



中等职业教育课程改革创新教材
中等职业教育机电系列教材



中等职业教育课程改革创新教材
中等职业教育机电系列教材

电子技术基础与技能

▶ 主编 张琛

电子技术基础与技能

DIANZI
JISHU JICHU
YU JINENG

电子技术基础与技能

主编 张琛

DIANZI
JISHU JICHU
YU JINENG



哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

ISBN 978-7-5661-2902-4



定价: 39.80元

选题策划: 刘子嘉
责任编辑: 苏莉
封面设计: 黄燕美

哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

中等职业教育课程改革创新教材
中等职业教育机电系列教材

电子技术基础与技能

► 主 编 张 琛
副主编 朱 琳 刘会鹏

DIANZI
JISHU JICHU
YU JINENG

内 容 简 介

本书分为模拟电子电路和数字电子电路两部分,共九个项目,内容包括半导体器件及其应用、放大电路及其应用、集成运算放大器及其应用、直流稳压电源的制作、晶闸管及其应用、组合逻辑电路的分析与设计、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与变换、数/模和模/数转换。

本书可作为中等职业学校电子信息类、自动化类、机电设备类等相关专业教材,也可作为相关从业者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础与技能 / 张琛主编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2021.9(2023.12重印)

ISBN 978-7-5661-2902-4

I. ①电… II. ①张… III. ①电子技术 IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 192472 号

电子技术基础与技能

DIANZI JISHU JICHU YU JINENG

选题策划 刘子嘉

责任编辑 苏 莉

封面设计 黄燕美

出版发行 哈尔滨工程大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区南通大街 145 号

邮政编码 150001

发行电话 0451-82519328

传 真 0451-82519699

经 销 新华书店

印 刷 大厂回族自治县聚鑫印刷有限责任公司

开 本 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张 15

字 数 310 千字

版 次 2021 年 9 月第 1 版

印 次 2023 年 12 月第 3 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5661-2902-4

定 价 39.80 元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前言

PREFACE



二十大报告中强调教材是学校教育教学、推进立德树人的关键要素，是国家意志和社会主义核心价值观的集中体现，是解决“培养什么人、怎样培养人、为谁培养人”这一根本问题的核心载体，事关为党育人、为国育才的使命任务，事关广大学生的成长成才，事关全面建设社会主义现代化国家的大局。《电子技术基础与技能》这本书全面贯彻党的教育方针，落实立德树人根本任务，为培养德智体美劳全面发展的社会主义建设者和接班人发挥作用。

为落实习近平新时代中国特色社会主义思想进教材、进课堂、进头脑，积极培育和践行社会主义核心价值观，深化“三教”改革，提升人才培养质量，我们编写了本教材。

“电子技术基础与技能”是电子信息类、自动化类、机电设备类等相关专业一门重要的专业核心课程。通过学习，学生应掌握电子电路的原理、标准和电子元器件的识别，电子线路试验、测试及实用电路的设计等知识和技能。本课程是电工基础等课程的后续课程，是电气控制系统安装调试、电气测量等课程的前修课程。

本书具有以下特点：

(1) 突出职业教育的特色，注重职业素质和创新精神的培养，把工作岗位所必需的知识、技能融入教材，便于激发学生的学习兴趣，有利于教与学。

(2) 在内容上不但追求学科体系的系统性和完整性，而且注重培养学生的实践技能。实践教学力求与实际生产情境相结合，再现生产过程，将不同学科体系的相关知识进行横向构建，形成一系列彼此联系、层次渐进的任务序列，并将知识与技能、过程与方法、情感态度与价值观的培养融入工作任务中，旨在培养学生的综合职业能力。

(3) 充分考虑职业教育的特点和中职学生的认知基础，以“精简”和“适用”为原则，摒弃繁杂的理论分析和教学指导，从实际应用角度出发组织教材内容。例如，运算放大器和计数器等集成电路内部结构复杂，因此不再介绍内部结构，只介绍它的整体功能和使用方法。数字电子部分以介绍逻辑电路的功能和分析方法为主，侧重介绍中、小规模数字电路的

应用。

(4) 在知识结构与专业能力上,以典型工作任务为载体,整合相应的知识和技能,实现理论与操作技能相统一。将大纲中的教学内容分解到学习任务中,在完成任务的过程中学习专业知识技能,体现“做中学,做中教”的职业教育特色。

(5) 采用全程考核、全面考核的成绩评定方式。设置任务评分表、学生任务实施过程的小结及反馈和教师点评环节。

本书中还大量使用实拍图片和表格来描述实训项目的操作步骤,对技术理论的阐述简洁而清晰,浅显易懂,有利于提高学生的形象思维能力。

本书由天津市机电工艺技师学院张琛任主编,天津市机电工艺技师学院朱琳、天津市誉华专业技术学校刘会鹏任副主编。全书由张琛统编。

由于编者水平有限,书中存在的错误和不妥之处敬请读者批评指正,不胜感激。

编者

目录

CONTENTS



第一部分 模拟电子电路

项目一 半导体器件及其应用 003

任务一 二极管整流稳压显示电路板的制作 003

任务二 三极管驱动电路板的制作 013

项目二 放大电路及其应用 022

任务一 单管放大电路板的制作（单管式收音机） 022

任务二 分压式偏置放大电路的制作 039

任务三 负反馈多级放大电路板的制作（助听器的制作） 043

任务四 OTL功率放大电路板的制作 053

任务五 音频功放器的制作 060

项目三 集成运算放大器及其应用 066

任务一 集成运放应用电路的制作 067

任务二 呼吸灯的制作 079

任务三 函数发生器的制作与调试 084

任务四 正弦波、方波、三角波产生电路的制作 093

项目四 直流稳压电源的制作 098

任务一 串联型直流稳压电源的制作 098

任务二 并联型直流稳压电源的制作 113

项目五 晶闸管及其应用 117

任务一 调光台灯的制作 118

任务二 微风扇调速器的制作 129

第二部分 数字电子电路

项目六	组合逻辑电路的分析与设计	135
任务一	三人表决器的制作	136
任务二	一位十进制数码显示电路的制作	152
任务三	十进制全加器译码显示电路的制作	164
项目七	时序逻辑电路	172
任务一	四人抢答器的制作	173
任务二	彩灯电路的制作	185
任务三	交通信号灯的制作	192
项目八	脉冲波形的产生与变换	202
任务一	触摸控制开关的制作	203
任务二	555集成块门铃电路的制作	209
项目九	数 / 模和模 / 数转换	215
任务一	集成数 / 模转换电路的测试	216
任务二	集成模 / 数转换电路的测试	223
任务三	数 / 模电压转换电路的制作	229
参考文献	234



第一部分
模拟电子电路

项目一

半导体器件及其应用

【知识目标】

- (1) 二极管与三极管的符号、分类、工作特点、伏安特性曲线。
- (2) 二极管与三极管的主要参数。
- (3) 二极管与三极管的识别及实际应用。

【能力目标】

- (1) 了解二极管与三极管的主要参数、分类。
- (2) 掌握二极管与三极管的符号、工作特点和伏安特性曲线。
- (3) 具备利用万用表检测二极管和三极管的技能。

【素养目标】

- (1) 培养学生关注电子技术领域的国内外前沿发展现状，激发学生科技报国的家国情怀和使命担当，坚定“四个自信”。
- (2) 引导学生深刻理解并自觉实践电子行业的职业规范，增强职业责任感。

学习指导

本项目的主要目的是通过对半导体知识的学习，掌握PN结的单向导电特性、二极管的基本特性，熟悉二极管的基本类型和命名；能查阅《晶体管手册》了解不同类别二极管、三极管的主要技术参数，并进行器件选用和代换；能利用直观法对二极管、三极管的类型、引脚极性和外观进行识别；会使用万用表对普通二极管、三极管进行引脚极性判别和质量检测。通过二极管整流稳压显示电路板的制作、三极管驱动电路板的制作，掌握元件的检测、装配、焊接技能，初步具备电路识读、调试及故障排除的能力。在制作过程中要注意用电安全，正确使用仪器、仪表。

任务一 二极管整流稳压显示电路板的制作

任务描述

图 1-1 所示的电子数码产品的工作电源是不同电压等级的直流电。除了采用电池外，还可采用 50 Hz 的交流电。如何将工频交流电变成直流电？这是用半导体二极管可以解决的问题。其电路框

图如图 1-2 所示, 原理图如图 1-3 所示。



图 1-1 电子数码产品在日常生活中的应用



图 1-2 电路框图

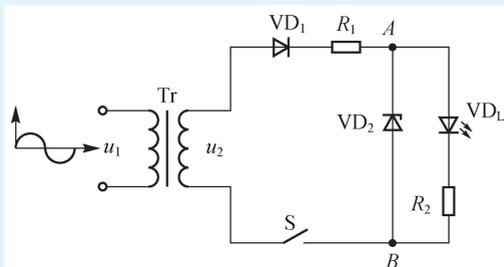


图 1-3 二极管整流稳压显示电路原理图

任务分析

一、半导体基础知识

1. 半导体的特点

自然界的物质按其导电性能可分为导体、绝缘体和半导体。半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间, 其电阻率为 $10^{-3} \sim 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 。

半导体是制造晶体管的原料, 其之所以能得到广泛应用, 并不在于它的电阻率很小, 而主要是因为其电阻率随温度、光照及所含杂质的种类、浓度等条件的不同而出现显著差别。半导体的导电性能有如下一些显著特点。

(1) 半导体的电阻率随温度上升而明显下降, 呈负温度系数特性。半导体的导电能力随温度上升而显著增强。利用半导体的温度特性, 可以把它作为热敏材料制成热敏元件。

(2) 半导体的电阻率随光照的不同而改变。利用半导体的这一特性, 可以用它作为光敏材料制成光敏元件。

(3) 半导体的电阻率与所含微量杂质的浓度有很大关系。利用半导体的这一特性, 通过特定的工艺手段, 可以生产各种性能和用途的半导体器件。

半导体一般分为本征半导体和杂质半导体两种类型。

2. 本征半导体

常用的半导体材料有硅(Si)和锗(Ge)。高纯度的硅和锗都是单晶结构,它们的原子整齐地按一定规律排列着,原子之间的距离不仅很小,而且是相等的。这种非常纯净且原子排列整齐的半导体称为本征半导体,图1-4所示为硅和锗的原子结构示意图。从图中可以看出,其最外层电子数都是4,故称其为4价元素。正常情况下,它们的原子都呈电中性。

在硅、锗制成单晶后,最外层的4个价电子不仅受自身原子核的束缚,还与其相邻的4个原子核相吸引,2个相邻原子之间共有1对价电子,这种结构称为共价键,如图1-5所示。

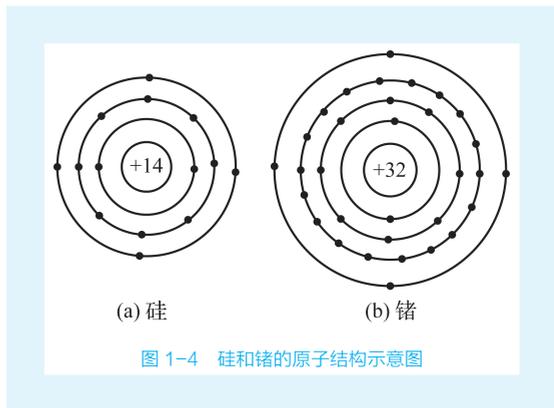


图1-4 硅和锗的原子结构示意图

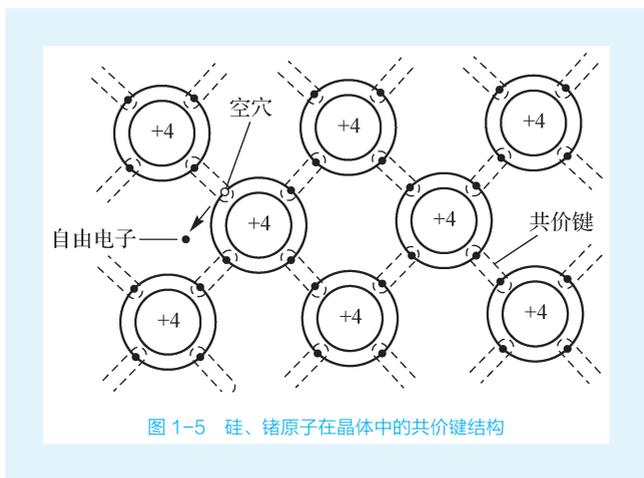


图1-5 硅、锗原子在晶体中的共价键结构

共价键中的价电子受热激发获得足够能量,则可摆脱共价键的束缚而成为自由电子。这个电子原来所在的共价键的位置上就留下一个缺少负电荷的空位,这个空位称为空穴。显然,空穴带正电荷。

在本征半导体中,自由电子和空穴的数量是相同的,称为电子空穴对,本征半导体靠热激发的电子空穴对很少。综上所述,本征半导体有如下特点。

(1) 温度越高,电子空穴对越多。

(2) 电子空穴对的热运动是杂乱无章的,就整体而言,对外不显电性。只有在外电场作用下,电子和空穴运动才具有方向性。

3. 杂质半导体

本征半导体的实际使用价值不大,但如果在本征半导体中掺入微量的某种杂质元素,就形成N型和P型半导体。

1) N型半导体

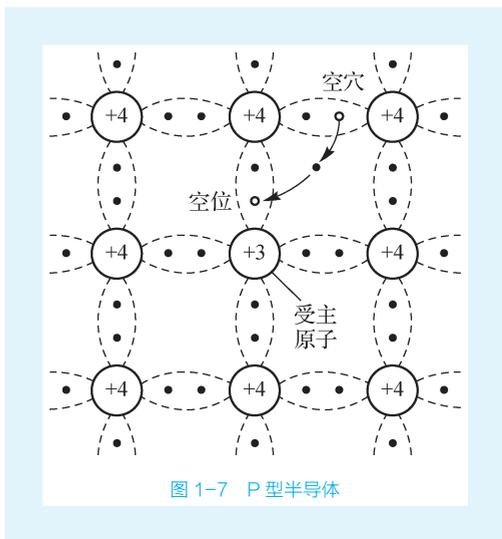
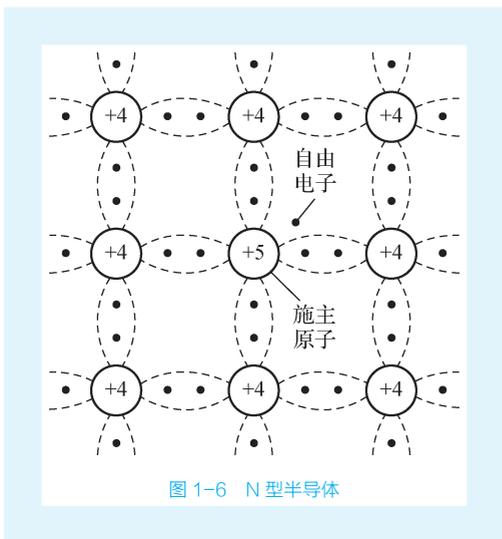
在本征半导体(以硅为例)中掺入少量5价元素,如磷(P)、砷(As)等。磷原子的最外层有5个价电子,其中4个价电子与相邻硅原子的最外层价电子组成共价键,形成稳定结构。而多余的电子很容易受激发成为自由电子。掺入磷元素越多,则自由电子就越多。这种掺入5价元素的半导体称为N型半导体,如图1-6所示。N型半导体主要靠自由电子导电,自由电子称为多数载流子,

而空穴数量远少于电子数量，称为少数载流子。

2) P型半导体

在本征半导体中掺入少量3价元素，如硼(B)。硼原子最外层只有3个电子，3个价电子和相邻的3个硅原子形成共价键后，留下一个空穴，空穴数量增多，自由电子则相对很少。掺入3价元素的半导体称为P型半导体，如图1-7所示。P型半导体主要靠空穴导电，故空穴为多数载流子，而自由电子数量远少于空穴数量，为少数载流子。

注意：N型半导体和P型半导体都呈电中性，对外不显电性。



二、PN 结的形成与特性

1. PN 结的形成

当P型半导体和N型半导体接触以后，由于交界两侧半导体类型不同，存在自由电子和空穴的浓度差。这样，P区的空穴向N区扩散，N区的自由电子向P区扩散。由于扩散运动（物质因浓度差而产生的运动称为扩散运动），在P区和N区的接触面就产生正、负离子层。N区失掉电子产生正离子，P区得到电子产生负离子。通常称这个正、负离子层为PN结，如图1-8(a)所示。

在PN结的P区一侧带负电，N区一侧带正电，PN结便产生了内电场，内电场的方向从N区指向P区。内电场对扩散运动起到阻碍作用，自由电子和空穴的扩散运动随着内电场的加强而逐步减弱，直至达到平衡，在界面处形成稳定的空间电荷区，如图1-8(b)所示。

2. PN 结的特性

1) PN 结的正向导通特性

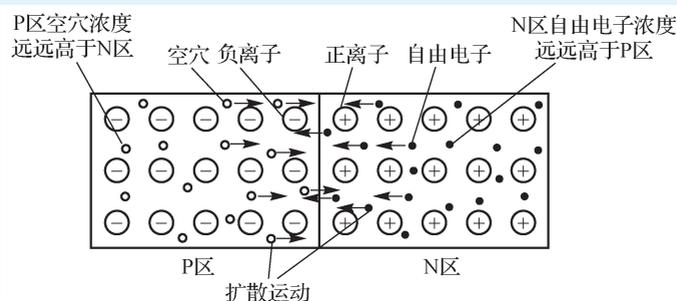
给PN结加正向电压，即P区接电源正极，N区接电源负极，称PN结为正向偏置，如图1-9(a)所示。

这时PN结外加电场与内电场方向相反，外加电场抵消内电场，使空间电荷区变薄，有利于多数载流子运动，形成正向电流，外加电场越强，正向电流越大，这意味着PN结的正向电阻变小。

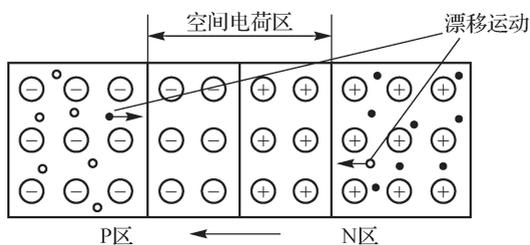
2) PN 结的反向截止特性

给PN结加反向电压，即电源正极接N区，负极接P区，称PN结反向偏置，如图1-9(b)

所示。这时外加电场与内电场方向相同，使内电场的作用增强。PN 结变厚，多数载流子运动难以进行，有助于少数载流子运动，形成电流 I_R 。少数载流子很少，所以电流很小，接近零，即 PN 结反向电阻很大。



(a) PN结的形成



(b) 空间电荷区的形成

图 1-8 PN 结与空间电荷区的形成



动画
PN 结的单向
导电性

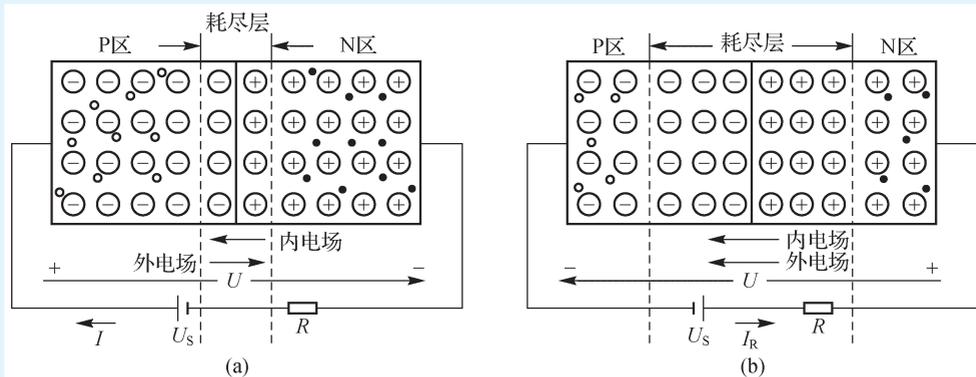


图 1-9 PN 结的导电特性

综上所述，PN 结具有单向导电性，加正向电压时，PN 结电阻很小，正向电流较大，由多数载流子的扩散运动形成；加反向电压时，PN 结电阻很大，反向电流很小，由少数载流子的漂移运动形成。

三、二极管的结构和符号

半导体二极管的制造材料有硅、锗及其化合物。根据所用材料不同，二极管可分为硅管和锗管

两大类。二极管的内部分为 P 型半导体区和 N 型半导体区，交界处形成 PN 结。从 P 区引出的电极为正极，用 A 表示；从 N 区引出的电极为负极，用 K 表示。

二极管的结构和符号如图 1-10 所示。

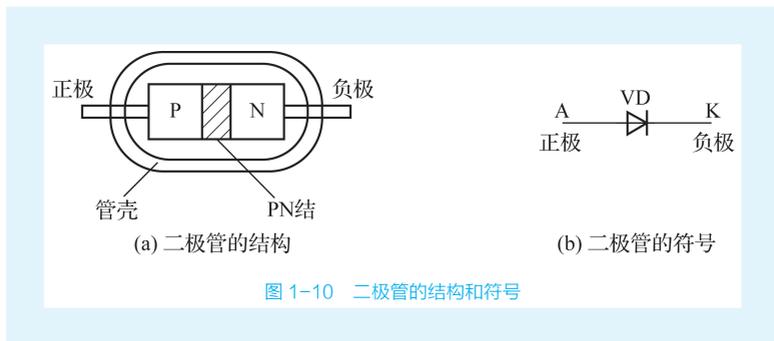


图 1-10 二极管的结构和符号

四、二极管的工作特点、主要参数、分类和检测方法

1. 二极管的工作特点

1) 二极管的单向导电性

二极管导通时，其正极电位高于负极电位，此时的外加电压称为正向电压，二极管处于正向偏置，简称正偏，如图 1-11 (a) 所示；二极管截止时，其正极电位低于负极电位，此时的外加电压称为反向电压，二极管处于反向偏置，简称反偏，如图 1-11 (b) 所示。

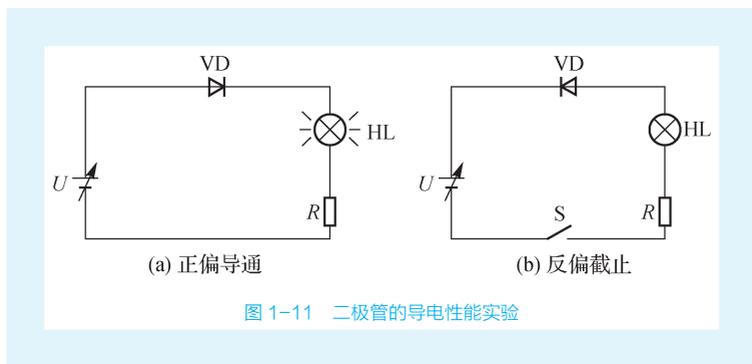


图 1-11 二极管的导电性能实验

二极管加正向电压时导通，加反向电压时截止，这就是二极管的单向导电性。

2) 二极管的伏安特性曲线

(1) 正向特性。当二极管承受的正向电压很低时，还不足以克服 PN 结内电场对多数载流子运动的阻挡作用，在这一区段（死区）上二极管正向电流 I_F 很小。通常，硅二极管的死区电压约为 0.5 V，锗二极管的死区电压约为 0.2 V。

当正向电压超过死区电压时，外电场抵消了内电场，正向电流 I_F 随外加电压的增加而明显增大，二极管正向电阻变得很小。当二极管完全导通后，正向电压基本维持不变，称为二极管正向导通压降 (U_F)，一般硅管的 U_F 为 0.7 V，锗管的 U_F 为 0.3 V。二极管的正向特性如图 1-12 所示。

(2) 反向特性。当二极管承受反向电压时，外电场与内电场方向一致，只有少数载流子的漂移运动，形成的反向电流 I_R 极小，一般硅管的 I_R 为几微安以下，锗管的 I_R 较大，通常为几十到几百微安。这种特性称为反向截止特性。

当反向电压增大到某一数值时，反向电流将随反向电压增加急剧增大，这种现象称为反向击穿，

反向击穿时对应的电压称为反向击穿电压。普通二极管发生反向击穿后,会造成二极管永久性损坏,失去单向导电性。二极管的反向特性如图 1-12 所示。

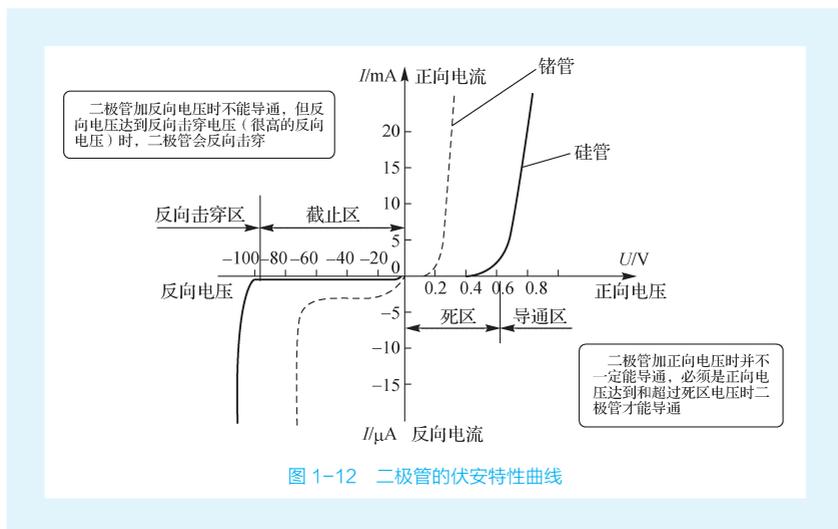


图 1-12 二极管的伏安特性曲线

2. 二极管的主要参数

(1) 最大整流电流 I_{FM} 。二极管长期运行时允许通过的最大正向平均电流称为最大整流电流。正常工作时,流过二极管的电流应该小于 I_{FM} ,否则二极管可能因过热而损坏。

(2) 最高反向工作电压 U_{RM} 。二极管正常工作时,所允许外加的最高反向电压称为最高反向工作电压。 U_{RM} 一般为反向击穿电压的 $1/2$ 。正常工作时,二极管两端所加反向电压应该小于 U_{RM} ,否则二极管将因反向击穿而损坏。

(3) 反向击穿电压 U_{BR} 。二极管反向电流急剧增加时对应的反向电压值称为反向击穿电压,简称反向电压。

(4) 反向电流 I_R 。 I_R 是指在规定的反向电压 ($<U_{BR}$) 和环境温度下的反向电流。此值越小,二极管的单向导电性越好,工作越稳定。 I_R 对温度很敏感,使用时,环境温度不宜过高。

3. 二极管的分类

(1) 按材料分类,二极管分为硅二极管和锗二极管等。

(2) 按构造分类,二极管分为点接触型二极管和面接触型二极管等。

(3) 按用途分类,二极管分为整流二极管、稳压二极管、发光二极管(LED)和光电二极管。

① 整流二极管。整流二极管利用二极管的单向导电性把交流电转换成直流电,如图 1-13 所示。其工作电压为正向电压,主要用于整流电路。

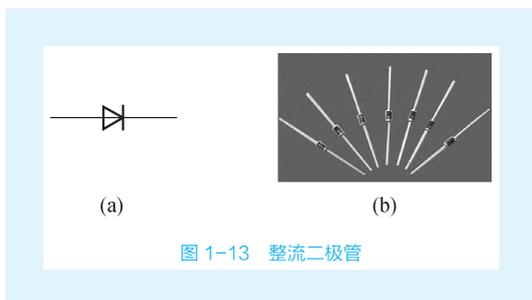


图 1-13 整流二极管

② 稳压二极管。稳压二极管利用二极管反向电击穿时两端电压保持稳定的特性稳定电路两端电压，如图 1-14 所示。其工作电压为反向电压，主要用于稳压电路。

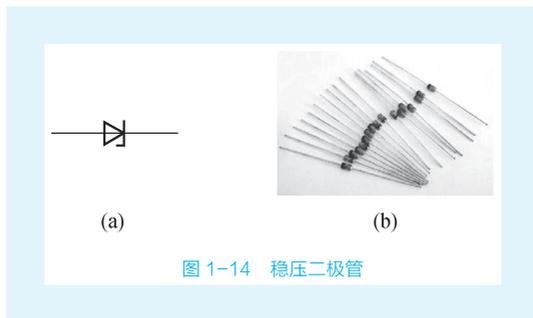


图 1-14 稳压二极管

③ 发光二极管。发光二极管采用磷化镓或者磷砷化镓等制成，直接将电能转变为光能，如图 1-15 所示。其工作电压为正向电压，主要用于计算机、电气设备电源信号指示，音响设备调谐和电平指示，广告显示屏的文字、图形、符号显示等。



图 1-15 发光二极管

④ 光电二极管。光电二极管能将光照强弱的变化转变成电信号，如图 1-16 所示。其工作电压为反向电压，常用于可见光、红外光接收及光电转换的自动控制、报警、计数等设备。

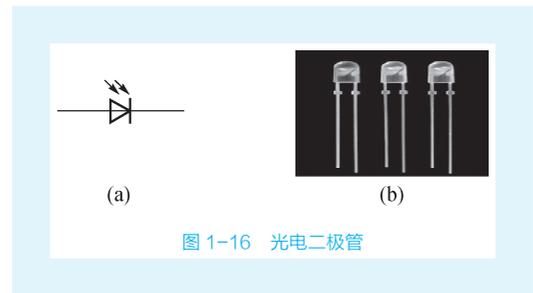


图 1-16 光电二极管

4. 二极管的检测方法

二极管是电子电路和电子设备中的基本器件，为了能正确地选用，必须了解它们的特性、参数及测试方法，这里介绍使用万用表检测二极管的方法。

使用万用表对器件进行检测时，一般应使用 $R \times 1k$ 或 $R \times 100$ 挡，用其他挡位会造成晶体管损坏。还应注意，指针式万用表欧姆挡红表笔正端（+）接表内电池的负极，黑表笔负端（-）接表内电池的正极。

1) 判别二极管的极性

将万用表的转换开关拨到 $R \times 1k$ 或 $R \times 100$ 挡，并将两表笔分别接到二极管两端。如图 1-17 所示，

如果二极管正向偏置,呈现低电阻,表针偏转大,此时万用表指示的电阻小于几千欧;若二极管反向偏置,呈现高电阻,表针偏转小,此时万用表指示的电阻将达几百千欧以上。正向偏置时,黑表笔所接的那一端是二极管的正极。

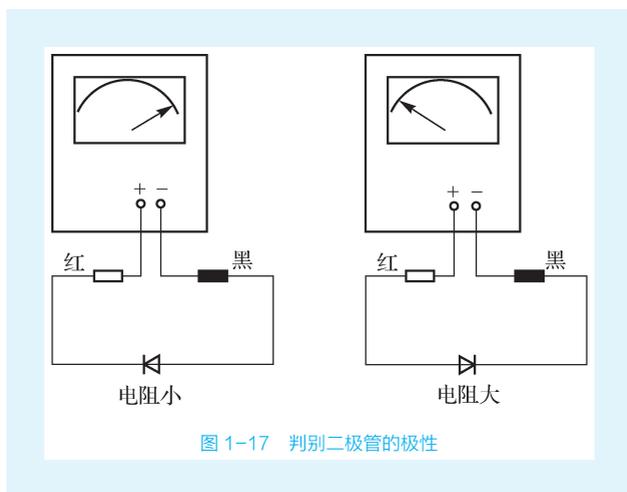


图 1-17 判别二极管的极性

2) 判别二极管的好坏

二极管的正、反向电阻相差越大越好。若测得正、反向电阻均为无穷大,则表明二极管内部断路。若测得正、反向电阻均为零,则表明二极管被击穿或短路。



任务实施

(1) 二极管的直观识别。熟悉表 1-1 中半导体器件的型号命名方法,对实训器材明细表中的二极管进行直观识别,包括二极管的型号、极性、材料、用途、符号等内容。

(2) 利用万用表对二极管的极性和质量好坏进行判别。

(3) 分析二极管整流稳压显示电路(图 1-3)的工作原理。

(4) 根据原理图准备相应的器材,如表 1-1 所示。

表 1-1 二极管整流稳压显示电路实训器材明细表

序号	名称	规格	数量
1	示波器	通用	1 台
2	无线电工具		1 套
3	电源变压器	220 V/15 V	1 台
4	电阻	R_1	300 Ω
5		R_2	1 k Ω
6	普通二极管 VD_1	1N4007	1 只
7	稳压二极管 VD_2	1N5247	1 只

续表

序号	名称	规格	数量
8	发光二极管 VD _L	φ5, 红色	1 只
9	开关 S	单刀单掷	1 个
10	实验板		1 块

(5) 将元器件插装后焊接固定, 用硬铜导线根据电路的电气连接关系进行布线并焊接固定。

(6) 将焊接完成的电路板通电并调试; 通过示波器观察 u_{AB} 的波形, 并用万用表测量稳压管两端的反向电压及发光二极管的导通电压。

任务评价

表 1-2 二极管整流稳压显示电路板评分表

班级: _____ 姓名: _____ 学号: _____ 成绩: _____						
序号	项目与技术要求	配分	评分标准	自检记录	互检记录	得分
1	正确识别二极管的型号、极性、材料、用途、符号	10	(1) 名称漏写或者写错, 每个扣 3 分 (2) 极性、材料、类型漏写或者写错, 每个扣 3 分 (3) 不会识别二极管, 每件扣 10 分 (4) 不会画电路符号, 每件扣 2 分			
2	正确使用万用表判别二极管的引脚极性及其质量好坏	10	(1) 万用表使用不正确, 每次扣 3 分 (2) 不会判别引脚极性, 每次扣 3 分 (3) 不会判别质量好坏, 每次扣 5 分			
3	二极管整流稳压显示电路原理图的分析	20	酌情扣分			
4	根据原理图进行元器件的选择	20	不会选择元器件, 酌情扣分			
5	元器件插装后焊接	20	样板检查, 超差无分			

续表

6	二极管的整流、稳压、显示电路的测量(准确测量稳压二极管的稳定电压和发光二极管的导通电压)	20	每错误测量一项二极管参数,扣10分			
学生任务实施过程的小结及反馈:						
教师点评:						

任务二 三极管驱动电路板的制作

任务描述

照明电路中传统的机械开关与声控、光控、遥控开关的工作方式有何不同?后面几种电灯开关是如何实现开、关灯的?

在这些新型的电灯开关(图1-18和图1-19)中使用了三极管驱动电路,其电路原理图如图1-20所示。



图 1-18 墙壁电灯开关



图 1-19 遥控电灯开关

项目一

项目二

项目三

项目四

项目五

项目六

项目七

项目八

项目九

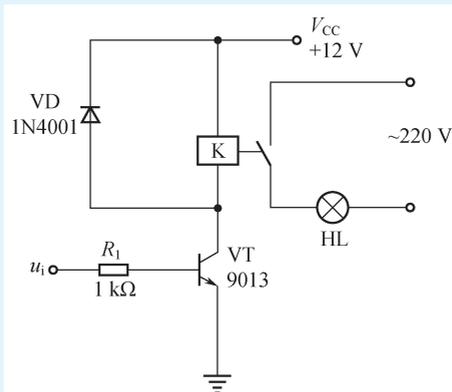


图 1-20 三极管驱动电路

任务分析

一、三极管的结构、图形符号及其分类

1. 三极管的结构和图形符号

三极管的结构和图形符号如图 1-21 所示。

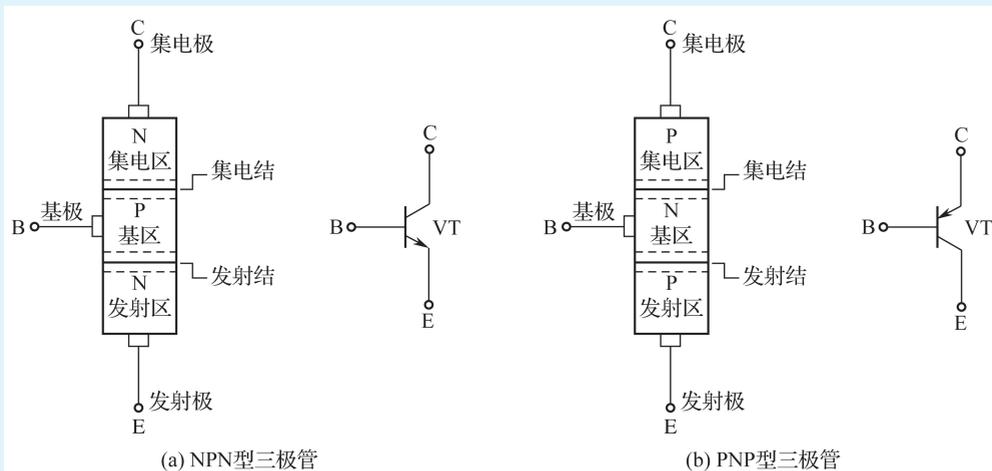


图 1-21 三极管的结构和图形符号

三极管由形成两个 PN 结的 3 块杂质半导体组成，因杂质半导体只有 P 型、N 型两种，所以三极管的组成形式只有 NPN 型和 PNP 型两种。

无论是 NPN 型还是 PNP 型三极管，都有三个区：发射区、基区、集电区。分别从这三个区引出三个电极：发射极 E、基极 B 和集电极 C。两个 PN 结分别为发射区与基区之间的发射结和集电区与基区之间的集电结。

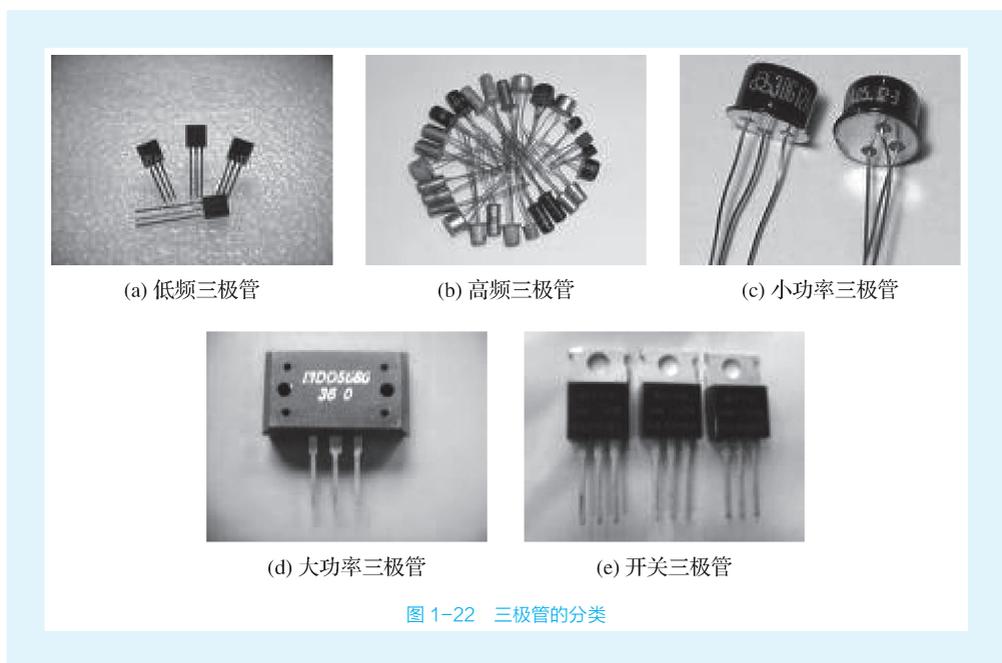
三极管的基区很薄,一般仅有 $1\ \mu\text{m}$ 至几十微米厚,发射区掺杂浓度很高,集电结截面积大于发射结截面积。

注意: PNP 型和 NPN 型三极管符号的区别是发射结的箭头方向不同,箭头表示发射结加正向偏置电压时的电流方向。使用中注意电源的极性,确保发射结加正向偏置电压,这样三极管才能正常工作。

三极管根据基片材料不同,可以分为硅管和锗管两大类,目前国内生产的硅管多为 NPN 型(3D 系列),锗管多为 PNP 型(3A 系列);根据频率特性可以分为高频管和低频管;根据功率大小可以分为大功率管、中功率管和小功率管等。实际应用中采用 NPN 型三极管较多,本书以 NPN 型三极管为例讨论,所得结论对于 PNP 型三极管同样适用。

2. 三极管的分类

三极管的分类如图 1-22 所示。



二、三极管的电流分配关系

三极管的电流分配关系如下。

(1) 发射极电流 = 集电极电流 + 基极电流。

$$I_E = I_C + I_B$$

(2) 集电极电流与发射极电流近似相等。

$$I_C \approx I_E$$

三、三极管的电流放大作用

共发射极直流电流放大系数为

$$\bar{\beta} = \frac{I_C}{I_B}$$

共发射极交流电流放大系数为

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

I_B 的微小变化就能引起 I_C 较大的变化, 这种现象称为三极管的电流放大作用。

β 值的大小反映了三极管电流放大能力的强弱。必须强调的是, 这种放大能力实质上是 I_B 对 I_C 的控制能力, 但无论 I_B 还是 I_C 都来自电源, 三极管本身不能放大电流。

四、三极管的伏安特性曲线

1. 输入特性

三极管的输入特性研究基极电流 I_B 与发射结电压 U_{BE} 之间的关系, 如图 1-23 所示。

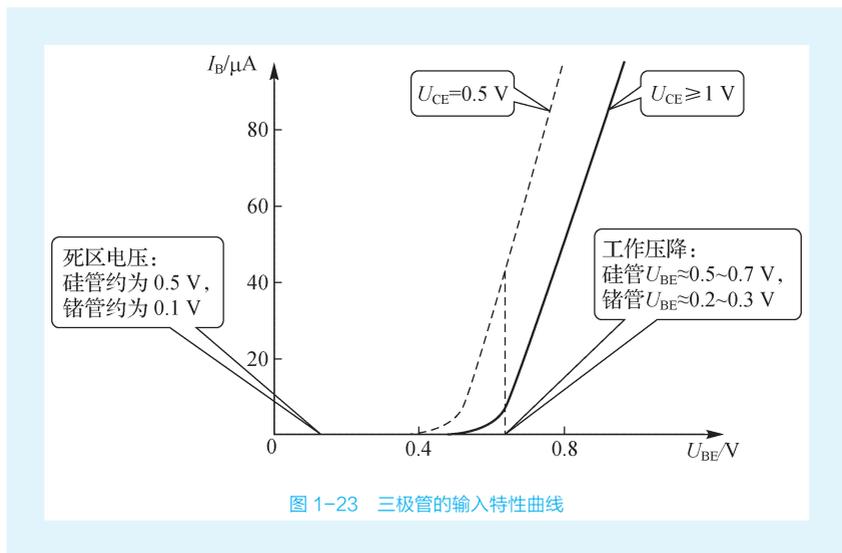


图 1-23 三极管的输入特性曲线

当 $U_{CE} > 1\text{ V}$ 时, U_{CE} 数值的改变对输入特性曲线影响不大。但是环境温度变化时, 三极管的输入特性曲线会发生变化。

2. 输出特性

三极管的输出特性研究集电极电流 I_C 与电压 U_{CE} 之间的关系, 是在基极电流 I_B 一定的情况下测试出来的。由三极管的输出特性曲线 (图 1-24) 可以看出, 三极管有三个可能的工作区域。不同的工作区域对应三极管的三种不同工作状态, 如表 1-3 所示。

表 1-3 三极管的三个工作区的条件和特点

工 作 区	截止区	放大区	饱和区
条 件	发射结反偏或零偏	发射结正偏且集电结反偏	发射结和集电结都正偏
特 点	$I_B = 0, I_C \approx 0$	$\Delta I_C = \beta \Delta I_B$	I_C 不再受 I_B 控制

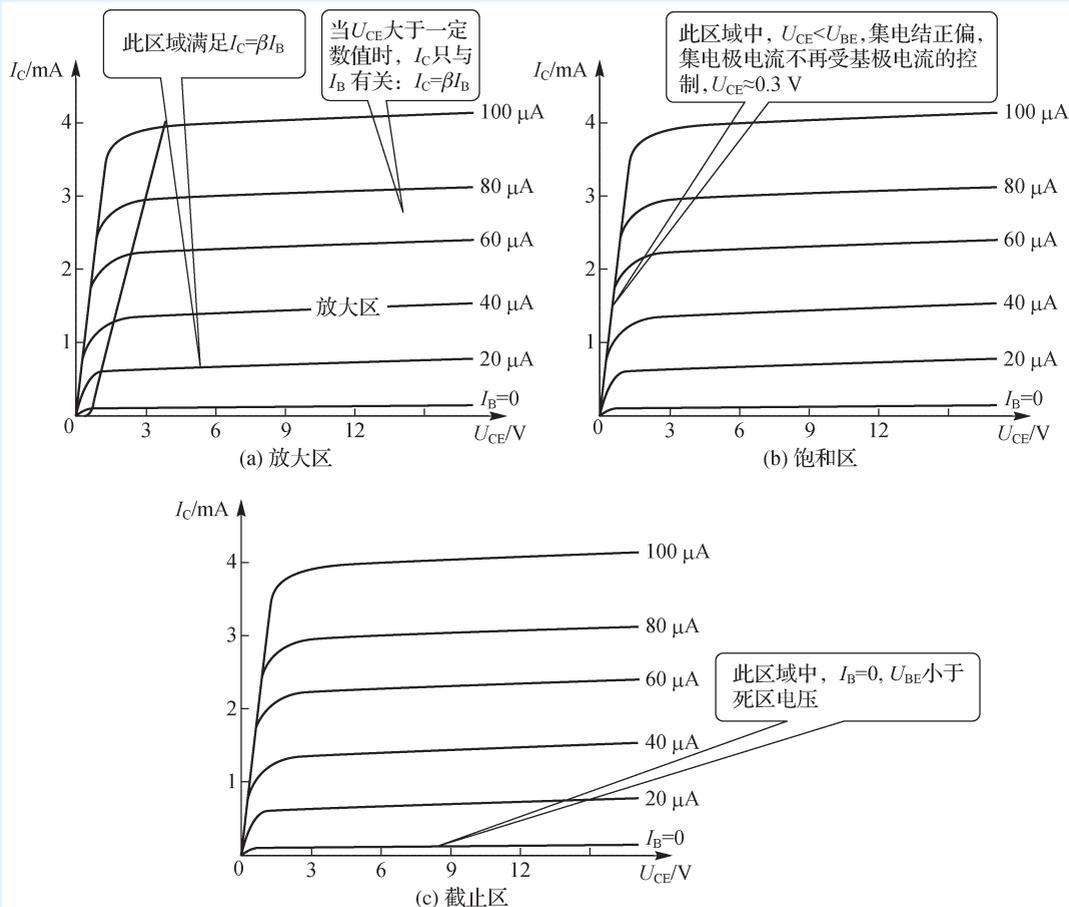


图 1-24 三极管的输出特性曲线

注意: 三极管饱和时的 U_{CE} 值称为饱和压降, 记作 U_{CES} , 小功率硅管的 U_{CES} 约为 0.3 V , 锗管的 U_{CES} 约为 0.1 V 。

五、三极管的主要参数和型号命名方法

1. 共射电流放大系数

(1) 共射直流电流放大系数 $\bar{\beta}$ (有时用 h_{FE} 表示)。

(2) 共射交流电流放大系数 β (有时用 h_{fe} 表示)。

同一三极管在相同工作条件下, $\bar{\beta} \approx \beta$ 。

2. 极限参数

(1) 集电极最大允许电流 I_{CM} 。集电极电流过大时, 三极管的 β 值要降低, 一般规定 β 值下降到正常值的 $2/3$ 时, 所对应的集电极电流为集电极最大允许电流。

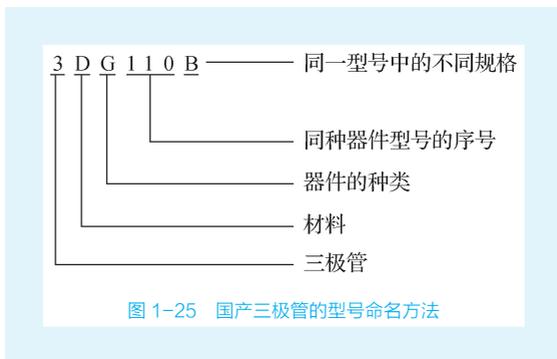
(2) 集电极 - 发射极反向击穿电压 $U_{(BR)CEO}$ 。 $U_{(BR)CEO}$ 为基极开路时, 加在集电极和发射极之间的最大允许电压。

(3) 集电极最大允许耗散功率 P_{CM} 。集电极电流 I_C 流过集电结时会消耗功率而产生热量, 使三

极管温度升高。根据三极管的最高温度和散热条件来规定最大允许耗散功率 P_{CM} ，要求 $P_{CM} \geq I_C U_{CE0}$ 。

3. 国产三极管的型号命名方法

国产三极管的型号命名方法如图 1-25 所示。



第二位：A 代表锗 PNP 管，B 代表锗 NPN 管，C 代表硅 PNP 管，D 代表硅 NPN 管。

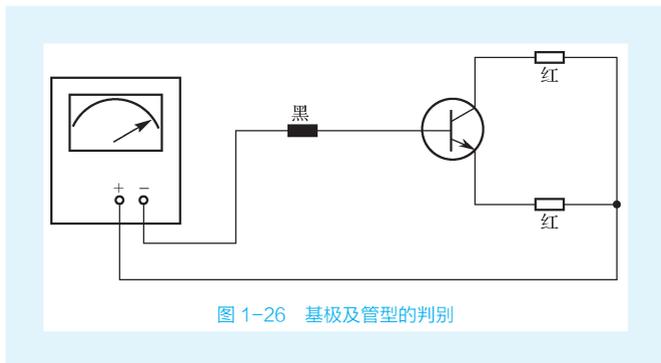
第三位：X 代表低频小功率管，D 代表低频大功率管，G 代表高频小功率管，A 代表高频大功率管，K 代表开关管。

六、三极管的检测方法

1. 用万用表判别引脚及类型

1) 基极及管型的判别

测试三极管时，可将三极管看作由两个 PN 结所组成，而 PN 结的反向电阻很大，正向电阻很小。因此，可用万用表的 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 挡进行测试。先将黑表笔接三极管某一极，然后将红表笔接其余两极，如图 1-26 所示。若测得电阻都大，则黑表笔所接的是 PNP 型管的基极；若测得电阻都小，则黑表笔所接的是 NPN 型管的基极；若两次测得的阻值为一大一小，则黑表笔所接的电极不是三极管的基极，应另接一个电极重新测量，以确定基极。



2) 集电极和发射极的判别

判别集电极和发射极的基本原理是把三极管接成单管放大电路，利用测量管子的电流放大系数 (β 值) 的大小来判别集电极和发射极。以 NPN 型管为例，如图 1-27 所示。基极确定以后，用万用表两表笔分别接另外两极。用 $100\text{ k}\Omega$ 电阻一端接基极，一端接黑表笔。若万用表指针偏转较大，则黑表笔所接的一端为集电极，红表笔所接的一端是发射极。也可以用手捏住基极与黑表笔（不能使

两者相碰), 以人体电阻代替 $100\text{ k}\Omega$ 电阻的作用。

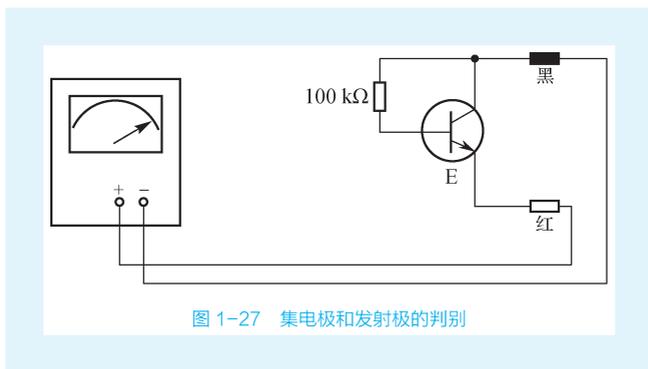


图 1-27 集电极和发射极的判别

2. 用万用表粗略判断三极管质量的好坏

1) 测 C、E 间电阻及估测穿透电流 I_{CEO}

如图 1-28 (a) 所示, 将基极悬空, 将万用表正向接在三极管 C、E 两极上, 红表笔接 E, 黑表笔接 C, 这时指针指示值应很小 (一般指针基本不动), 此即穿透电流 I_{CEO} 。穿透电流越小, 管子质量越好。若测得 R 太小, 则表明 I_{CEO} 太大, 管子工作不稳定。

2) 用比较法判断三极管的放大能力

在测量 I_{CEO} 接线的基础上, 在三极管的集电极 C 与基极 B 之间接一个 $100\text{ k}\Omega$ 的电阻 R_b 比较一下, 如图 1-28 (b) 所示, 其读数与测 I_{CEO} 时的读数相差越大, 表示 β 值越大。

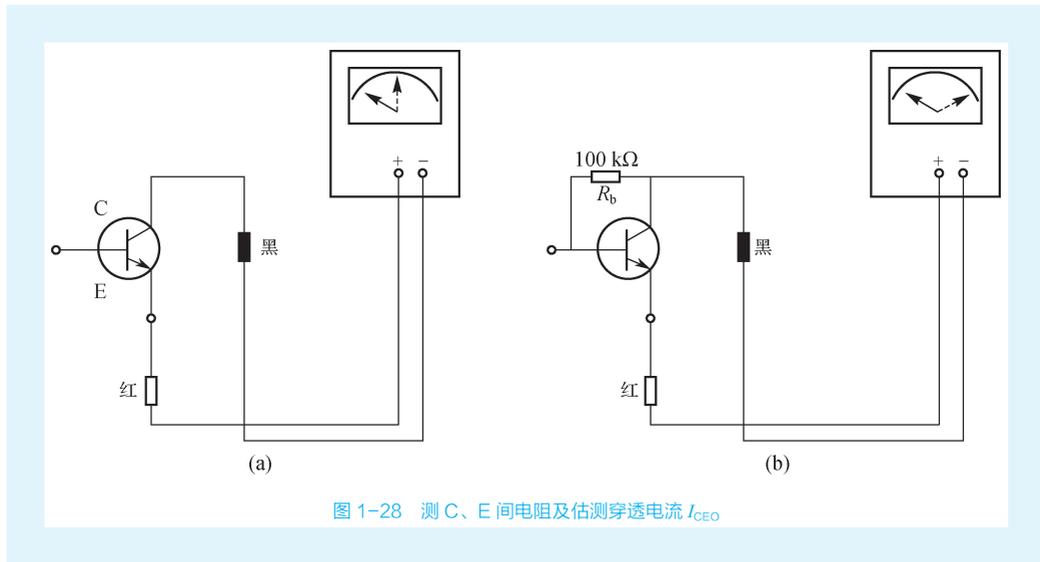


图 1-28 测 C、E 间电阻及估测穿透电流 I_{CEO}



任务实施

(1) 三极管的直观识别。熟悉表 1-4 中半导体器件的型号命名方法, 对表中的三极管进行直观识别, 包括三极管的型号、极性、材料、用途、符号等内容。

(2) 利用万用表对三极管的极性进行判别, 对其质量好坏进行检测。

(3) 分析三极管驱动电路 (图 1-20) 的工作原理。

(4) 选择元器件, 见表 1-4。

表 1-4 三极管驱动电路实训器材明细表

序号	名称	规格	数量
1	5 V 和 12 V 直流稳压电源		2 台
2	无线电工具		1 套
3	三极管 VT	9013	1 只
4	二极管 VD	1N4001	1 只
5	电阻 R_1	1 k Ω	1 只
6	继电器 K	HK-DC12V-SHG	1 只
7	白炽灯 HL	40 W	2 只
8	实验板		1 块

(5) 将元器件插装后再焊接固定, 用硬铜导线根据电路的电气连接关系进行布线并焊接固定。

(6) 将焊接完成的电路板通电调试, 观察白炽灯的发光情况。



任务评价

表 1-5 三极管驱动电路板评分表

班级: _____ 姓名: _____ 学号: _____ 成绩: _____						
序号	项目与技术要求	配分	评分标准	自检记录	互检记录	得分
1	正确识别三极管的型号、极性、材料、用途、符号	10	(1) 名称漏写或者写错, 每处扣 3 分 (2) 极性、材料、类型漏写或者写错, 每处扣 3 分 (3) 不会识别三极管, 每件扣 10 分 (4) 不会画电路符号, 每件扣 2 分			
2	正确使用万用表判别三极管的引脚极性及质量好坏	10	(1) 万用表使用不正确, 每次扣 3 分 (2) 不会判别引脚极性, 每次扣 3 分 (3) 不会判别质量好坏, 每次扣 5 分			
3	三极管驱动电路的原理分析	20	酌情扣分			

续表

4	根据原理图, 进行元器件的选择	20	不会选择元器件, 酌情扣分			
5	元器件插装后焊接	20	样板检查, 超差无分			
6	熟悉操作步骤、检查电路功能	20	每错误测量一项三极管参数, 扣 10 分			

学生任务实施过程的小结及反馈:

教师点评:

思政园地

个人与集体的关系

二极管的伏安特性具备正向和反向特性, 二极管对温度的敏感性犹如学生个体和集体的关系。学生个体相当于二极管, 集体相当于温度。集体是由一定数量的学生组编而成的, 是建立在成员间互相依存和相互作用基础上的一个整体。作为一名学生, 我们要具备科技强国的责任感和使命感, 不断学习知识、磨练技能, 将国家和集体的利益放在第一位, 不断学习知识、磨练技能, 担起时代的使命, 努力成长为国家需要的能工巧匠、大国工匠。

项目一

项目二

项目三

项目四

项目五

项目六

项目七

项目八

项目九