \sim 1\ \text{k}\Omega$ 。二极管的反向电阻均应为 $200\ \text{k}\Omega$ 以上,接近无穷大为最好。如果测得正、反向电阻均为无穷大,说明内部断路;若测量值均为零,则说明内部短路;如果测得正、反向电阻几乎一样大,说明二极管已经失去单向导电性,需更换。

3. 判别硅管、锗管

若不知被测的二极管是硅管还是锗管,可根据两者导通压降的不同来判别,如图 1-17(a)所示。

一般来说,硅二极管的正向电阻在几百到几千欧,锗管小于 $1\ \text{k}\Omega$ 。因此,如果正向电阻较小,基本可以认为是锗管。若要更准确地判别二极管的材料,可将二极管接入正偏电路,测其导通压降:若压降在 $0.6 \sim 0.7\ \text{V}$,则是硅管;若压降在 $0.2 \sim 0.3\ \text{V}$,则是锗管。

当然,利用数字式万用表的二极管挡,也可以很方便地知道二极管的材料。将数字式万用表选在测量二极管的挡位上,当屏幕上有数字显示但不是“1”时,此数值就是二极管的正向导通压降,根据数值大小就能判断出该二极管的材料,如图 1-17(b)所示。

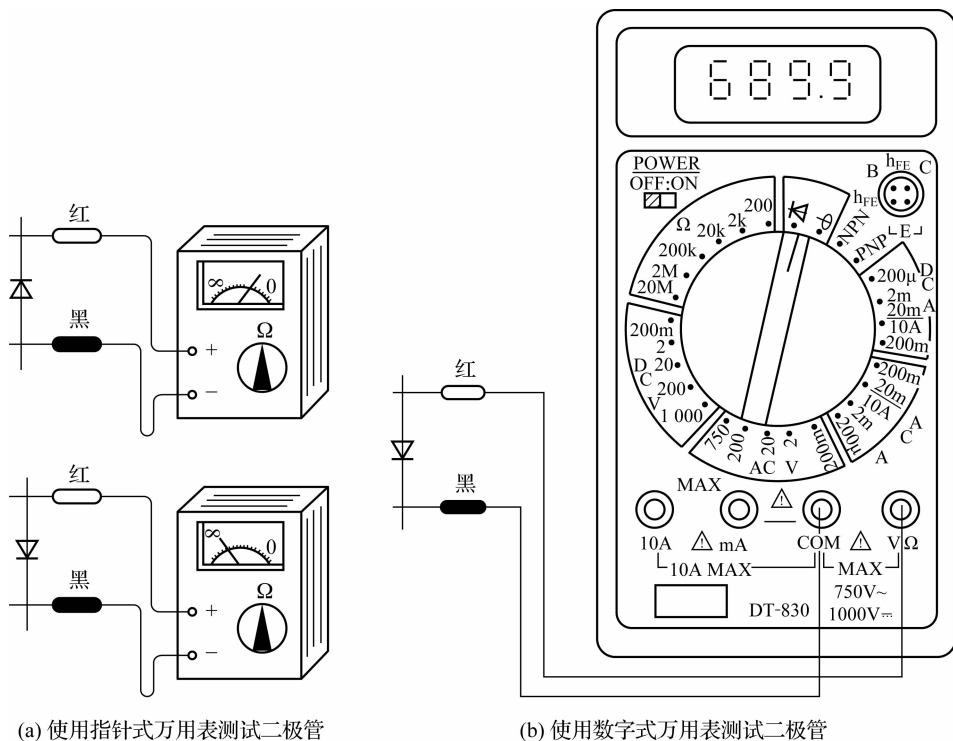


图 1-17 使用万用表确定二极管极性

4. 测试二极管的伏安特性

按图 1-18(a)所示在面包板上连接好电路,使用信号发生器调节 u_i 的大小,按表 1-1 的

要求测量各点的电压和电流值,并填入表中;按图 1-18(b)所示接好电路,调节 u_i 的大小,按表 1-2 的要求测量各点的电压和电流值,并填入表中。根据表 1-1 和表 1-2 的结果,画出二极管的伏安特性曲线,即 U - I 关系曲线(U 为横坐标, I 为纵坐标)。

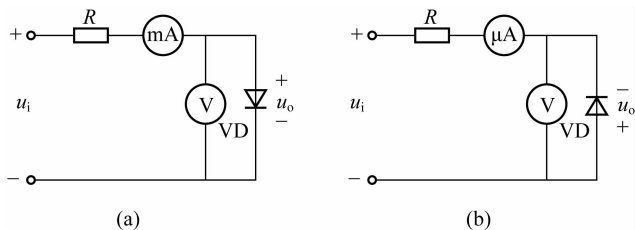


图 1-18 二极管伏安特性的测试电路

表 1-1 二极管正向伏安特性测试结果

u_o/V	0	0.1	0.2	0.3	0.5					
I/mA						0.5	1	2	3	5

表 1-2 二极管反向伏安特性测试结果

u_o/V	-1	-5	-10	-20
$I/\mu\text{A}$				

四、考核

项目	内容	分值	考核要求	扣分标准	得分
素养	(1)实训前的准备 (2)遵守安全操作规程 (3)工作态度和劳动纪律	30	积极参加实训,遵守操作规程和劳动纪律,有良好的工作态度和严谨的工作作风	注重安全操作和劳动纪律的考核,其余酌情扣分	
二 极 管 的 识别	(1)外形、类型和电极 (2)主要参数	20	能从二极管的外形识别类型和电极,能查阅二极管的主要参数	每少完成一项或出现一次错误,扣 2~5 分	
二 极 管 的 检测	(1)判别极性 (2)检测好坏 (3)判别硅管、锗管 (4)测试二极管的伏安特性	30	能正确使用万用表、面包板和信号发生器,能对二极管进行性能测试	每少完成一项或出现一次错误,扣 2~5 分	
特殊二极管的检测	(1)稳压管的测试 (2)光电二极管的测试 (3)发光二极管的测试	20	能识别特殊二极管的名称和类型,明确主要参数的含义,会判断二极管的极性和质量好坏	每少完成一项或出现一次错误,扣 2~5 分	
合计:100			总得分:		
注:每项配分扣完为止。					

思考与练习

1. 什么是半导体？它有哪些类型？
2. 二极管主要有哪些性能参数？
3. 如何用万用表判断二极管的好坏和极性？
4. 计算图 1-19 所示各电路的输出电压值，设二极管导通电压 $U_D = 0.7 \text{ V}$ 。

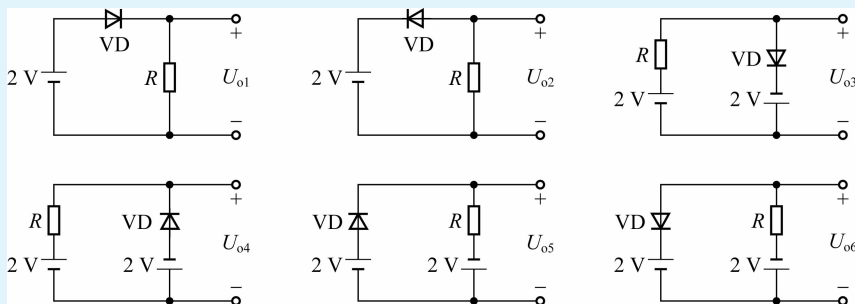


图 1-19 题 4 图

5. 已知稳压管的稳压值 $U_Z = 6 \text{ V}$ ，稳定电流的最小值 $I_{Z\min} = 5 \text{ mA}$ 。求图 1-20 所示电路中的 U_{o1} 和 U_{o2} 。

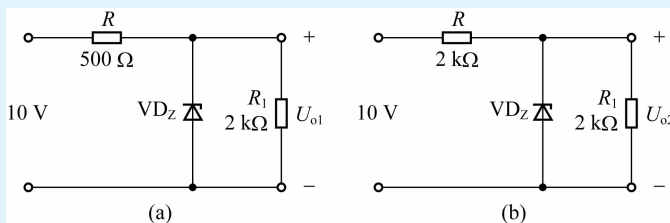


图 1-20 题 5 图

任务二 组装、测试整流电路

任务目标

了解整流电路的组成和作用；能够分析半波整流电路的工作原理；能够分析桥式全波整流电路的工作原理；掌握示波器、交流毫伏表等电子设备的使用方法；能组装并测试整流电路的性能；能根据整流电路的要求选择合适的整流二极管。

知识链接

引入：家用取暖器一般有高温和低温两个挡位，高、低温切换是由什么电子器件实现的？