

21世纪高职高专规划教材

电子信息
工学结合模式
系列教材

电子技术

辛 健 主编

清华大学出版社

电子信息
工学结合模式
系列教材

21世纪高职高专规划教材

电子技术

辛 健 主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是高职高专电子类统编教材,是作者在多年教学改革与实践的基础上,根据《高职高专教育基础课程教学基本要求》和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》编写而成。

全书共9个项目,其中与模拟电子技术相关的项目有5个,内容主要包括半导体的基础知识,二极管与三极管的种类、结构及特性,三极管基本放大电路的构成及工作原理,集成功率放大器和集成运算放大器的结构、特性及基本应用,半导体直流稳压电源的结构及基本工作原理;与数字电子技术相关的项目有4个,内容主要包括数字信号、数字电路的概念和逻辑代数的基本理论,组合逻辑电路和时序逻辑电路的构成、基本特点及应用,几种典型振荡电路和D/A、A/D转换电路的结构、功能及基本工作原理。

本书可作为全日制高等职业技术学校(院)、高等专科学校、成人高校及其他类型高校的计算机、应用电子、通信和自动化等专业“电子技术”、“模拟电子技术”、“数字电子技术”等课程的教材,也可以供从事电子技术的工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电子技术/辛健主编. —北京:清华大学出版社,2014

21世纪高职高专规划教材. 电子信息工学结合模式系列教材

ISBN 978-7-302-34675-3

I. ①电… II. ①辛… III. ①电子技术—高等职业教育—教材 IV. ①TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第290823号

责任编辑:田在儒

封面设计:傅瑞学

责任校对:刘 静

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:三河市中晟雅豪印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:15.75 字 数:359千字

版 次:2014年8月第1版 印 次:2014年8月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:35.00元

产品编号:044960-01

前言

本书是高职高专电子类统编教材,作者在多年教学改革与实践的基础上,根据《高职高专教育基础课程教学基本要求》和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》编写而成。

全书共 9 个项目,其中与模拟电子技术相关的项目有 5 个:项目 1“微型 LED 照明器”着重介绍了半导体的基础知识,二极管的种类、结构及基本使用方法;项目 2“调频无线话筒”在介绍了三极管的结构、种类及基本特性的基础上,重点分析了三极管基本放大电路的构成及工作原理;项目 3“高保真耳机功放”着重介绍了集成功率放大器的结构、作用及基本使用方法;项目 4“电冰箱保护器”以电冰箱保护器的设计与制作为主线,着重介绍了集成运算放大器的结构、特性及基本应用;项目 5“直流稳压电源”介绍了典型半导体直流稳压电源的结构及基本工作原理。与数字电子技术相关的项目有 4 个:项目 6“汽车尾灯控制电路的设计与制作”以汽车尾灯控制电路的设计与制作为主线,在对数字信号、数字电路及逻辑代数等内容进行必要阐述的基础上,着重介绍了组合逻辑电路的基本特性及一些重要的应用;项目 7“数显电子秒表的制作”以数显电子秒表的设计与制作为主线,在对常见触发器的结构和特性进行必要讨论的基础上,阐述了时序逻辑电路的基本特点及应用;项目 8“触摸式防盗报警器”着重介绍了几种典型振荡电路的结构及基本工作原理;项目 9“D/A 与 A/D 转换器”介绍了基本 D/A、A/D 转换电路的结构、功能及基本工作原理。

本书参考学时为 64 学时,其中实验应为 18 学时左右。本书深入浅出,为激发学生的学习兴趣,以完成具体制作项目为主线,较适合学生独立阅读,但由于篇幅所限,个别能力拓展部分的内容学生需在教师指导下完成理解和消化。在内容安排上,本书坚持“理论以够用为度,着眼应用”的原则,在讲清基本概念、基本理论和基本方法的前提下,简化对复杂电路内部结构和工作原理的讲述,特别是对于中大规模集成电路主要介绍其功能和应用;同时由于加入了大量实验内容,将理论教材与实验教材合二为一,加强了理论联系实际,有利于培养学生的应用能力。

本书由辽宁省交通高等专科学校辛健老师任主编,并编写了项目 1~项目 6 和项目

8;项目7由北京体育大学李琦老师编写;项目9由辽宁职业技术学院李静老师、付潘一子老师编写。

本书由辽宁省交通高等专科学校李源生教授仔细审阅,并提出了许多十分宝贵的意见,在此谨表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,本书难免存在不足,故恳请同行和读者批评指正。

编 者
2014年3月

目 录

项目 1 微型 LED 照明器	1
1.1 任务:微型 LED 照明器的制作	1
1.1.1 任务概述	1
1.1.2 目标分解	1
1.1.3 主要元件与仪器的准备	1
1.1.4 知识准备	7
1.1.5 任务实施:制作微型 LED 照明器	12
1.1.6 知识与能力拓展	12
1.2 项目小结	14
1.3 自我评估	15
项目 2 调频无线话筒	21
2.1 任务一:双极型半导体三极管管脚(又称引脚)的识别	21
2.1.1 任务概述	21
2.1.2 目标分解	21
2.1.3 主要元件与仪器的准备	21
2.1.4 知识准备	22
2.1.5 任务实施:三极管的认知和管脚判断	27
2.1.6 知识与能力拓展:场效应管概述	27
2.1.7 任务小结	29
2.2 任务二:双极型半导体三极管基本放大电路的研究	30
2.2.1 任务概述	30
2.2.2 目标分解	30
2.2.3 主要元件与仪器的准备	30
2.2.4 知识准备:共发射极基本放大电路概述	31
2.2.5 任务实施	33
2.2.6 知识与能力拓展	44
2.2.7 任务小结	47
2.3 任务三:制作调频无线话筒	48

2.3.1	任务概述	48
2.3.2	目标分解	48
2.3.3	主要元件与仪器的准备	48
2.3.4	知识准备:调频无线话筒的电路图及基本原理	48
2.3.5	任务实施	49
2.3.6	任务小结	50
2.3.7	知识与能力拓展:制作光控防盗钱夹	50
2.4	自我评估	52
项目 3	高保真耳机功放	58
3.1	任务:高保真的耳机功率放大器的制作	58
3.1.1	任务概述	58
3.1.2	目标分解	58
3.1.3	主要元件与仪器的准备	58
3.1.4	知识准备	58
3.1.5	任务实施	71
3.1.6	知识与能力拓展	73
3.2	项目小结	78
3.3	自我评估	78
项目 4	电冰箱保护器	82
4.1	任务:电冰箱保护器的制作	82
4.1.1	任务概述	82
4.1.2	目标分解	82
4.1.3	主要元件与仪器的准备	83
4.1.4	知识准备	83
4.1.5	任务实施	99
4.1.6	知识与能力拓展	103
4.2	项目小结	107
4.3	自我评估	108
项目 5	直流稳压电源	112
5.1	任务:直流稳压电源的制作	112
5.1.1	任务概述	112
5.1.2	目标分解	112
5.1.3	主要元件与仪器的准备	112
5.1.4	知识准备	113
5.1.5	任务实施	120

5.1.6 知识与能力拓展:制作实用漏电报警插座	120
5.2 项目小结	121
5.3 自我评估	121
项目6 汽车尾灯控制电路的设计与制作	125
6.1 任务一:组合逻辑电路的功能分析与设计	125
6.1.1 任务概述	125
6.1.2 目标分解	125
6.1.3 知识准备	125
6.1.4 任务实施	146
6.2 任务二:汽车尾灯控制电路的设计与制作	153
6.2.1 任务概述	153
6.2.2 目标分解	153
6.2.3 主要元件与仪器的准备	153
6.2.4 任务实施	153
6.3 项目小结	155
6.4 自我评估	156
项目7 数显电子秒表的制作	159
7.1 任务一:时序逻辑电路功能的分析	159
7.1.1 任务概述	159
7.1.2 目标分解	159
7.1.3 知识准备	160
7.1.4 任务实施:时序逻辑电路功能的分析	177
7.2 任务二:数显电子秒表的制作	182
7.2.1 任务概述	182
7.2.2 目标分解	182
7.2.3 知识准备	182
7.2.4 元件与仪器的准备	190
7.2.5 任务实施	190
7.3 项目小结	193
7.4 自我评估	195
项目8 触摸式防盗报警器	198
8.1 任务:触摸式防盗报警器的制作	198
8.1.1 任务概述	198
8.1.2 目标分解	198
8.1.3 知识准备	198

8.1.4	主要元件与仪器的准备·····	215
8.1.5	任务实施:制作触摸式防盗报警器·····	215
8.1.6	任务小结·····	217
8.1.7	知识与能力拓展:用 555 制作不闪烁的户外照明灯自动控制器···	217
8.2	自我评估·····	218
项目 9	D/A 与 A/D 转换器·····	220
9.1	任务一:了解 D/A 转换器·····	220
9.1.1	D/A 转换器概述·····	220
9.1.2	常见 D/A 转换电路介绍·····	220
9.1.3	D/A 转换器的主要参数·····	225
9.1.4	集成 D/A 转换器及其应用·····	226
9.2	任务二:了解 A/D 转换器·····	228
9.2.1	A/D 转换器概述·····	228
9.2.2	A/D 转换器的基本原理·····	228
9.2.3	几种常见的 A/D 转换器·····	231
9.2.4	A/D 转换器的主要参数·····	236
9.2.5	集成 A/D 转换器及其应用·····	236
9.3	项目小结·····	239
9.4	自我评估·····	239
参考文献	·····	241

微型 LED 照明器

PN 结是构成半导体器件的基础,而半导体器件又是电子电路最基本的组成部分。最简单的半导体器件是二极管,它的管芯就是一个 PN 结。

本项目通过微型 LED 照明器的制作,在介绍了半导体材料有关知识的基础上,重点对半导体二极管的应用电路、使用方法和检测手段进行了阐述,这些内容是学习本书后续内容的基础。

1.1 任务:微型 LED 照明器的制作

1.1.1 任务概述

利用一个简单的直流电源(如 MP3 充电器电路),外加 3 只发光二极管(又称 LED)制作出一个漂亮的小夜灯。

1.1.2 目标分解

完成小夜灯(微型 LED 照明器)制作的任务可分解为以下步骤。

- (1) 了解半导体材料的基本特性。
- (2) 了解相关元件(普通二极管和发光二极管)的结构和基本应用。
- (3) 熟悉相关元件(普通二极管和发光二极管)极性的识别和性能检测方法。
- (4) 实施并完成微型 LED 照明器的制作。

1.1.3 主要元件与仪器的准备

1. 万用表

万用表是一种多功能、用途广泛的小型测量仪表,现市场上已有多种型号的产品。不论何种类型的万用表,它们的结构基本相似,都是由一个磁电式测量机构(俗称表头)、测量电路和转换开关等组成。其面板上还配有机零位调整螺丝、零欧姆调节电位器和输出测量插孔等。下面以 MF-30 型万用表为例介绍一下万用表的结构和基本使用方法。

MF-30 型万用表面板图如图 1-1 所示。

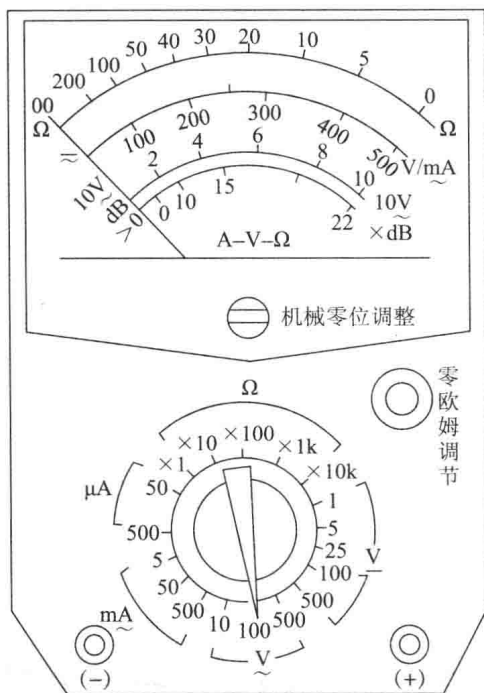


图 1-1 MF-30 型万用表面板图

它具有 18 挡量程,可分别测量交直流电压、直流电流、电阻及电平,它们是通过改变面板上转换开关的挡位,从而改变测量电路的结构,以获得各种功能的测量要求。由于各种被测量共用一个表头,因此在面板表盘上有相应的几条标度尺,在使用时一定要熟悉每条标度尺上的刻度及所指示的被测量。

MF-30 型万用表的基本规范见表 1-1。

表 1-1 MF-30 型万用表的基本规范

标记符号	测 量 范 围		灵敏度或电压降	精 度	备 注
—V(或 <u>V</u>)	直流电压	1~5~25V	20000Ω/V	2.5	
		100~500V	5000Ω/V		
~V	交流电压	10~100~500V	5000Ω/V	4.0	正弦交流频率 45~1000Hz
mA	直流电流	50μA	0.075V	2.5	
		0.5~5~50~500mA	≈0.3V		
Ω	电阻	Ω×1、×10、×100、 ×1k、×10k	25Ω 中心电阻	2.5	1.5V 干电池
				2.5	15V 层叠电池
dB	音频电平	—10~+22dB		4.0	1MW、600Ω 为 0dB

在 MF-30 型万用表的内部有若干保护机构,如在测量机构上并接两个保护硅二极管(2CK),在电流过载时对表头起保护作用;在总电路上串接一个 0.5A 的保险丝,以减少由于误操作而烧毁电表的机会。

1) 直流电流的测量

MF-30 型万用表是由一个 $50\mu\text{A}$ 的表头(测量机构)和分流支路构成。通过分流支路可以扩大电流量程,从而构成参量程电流表,如图 1-2 所示。

在测量时,先将转换开关旋在合适的电流量程挡位上,再把面板上的两个正、负测量插孔通过测试棒串接在被测电路中,待测电流经电表使指针偏转,从标度尺上就可读出被测值。

万用表的内阻会影响被测电路的工作情况,因此在使用时应正确选择量程,以减少由于内阻造成的测量误差。

2) 直流电压的测量

MF-30 型万用表的 $50\mu\text{A}$ 表头本身就是一只量程为 75mV ($50\mu\text{A} \times 1.5\text{k}\Omega$) 的电压表,通过串联不同的倍压电阻就可扩大电压量程。图 1-3 给出了量程为 1V、5V、25V 的线路图。

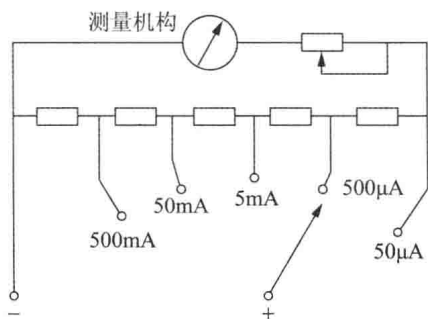


图 1-2 MF-30 型万用表

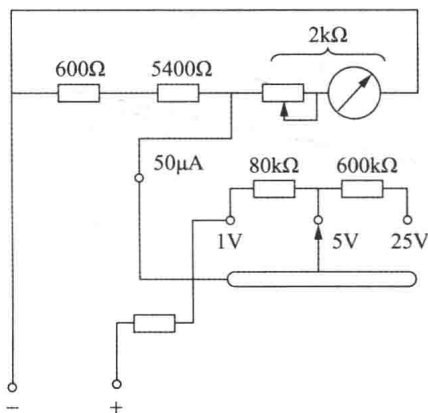


图 1-3 量程为 1V、5V、25V 的线路图

在测量时,先将转换开关旋在合适的量程挡位上,然后将测试棒通过测量插孔并联接于被测电路上进行电压的测量。

不同电压挡的电表内阻是不相同的,万用表是以电压挡的灵敏度 $= R_i/V_N$ (单位为 Ω/V) 来说明这个特征的,其中 R_i 为某电压挡级电表的总内阻, V_N 为电压量限。

电压表的内阻愈高,从被测电路取用的电流愈少,对被测电路影响愈小。当被测电路等效内阻很高时,电压表对被测电路影响就较大,此时宁可选电压量程高一些的挡级(例如原来可用 1V 量限测量的,而选用 5V 量限挡进行测量),使电表内阻增大,以减小测量误差。

3) 交流电压的测量

万用表的测量机构是磁电式仪表,它只能用来测量直流电,为了测量交流电, MF-30 型万用表采用了串、并联方式的二极管半波整流电路,如图 1-4 所示。

正弦交流电通过半波整流电路,表头的读数是该半波电流的平均值,而标度尺上标出

的刻度是已折算好了的正弦交流电的有效值。因此,万用表的交流电压挡只能测量正弦交流电压,且仅适用于 $45\sim 1000\text{Hz}$ 的频率范围。

测量交流电压的方法与测直流电压方法相似,测交流 10V 以上(选用 100V 或 500V 挡位)的电压同用一条标度尺。而在测交流 10V 以下的小电压时,由于整流二极管非线性的影响不能忽视,因而万用表特设置一条交流 10V 挡的专用标度尺。在测量小电压时必须用此专用标度尺,否则测量误差会很大。

4) 电阻测量

在用万用表测量电阻时,表内配有一个由电源(干电池)、附加电阻和 $50\mu\text{A}$ 表头等组成的可测电阻的电路,如图 1-5 所示。

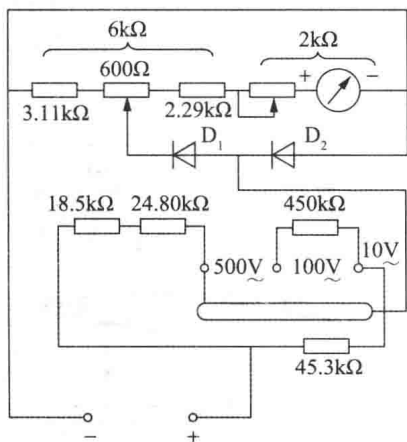


图 1-4 采用了串、并联方式的二极管半波整流电路的 MF-30 型万用表

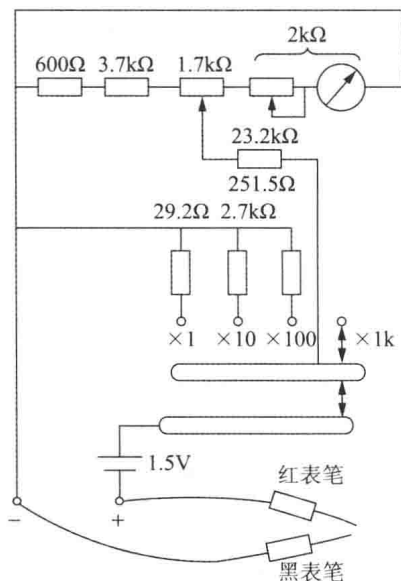


图 1-5 万用表内可测电阻的电路

在用万用表测电阻时,其内部电路可等效成一个电压源,当外接被测电阻为零时(两根测试棒短接),表头内通过的电流最大($50\mu\text{A}$),指针满偏转,而“ Ω ”标尺刻为“0”值;当外接电阻为无穷大时(两根测试表笔断开),表头内无电流通过,指针不动,而“ Ω ”标尺刻为“ ∞ ”;当外接被测电阻为表的某挡位总内阻时(即该挡位等效电压源内阻),通过表头电流为满偏值的一半($25\mu\text{A}$),指针指在中心位置,故表的总内阻常称为中值电阻。MF-30 型万用表 $\Omega\times 1$ 挡中值电阻为 25Ω ,不同量程挡级,中值电阻不同,见表 1-2。

表 1-2 不同量程挡级的中值电阻

量程挡级	$R\times 1$	$R\times 10$	$R\times 100$	$R\times 1\text{k}$	$R\times 10\text{k}$
中值电阻	25Ω	250Ω	2500Ω	$25\text{k}\Omega$	$250\text{k}\Omega$

为了满足可测各种大小的电阻阻值,MF-30 型万用表设有 $\Omega\times 1\sim\Omega\times 10\text{k}$ 5 个测量“ Ω ”挡位,它们同用一个“ Ω ”标尺,在读数时,应乘以“ Ω ”挡位的倍率。

万用表所用干电池的电动势会有变化,将影响满偏电流值。在设计时对于1.5V的干电池其幅度允许在1.35~1.65V范围内变化,也就是说在被测电阻为零时,指针可调整使其偏转在“ Ω ”零位。为此,在测量电路中串入一个调零电位器,在测量之前,先将两根测试表笔短接,转动该电位器,使指针指在“ Ω ”零位上,然后再进行电阻的测量。MF-30型万用表在 $\Omega \times 1$ 挡短接时,最大电流为60mA左右,所以在这一挡短接调零时的速度要快,以延长干电池的使用期限。表内附设有15V叠层电池电路,专供大电阻 $R \times 10k$ 挡使用。

特别要注意,在测量电阻时,切勿带电测量,必须先切断电路中的电源,如果电路中有电容则应先放电。也不能误将“ Ω ”表当成电压表和电流表使用,这样都会损坏电表。

要养成良好的使用习惯,即当使用完电表后,应将转换开关旋在变流500V挡位上。万用表长期不用,应取出干电池,以防止电解液溢出腐蚀和损坏其他零件。

2. 双踪示波器

阴极射线示波器简称为示波器,是一种用途极为广泛的电子测量仪器,它能把电信号转换成可在荧光屏幕上直接观察的图像。示波器的种类很多,通常可分为通用、多踪多线、记忆存贮、逻辑专用等。

单踪示波器如果没有外加设备,只能测量一个电信号,而双踪示波器既可测量单个电信号,也可同时观察两个电信号。在实验过程中,如需要对两个信号的波形同时进行观察或比较时,选用双踪示波器比较合适。

双踪示波器的原理框图如图1-6所示。它有 Y_1 和 Y_2 两个输入通道,当由电子线路组成的电子开关接通 Y_1 通道时,受信号 u_1 的控制,荧光屏上显示 u_1 信号的波形;同理,当接通 Y_2 通道时,荧光屏上显示 u_2 信号的波形。如果电子开关以足够高的速度交替接通 Y_1 和 Y_2 通道,由于荧光屏的余辉和人眼的视觉暂留效应,就可在荧光屏上同时观察到 u_1 和 u_2 两个信号波形。

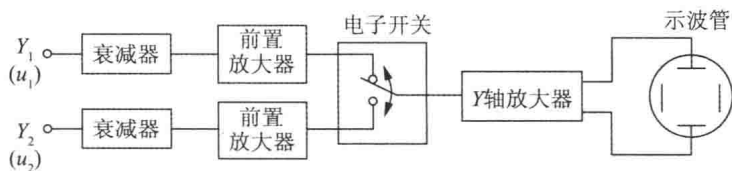


图 1-6 双踪示波器的原理框图

一般示波器包括示波管、Y轴放大器、X轴放大器、扫描发生器、电源等几部分。

(1) 电子射线示波管是示波器的核心部件,它包括以下几部分。

- ① 电子枪,能发射很细的高速电子束;
- ② 偏转板,用它来控制电子束,使电子束能按外加电压(观察对象)的变化偏转;
- ③ 荧光屏,是显示波形的,当电子束打上去时,屏上被打的部分便发出亮光。当电子束按外加变化电压偏转时,就能在荧光屏上显示出一定的波形。

电子枪包括灯丝(H)、阴极(K)、第一阳极和第二阳极(A_1 、 A_2) (有的示波管还有第三阳极)。阴极加热后发射的电子,受到第一阳极上正电压的吸引,在栅极的控制下,形成细的电子束。调节栅极电压就能控制阴极发射电子束的强弱,使荧光屏上光点的亮度改变,因此叫“辉度”调节。增加第一、二阳极的电压,能使光点的直径变小,图像清晰,这就是“聚焦”调节的作用。

当垂直、水平偏转板上都没有加电压时,电子束直射到荧光屏上,在荧光屏的中央出现一个光点。如果只在水平偏转板上加直流电压,电子束通过偏转板间的电场时,受电场力的作用而发生偏移,使光点向左或向右偏移。同理,若只在垂直偏转板上加直流电压,光点就向上或向下偏移。光点偏移的距离与所加电压的大小成正比,而偏转的方向取决于偏转板上所加电压的极性。因此,调节两偏转板上的电压,就能调节荧光屏上光点的位置,这就是示波器上的“X轴位置”和“Y轴位置”的调节作用。

示波管屏面玻璃内壁涂有一层荧光剂而被称为荧光屏,当电子射到荧光屏上时能产生光点。在光点发光后,如无电子连续撞击,该点尚能延续发光一段时间,这种现象称为示波管的发光延续性,又称余辉,它是示波管的一个重要指标。按余辉长短示波管可分为3类,即短延续性,延续发光时间自 $1.2\mu\text{s}$ 至 1ms (短余辉);中延续性 1.2ms 至 1.2min (中余辉);长延续性 1.2min 以上(长余辉)。

(2) Y轴通道把被测信号电压放大到足够的幅度,然后加在示波管的垂直偏转板上。Y轴通道还带有衰减器用以调节垂直幅度,确保显现图形的垂直幅度适当或进行定量测量。

(3) 扫描发生器产生一个与时间呈线性关系的周期性锯齿波电压(又称扫描电压),在经过X轴通道放大以后,再加在示波管水平偏转板上,X轴通道还带有衰减器。这部分也被称为扫描时基部分。

(4) 电源部分向示波管和其他元件提供所需的各组高低压电源,以保证示波器各部分的正常工作。

当示波管垂直偏转板上加有待测信号电压 $u_Y = u_{Ym} \sin \omega t$,水平偏转板上加有同频率锯齿波电压 u_X 时,电子束的偏转是垂直和水平两个电场力合成的结果,将使电子束在荧光屏上扫描出随时间变化的电压波形。

当被观察信号的频率 f_Y 与扫描电压频率 f_X 相等时,在荧光屏上会显示出一个正弦波的图形。如果 $f_Y = n f_X$, $n=2, 3, \dots$ 时,则荧光屏上将出现2个、3个 $\dots$ 波形。示波器面板上的“扫描范围”和“扫描微调”就是扫描电压频率的调节旋钮。

示波器的用途极为广泛,且种类繁多,在具体使用时请仔细阅读其相关说明,以保证观察测量的正确性及在使用中不对设备造成损害。

3. 普通二极管与发光二极管

普通二极管和发光二极管的外观如图1-7和图1-8所示。

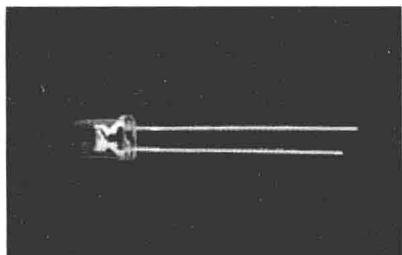


图 1-7 发光二极管外观

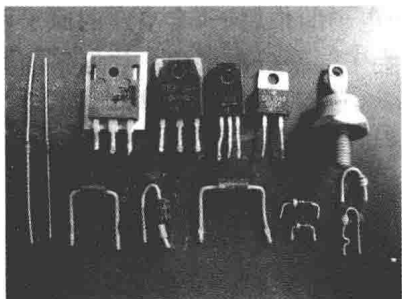


图 1-8 普通二极管外观

1.1.4 知识准备

1. 半导体的基本特性

物质按其导电能力一般可分为导体、半导体和绝缘体。导电能力较强的物质称为导体，如铜、铝等。没有导电能力的物质称为绝缘体，如塑料、陶瓷等。导电能力介于导体与绝缘体之间的物质则被称为半导体。

制造半导体器件最常用的半导体材料为硅和锗。

1) 热敏特性和光敏特性

通常状态下半导体类似于绝缘体，几乎不导电。但在加热或光照加强时，半导体的阻值显著下降，导电能力增强类似于导体。利用半导体的热敏特性和光敏特性可制成热敏电阻和光敏电阻、光电二极管等元件，用于实现自动测量及自动控制等。

对于半导体的光敏特性和热敏特性，可以通过下面简单的演示实验进行验证。将电子音乐门铃按钮开关取下，并将其两个接线端接上光敏电阻。当遮住光线时，光敏电阻阻值很大，相当于按钮断开，门铃不响。如果不遮住光线，使光照在光敏电阻上，则光敏电阻阻值减少，相当于按钮接通，门铃可响。当光线不足时可以用手电筒或白炽灯做光源。如果在两接线端接上热敏电阻，用打火机做热源，就可验证半导体的热敏特性。

半导体具有热敏特性和光敏特性是由半导体的内部结构所决定的，如图 1-9 所示。

纯净的半导体又称本征半导体。用于制造半导体器件的硅和锗都是四价元素，其最外层原子轨道上有 4 个电子，这 4 个电子为相邻的原子所共有，形成共价键结构。

在共价键结构中，原子最外层虽然具有 8 个电子而处于较稳定的状态，但是共价键中的电子还不像在绝缘体中的价电子被束缚得那样紧，当温度增高或光照增强时，有些电子获得能量，即可挣脱原子核的束缚，成为自由电子。温度愈高或光照愈强，产生的自由电子便愈多。在电子挣脱共价键的束缚成为自由电子后，共价键中就留下一个空位，称为空穴。在一般情况下，原子是中性的。当电子挣脱共价键的束缚成为自由电子后，原子的中性便被破坏，而显出带正电。

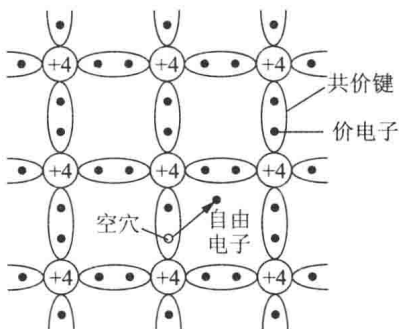


图 1-9 半导体内部结构示意图

在外电场的作用下,有空穴的原子可以吸引相邻原子中的价电子,填补这个空穴。同时,在失去了一个价电子的相邻原子的共价键中出现另一个空穴,它也可以由相邻原子中的价电子来递补,而在该原子中又出现一个空穴,如此继续下去,就好像空穴在运动。而空穴运动的方向与价电子运动的方向相反,空穴运动相当于正电荷的运动。

因此,当半导体两端加上外电压时,半导体中将出现两部分电流:一部分是带负电荷的自由电子作定向运动所形成的电子流,另一部分相当于带正电荷的空穴作与电子流相反方向的运动形成的空穴电流。在半导体中,同时存在着电子导电和空穴导电,这是半导体导电方式的最大特点,也是半导体和导体在导电机构上的本质差别。自由电子和空穴均称为载流子。

本征半导体中的自由电子和空穴总是成对出现,同时又不断复合。在一定温度或光照下,载流子的产生和复合达到动态平衡,于是半导体中的自由电子和空穴便维持一定数目。温度愈高或光照愈强,载流子数目愈多,导电性能也就愈好。所以温度或光照对半导体导电性能的影响很大。

如半导体在光照下,电阻减小,导电性增加。这是因为在光的照射下,会造成载流子数量的增加,从而减小电阻。利用半导体的这种特性可以制成光敏电阻。

导体的电阻率随温度的升高而增大,半导体的电阻率却随温度的升高而急剧下降,这是半导体的热敏现象。利用半导体的这种特性可以制成热敏电阻。

热敏电阻与光敏电阻在遥测、遥控、自动控制、无线电技术中都有很重要的应用。

2) 掺杂特性

如果在半导体里掺入少量的杂质,也会使半导体的导电能力增强。例如,在半导体硅或锗中掺入少量外层电子数只有 3 个的硼元素,和外层电子数是 4 个的硅或锗原子组成共价键时,就自然形成一个空穴,这就使半导体中的空穴载流子增多,导电能力增强,这种掺入三价元素,空穴为多数载流子,而自由电子为少数载流子的半导体叫空穴型半导体,简称 P 型半导体。

如果在半导体中掺入少量外层电子数为 5 个的磷元素,和半导体原子组成共价键时,就多出一个电子。这个多出来的电子不受共价键束缚,很容易成为自由电子而导电。这种掺入五价元素,电子为多数载流子,空穴为少数载流子的半导体叫电子型半导体,简称 N 型半导体。

单独的 N 型或 P 型半导体,只是在导电能力上得到了改善。由掺杂浓度的不同而得到不同值的半导体电阻。在制造半导体二极管、三极管、场效应管等半导体器件时,则是利用 P 型半导体和 N 型半导体两者的结合,即 PN 结。

2. PN 结与半导体二极管

1) PN 结

(1) PN 结的形成。在一块纯净的半导体晶片上,采用特殊的掺杂工艺,在两侧分别掺入三价元素和五价元素。一侧形成 P 型半导体,另一侧形成 N 型半导体,如图 1-10 所示。

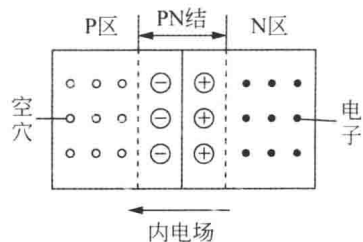


图 1-10 PN 结的形成