



教育部高职高专规划教材
Jiaoyubu Gaozhi Gaozhuan Guihua Jiaocai

电子技术

付植桐 主编

高等教育出版社

HIGHER EDUCATION PRESS



教育部高职高专规划教材

电子技术

付植桐 主编

李雅轩 尹常永 袁秀英 副主编

高等教育出版社

内 容 提 要

本书是教育部高职高专规划教材,是为适应我国高等职业教育发展的需要,参照教育部最新制定的《高职高专教育模拟电子技术基础课程教学基本要求》及《高职高专教育数字电子技术基础课程教学基本要求》编写的。

本书注重实践和应用及基本技能的训练,重视职业素质和创新精神的培养,体现了高等职业教育的特点,符合当前教学的需要。全书共 15 章,分“模拟电子技术”和“数字电子技术”两大部分,包括半导体元件及特性、基本放大电路、负反馈放大器与集成运算放大器、功率放大器及其应用、振荡器、直流稳压电源、电力电子技术、逻辑代数基础、基本门电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲波形的产生和整形、存储器与可编程器件、数模转换与模数转换、课程设计与制作,并配有习题、自我测试、实验与技能操作训练。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校电类、机电类专业的教材,也可供工程技术人员参考。

图 书 在 版 编 目 (CIP) 数 据

电子技术/付植桐主编. —北京:高等教育出版社,
2000

教育部高职高专规划教材
ISBN 7-04-008731-6

I. 电… II. 付… III. 电子技术-高等学校:技术
学校-教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 28988 号

电子技术

付植桐 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

排 版 高等教育出版社照排中心

印 刷 北京地质印刷厂

开 本 787×1092 1/16

版 次 2000 年 8 月第 1 版

印 张 29.75

印 次 2000 年 8 月第 1 次印刷

字 数 710 000

定 价 24.90 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

本书是教育部高职高专规划教材,根据1999年6月在北京召开的“高职高专机械、电子类教材研讨会”确定的教材编写原则,参考教育部最新制定的《高职高专教育模拟电子技术基础课程教学基本要求》及《高职高专教育数字电子技术基础课程教学基本要求》编写的。

考虑到高等职业教育的培养目标是技术应用性专门人才,本教材在编写中突出了以下几个特点:

1. 在重点保证基础理论、基本知识够用的前提下,注重实践和应用,并突出了基本技能的培养。书中引进很多应用实例,每章均有实验与技能操作训练,第15章为课程设计和制作。
2. 努力反映现代电子技术的新技术、新成果。教材中增加了电力电子技术和可编程器件的内容,同时适当加重了集成器件的内容,使教材尽可能跟上电子技术领域的新发展。
3. 突出高等职业教育的特色,注重职业素质和创新精神的培养,把职业岗位群所必需的知识、技能编入教材。便于激发学习的兴趣,使读者倍感亲切,有利于教与学的联系。
4. 每章后配有练习题和自我检测题,帮助读者复习消化所学内容,了解自己对本章内容掌握的情况。

本教材是以电类各专业的需要为基础编写的,内容较全,能为教师和学生提供较大的信息量。在应用中可结合具体情况选择取舍。

本教材由天津职业大学和沈阳电力高等专科学校教师共同编写,其中付植桐编写第1、2、5章;李雅轩编写第3、4、6、7章;袁秀英编写第8、9、10、14章;尹常永编写第11、12、13、15章,由付植桐负责全书的统稿工作,并任主编。

全书由常州工业技术学院吴之嵩教授主审,他对初稿提出了很多宝贵的意见和建议。在编审过程中得到天津职业大学魏克新教授的热情指导。高等教育出版社的同志给予了大力支持。在此一并表示衷心的感谢。

由于时间紧迫和编者水平所限,书中难免存在一些问题,希望读者批评指正。

编者

2000年3月于天津职业大学

上 篇

模拟电子技术

第 1 章

半导体元件及特性

半导体元件是电子线路的核心元件,只有掌握半导体元件的结构、性能、工作原理和特点,才能正确分析电子电路工作原理、正确选择和合理使用半导体元件。本章主要介绍半导体特点、PN 结的形成及其特性,然后介绍二极管、三极管、场效应管的结构、工作原理、主要参数以及它们的外部特性和简单的应用电路等。

1.1 半导体基础知识与 PN 结

1.1.1 半导体的特点

1. 半导体的特点

自然界的物质就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,其电阻率约为导体的 1 000 亿倍。

半导体是制造晶体管的原料,它之所以能得到广泛应用,主要原因并不在于它的电阻率大小,而在于其电阻率随温度、光照以及所含杂质的种类、浓度等条件的不同而出现显著的差别。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,呈负温度系数的特性。半导体的导电能力随温度上升而显著增加。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。可以利用这一特性,通过工艺手段,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的规律排列着,原子之间的距离不仅很小,而且是相等的。把这种非常纯净的且原子排列整齐的半导体称为本征半导体。图 1.1.1(a)和(b)所示分别为锗和硅的原子结构示意图。从图中看出,它们最外层电子数都是 4 个,故叫 4 价元素。正常情况下,它们的原子都呈中性。

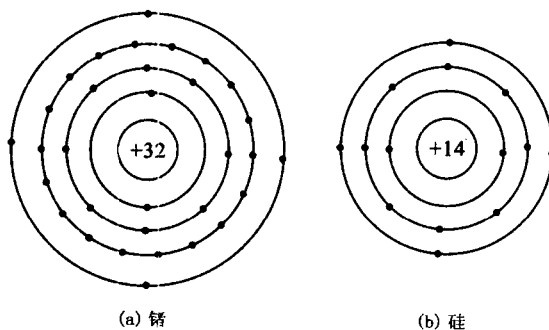


图 1.1.1 锗和硅原子结构示意图

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,价电子称为共价键结构,如图 1.1.2 所示。

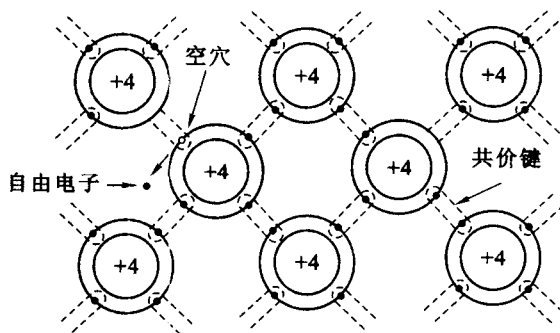


图 1.1.2 锗(硅)原子在晶体中的共价键排列

如果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,称之为电子空穴对,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. 掺杂半导体

本征半导体实际使用价值不大,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)中掺入少量的 5 价元素,如磷(P)、砷(As)等,因为磷原子的最外层有 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,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 1.1.3 所示。N 型半导体主要靠自由电子导电,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 3 价元素如硼(B),因为硼原子最外层只有 3 个电子,3 个价电子和相邻的 3 个硅原子形成共价键后,就留下一个空穴,空穴数量增多,自由电子则相对很少,故掺入 3 价元素的半导体称为 P 型半导体,如图 1.1.4 所示。P 型半导体主要靠空穴导电,称为多数载流子,而自由电子远少于空穴的数量,称为少数载流子。

注意:不论 N 型半导体还是 P 型半导体都是电中性,对外不显电性。

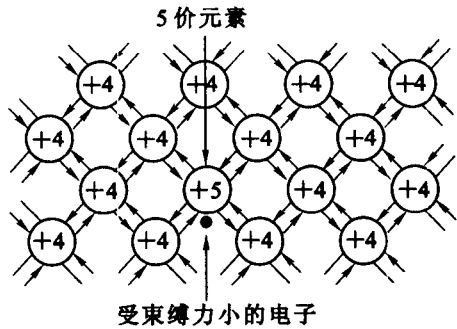


图 1.1.3 N 型半导体

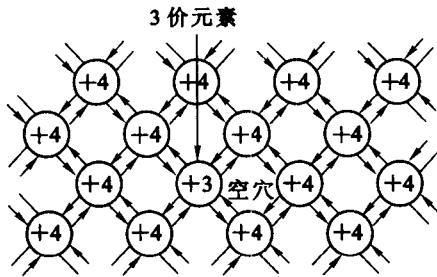


图 1.1.4 P 型半导体

1.1.2 PN 结形成与特性

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,存在电子和空穴的浓度差。这样,P 区的空穴向 N 区扩散,N 区的电子向 P 区扩散。由于扩散运动,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 1.1.5(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,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 1.1.5(b)所示。

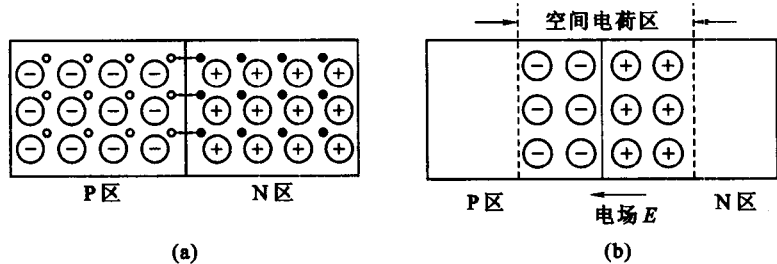


图 1.1.5 PN 结构的形成

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 区接正电源,N 区接负电源,此时称 PN 结为正向偏置,如图 1.1.6 (a)所示。

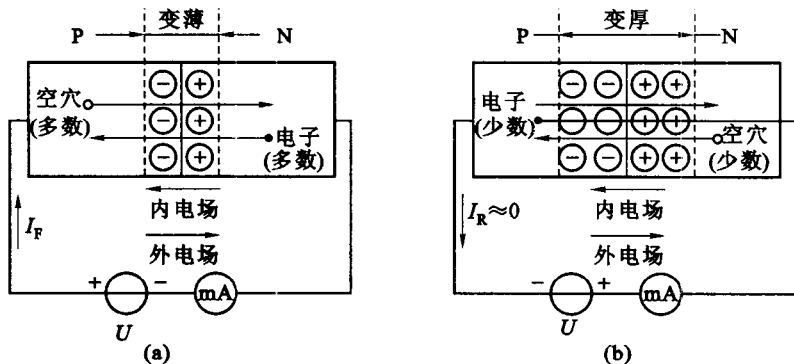


图 1.1.6 PN 结的导电特性

这时 PN 结外加电场与内电场方向相反,当外电场大于内电场时,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 PN 结的正向电阻变小。

(2) PN 结反向截止特性

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 1.1.6(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,多数载流子运动又难于进行,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,接近于零,即 PN 结反向电阻很大。

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,电流 I_F 较大,是多数载流子的扩散运动形成;加反向电压时 PN 结电阻很大,电流 I_R 很小,是少数载流子运动形成。

1.2 半导体二极管

一个 PN 结加上相应的外引线,然后用塑料、玻璃或铁皮等材料做外壳封装就成为最简单的二极管。二极管按所用材料不同分为锗管和硅管。

1.2.1 二极管的结构和类型

接在二极管 P 区的引出线称二极管的阳极,接在 N 区的引出线称二极管的阴极,如图 1.2.1 (a)所示,二极管的符号如图 1.2.1(b)所示,其中三角箭头表示正向电流的方向,正向电流从二极管阳极流入,阴极流出。

二极管有许多类型。从工艺上分为点接触型和面接触型;按用途分,有整流管、检波二极管、稳压二极管、光电二极管和开关二极管等。

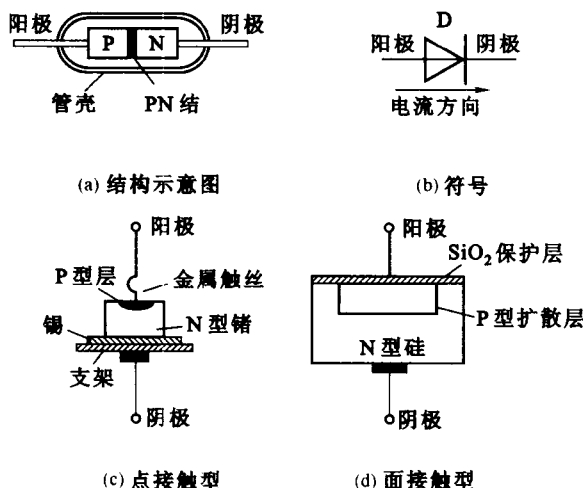


图 1.2.1 二极管的结构和符号

(1) 点接触型二极管。如图 1.2.1(c)所示,它是用一根含杂质元素的金属触丝压在半导体晶片上,经特殊工艺、方法,使金属触丝上的杂质掺入到晶体中,从而形成导电类型与原晶体相反的区域而构成 PN 结。因而结面积小,允许通过的电流小,但结电容小,工作频率高,适合用作高频检波器件。

(2) 面接触型二极管。如图 1.2.1(d)所示,由于面接触型二极管的 PN 结接触面积较大,PN 结电容较大,一般适于较低的频率下工作,由于接触面积大,允许通过较大电流和具有较大功率容量,适用于作整流器件。

1.2.2 二极管的特性及参数

1. 二极管伏安特性

既然二极管内部是一个 PN 结,因此它具有 PN 结的特性,实际的二极管伏安特性如图 1.2.2 所示。

(1) 正向特性

当二极管承受正向电压很低时,还不足以克服 PN 结内电场对多数载流子运动的阻挡作用,这一区段二极管正向电流 I_F 很小,称为死区。通常,硅材料二极管的死区电压约为 0.5 V,锗材料二极管的死区电压约为 0.2 V。

当正向电压超过死区电压值时,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,正向压降基本维持不变,称为二极管正向导通压降 U_F ,一般硅管 U_F 为 0.7 V,锗管的 U_F 为 0.3 V,以上是二极管的正向特性。

(2) 反向特性

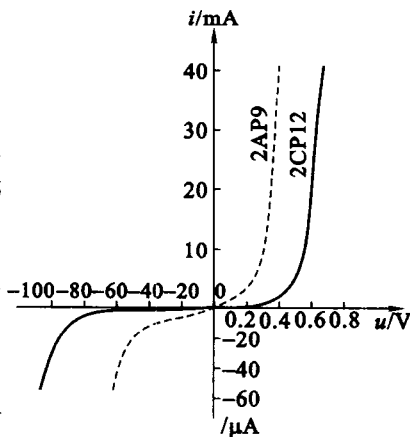


图 1.2.2 二极管伏安特性曲线

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,形成漏电流 I_R 极小,一般硅管的 I_R 为几微安以下,锗管 I_R 较大,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,这种现象称二极管反向击穿,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,造成二极管永久性损坏,失去单向导电性。以上是二极管反向特性。

如用公式表示为

$$I = I_S(e^{U/U_T} - 1) \quad (1.2.1)$$

式中 U_T 为二极管电压当量,常温下 $U_T \approx 26 \text{ mV}$, $U > 0$ 为正向特性, $U < 0$ 为反向特性。

2. 二极管主要参数

二极管参数是反映二极管性能质量的指标,在选用二极管时,必须根据二极管参数做到合理使用二极管。

二极管的主要参数有:

(1) 最大整流电流 I_{FM}

是指二极管长期工作时允许通过的最大正向平均电流值,用 I_{FM} 表示。工作时,管子通过的电流不应超过这个数值,否则将导致管子过热而损坏。

(2) 最高反向工作电压 U_{RM}

U_{RM} 是指二极管不击穿所允许加的最高反向电压。 U_{RM} 通常为反向击穿电压的 $1/2 \sim 2/3$, 以确保二极管安全工作。

(3) 最大反向电流 I_{RM}

I_{RM} 是指二极管在常温下承受最高反向工作电压 U_{RM} 时的反向漏电流,一般很小,但其受温度影响较大。当温度升高时, I_{RM} 显著增大。

(4) 最高工作频率 f_M

是指保持二极管单向导通性能时,外加电压的最高频率,二极管工作频率与 PN 结的极间电容大小有关,容量越小,工作频率越高。

二极管的参数很多,除上述参数外还有结电容、正向压降等,实际应用时,可查阅半导体器件手册。

1.2.3 二极管的应用电路举例

二极管是电子电路中最常用的半导体器件。利用其单向导电性及导通时正向压降很小的特点,可应用于整流、检波、钳位、限幅、开关以及元件保护等各项工作。

1. 整流

所谓整流就是将交流电变为单方向脉动的直流电。利用二极管的单向导电性可组成单相、三相等各种形式的整流电路,然后再经过滤波、稳压,便可获得平稳的直流电。这些内容将在第 6 章详细介绍。

2. 钳位

利用二极管正向导通时压降很小的特性,可组成钳位电路,如图 1.2.3 所示。

图中若 A 点 $U_A = 0$, 二极管 D 可正向导通,其压降很小,故 F 点的电位也被钳制在 0 V 左

右,即 $U_F \approx 0$ 。

3. 限幅

利用二极管正向导通后其两端电压很小且基本不变的特性,可以构成各种限幅电路,使输出电压限幅在某一电压值以内。图 1.2.4(a)所示为一正、负对称限幅电路,设 $u_i = 10\sin \omega t$ V, $U_{S1} = U_{S2} = 5$ V。

当 $-U_{S2} < u_i < U_{S1}$ 期间, D_1 、 D_2 都处于反向偏置而截止,因此 $i = 0$, $u_o = u_i$ 。当 $u_i > U_{S1}$ 时, D_1 处于正向偏置而导通,使输出电压保持在 U_{S1} 。当 $u_i < -U_{S2}$ 时, D_2 处于正向偏置而导通,输出电压保持在 $-U_{S2}$ 。由于输出电压 u_o 被限制在 $+U_{S1}$ 与 $-U_{S2}$ 之间,即 $|u_o| \leq 5$ V,好像将输入信号的高峰和低谷部分削掉一样,因此这种电路又称为削波电路。输出波形如图 1.2.4(b)所示。

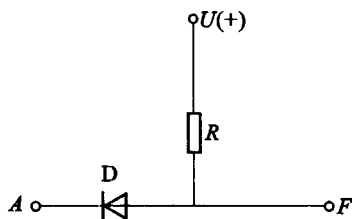


图 1.2.3 二极管钳位电路

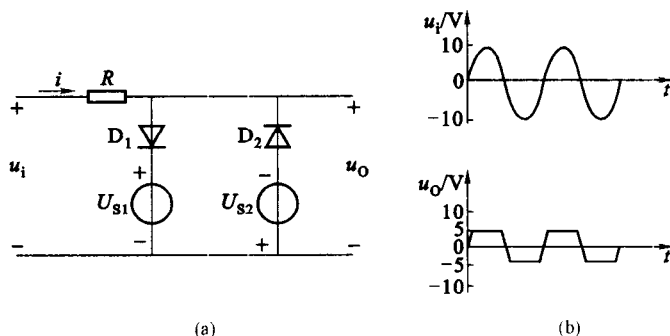


图 1.2.4 二极管限幅电路及波形

4. 元件保护

在电子线路中,常用二极管来保护其他元器件免受过高电压的损害。如图 1.2.5 所示电路, L 和 R 是线圈的电感和电阻。

在开关 S 接通时,电源 U 给线圈供电, L 中有电流流过,储存了磁场能量。在开关 S 由接通到断开的瞬时,电流突然中断, L 中将产生一个高于电源电压很多倍的自感电动势 e_L , e_L 与 U 叠加作用在开关 S 的端子上,在 S 的端子上产生电火花放电,这将影响设备的正常工作,开关 S 寿命缩短。接入二极管 D 后, e_L 通过二极管 D 产生放电电流 i ,使 L 中储存的能量不经过开关 S 放掉,从而保护了开关 S 。

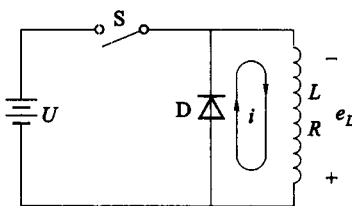


图 1.2.5 二极管保护电路

除以上用途外,还有许多特殊结构的二极管,例如发光二极管、热敏二极管等。随着半导体技术发展,二极管应用范围越来越多,其中发光二极管是应用较多的一种二极管。

1.2.4 发光二极管及其应用

1. 发光二极管的符号及特性

发光二极管的符号如图 1.2.6(a)所示。它是一种将电能直接转换成光能的固体器件,简称

LED(Light Emitting Diode)。发光二极管和普通二极管相似,也是由一个 PN 结组成,发光二极管在正向导通时,由于空穴和电子的复合而放出能量,发出一定波长的可见光,光的波长不同,颜色也不同,常见的 LED 有红、绿、黄等颜色。发光二极管的驱动电压低、工作电流小,具有很强的抗振动和抗冲击能力、体积小、可靠性高、耗电省和寿命长等优点,广泛用于信号指示等电路中。

发光二极管的伏安特性如图 1.2.6(b)所示。它和普通二极管的伏安特性相似,只是在开启电压和正向特性的上升速率上略有差异。当所施加正向电压 U_F 未达到开启电压时,正向电流几乎为零,但电压一旦超过开启电压时,电流急剧上升。发光二极管的开启电压通常称作正向电压,它取决于制作材料的禁带宽度,例如

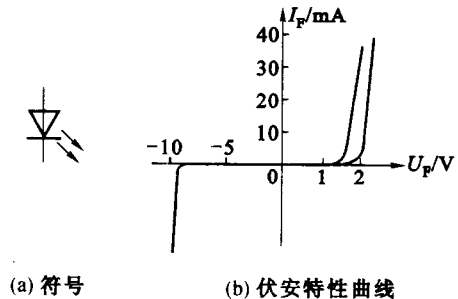


图 1.2.6 发光二极管符号和伏安特性曲线

GaAsP 红色的 LED 约为 1.7 V,而 GaP 绿色的 LED 则约为 2.3 V。几种常见的发光材料的主要参数如表 1.2.1 所示。LED 的反向击穿电压一般大于 5 V,但为使器件长时间稳定而又可靠地工作,安全使用电压选择在 5 V 以下。

表 1.2.1 发光二极管的主要参数

颜色	波长 /nm	基本材料	正向电压(10 mA) /V	光强 (10 mA 时,张角 $\pm 45^\circ$) /mcd	光功率/ μ W
红外	900	GaAs	1.3 ~ 1.5		100 ~ 500
红	655	GaAsP	1.6 ~ 1.8	0.4 ~ 1	1 ~ 2
鲜红	635	GaAsP	2.0 ~ 2.2	2 ~ 4	5 ~ 10
黄	583	GaAsP	2.0 ~ 1.2	1 ~ 3	3 ~ 8
绿	565	GaP	2.2 ~ 2.4	0.5 ~ 3	1.5 ~ 8

2. 发光二极管的应用

(1) 作为电源通断指示电路,如图 1.2.7 所示,通常称为指示灯,在实际应用中给人提供很大的方便。发光二极管的供电电源既可以是直流的也可以是交流的,但必须注意的是,发光二极管是一种电流控制器件,应用中只要保证发光二极管的正向工作电流在所规定的范围之内,它就可以正常发光。具体的工作电流可查阅有关资料。

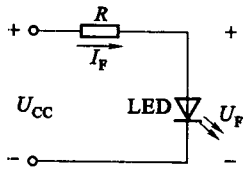


图 1.2.7 发光二极管电路

(2) 数码管

数码管是电子技术应用的主要显示器件,数码管就是用发光二极管经过一定的排列组成的,如图 1.2.8(a)所示。

这是最常用的七段数码显示。要使它显示 0~9 的一系列数字只要点亮其内部相应的显示段即可。七段数码显示有共阳极如图 1.2.8(b)和共阴极如图 1.2.8(c)之分。数码管的驱动方式有直流驱动和脉冲驱动两种,应用中可任意选择。数码管应用十分广泛,可以说凡是需要指示或读数的场合,都可采用数码管显示。

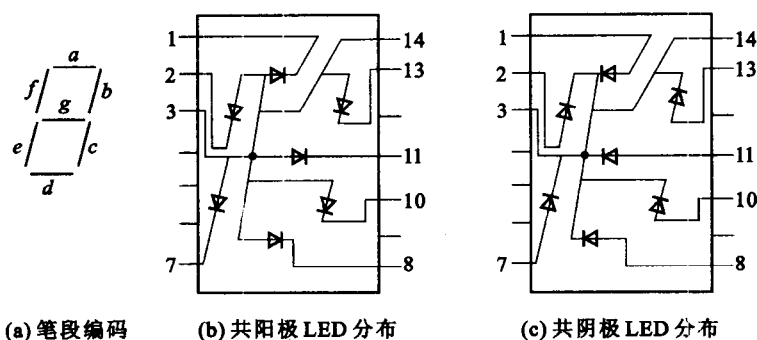


图 1.2.8 七段型数码管

其他的光电器件还有光电二极管、激光二极管等,希望读者参阅有关资料。

1.3 半导体三极管

半导体三极管简称三极管或晶体管,它是由两个 PN 结、三个电极组成,这两个结靠得很近,工作是相互联系、相互影响,表现出两个单独的 PN 结完全不同的特性,与二极管相比,其功能有质的飞跃,因此在电子线路中得到广泛的应用。

1.3.1 三极管的结构和类型

三极管是由形成两个 PN 结的 3 块杂质半导体组成,因杂质半导体仅有 P、N 型两种,所以三极管的组成形式只有 NPN 型和 PNP 型两种。结构和符号如图 1.3.1 所示。

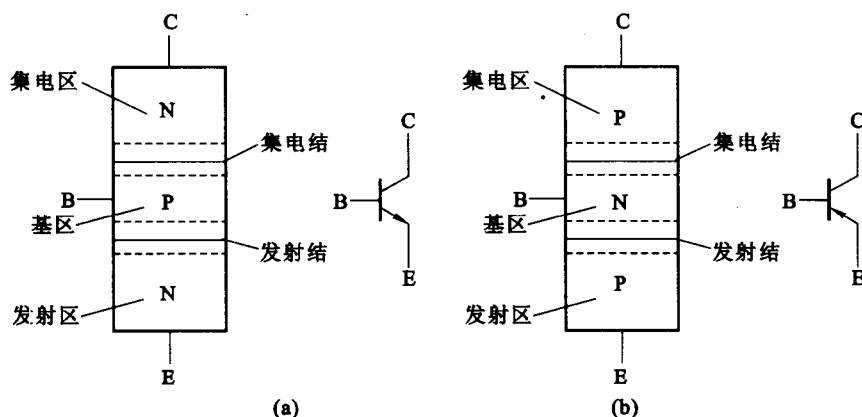


图 1.3.1 结构示意图和表示符号

不管是 NPN 型还是 PNP 型三极管,都有三个区:发射区、基区、集电区,以及分别从这三个区引出的电极: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。

三极管具有基区很薄(一般仅有 $1\text{ }\mu\text{m}$ 至几十微米厚)、发射区浓度很高、集电结截面积大于发射结截面积的特点。

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

三极管根据基片材料不同,分为锗管和硅管两大类,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);从频率特性分为高频管和低频管;从功率大小分为大功率管、中功率管和小功率管等。实际应用中采用 NPN 型三极管较多,所以下面以 NPN 型三极管为例加以讨论,所得结论对于 PNP 型三极管同样适用。

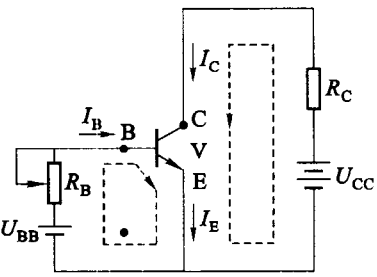


图 1.3.2 三极管试验电路

1.3.2 三极管电流分配和放大作用

为了定量地了解三极管的电流分配关系和放大原理,先做一个试验,试验电路如图 1.3.2 所示。

加电源电压 U_{BB} 时发射结承受正向偏置电压,而电源 $U_{CC} > U_{BB}$,使集电结承受反向偏置电压,这样做的目的是使三极管能够具有正常的电流放大作用。

通过改变电阻 R_B ,基极电流 I_B 、集电极电流 I_C 和发射极电流 I_E 都发生变化,表 1.3.1 为试验所得一组数据:

表 1.3.1 三极管各极电流实验数据

$I_B/\mu\text{A}$	0	20	30	40	50	60
I_C/mA	≈ 0	1.4	2.3	3.2	4	4.7
I_E/mA	≈ 0	1.42	2.33	3.24	4.05	4.76
I_C/I_B	0	70	76	80	80	78

将表中数据进行比较分析,可得出如下结论:

- (1) $I_E = I_C + I_B$,三个电流之间的关系符合基尔霍夫电流定律。
- (2) $I_C \approx I_E$, I_B 虽然很小,但对 I_C 有控制作用, I_C 随 I_B 改变而改变。例如 I_B 由 $40\text{ }\mu\text{A}$ 增加到 $50\text{ }\mu\text{A}$, I_C 从 3.2 mA 增加到 4 mA ,则

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{(4 - 3.2) \times 10^{-3} \text{ A}}{(50 - 40) \times 10^{-6} \text{ A}} = 80$$

β 称为三极管电流放大系数,它反映三极管电流放大能力,也可以说电流 I_B 对 I_C 的控制能力。三极管电流之间为什么具有这样的关系呢? 可以通过三极管内部载流子的运动规律来解释。

1. 发射区向基区发射电子

由图 1.3.3 可知,电源 U_{BB} 经过电阻 R_B 加在发射结上,发射结正偏,发射区的多数载流子——自由电子不断地越过发射结而进入基区,形成发射极电流 I_E 。同时基区多数载流子也向发射区扩散,但由于基区多数载流子浓度远远低于发射区载流子浓度,可以不考虑这个电流。因此

可以认为三极管发射结电流主要是电子流。

2. 基区中电子的扩散与复合

电子进入基区后,先在靠近发射结的附近密集,渐渐形成电子浓度差,在浓度差的作用下,促使电子流在基区中向集电结扩散,被集电结电场拉入集电区,形成集电极电流 I_C 。也有很小一部分电子(因基区很薄)与基区的空穴复合。扩散的电子流与复合电子流之比例决定了三极管的放大能力。

3. 集电区收集电子

由于集电结外加反向电压很大,这个反向电压产生的电场力将阻止集电区电子向基区扩散,同时将扩散到集电结附近的电子拉入集电区而形成集电极主电流 I_{CN} 。另外集电区的少数载流子——空穴也会产生漂移运动,流向基区形成反向饱和电流,用 I_{CBO} 来表示,其数值很小,但对温度却非常敏感。

以上分析的是 NPN 型三极管的电流放大原理,对于 PNP 型三极管,其工作原理相同,只是三极管各极所接电源极性相反,发射区发射的载流子是空穴而不是电子。

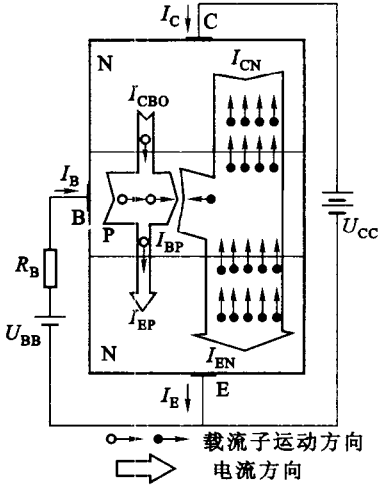


图 1.3.3 三极管内部载流子运动规律

1.3.3 三极管的特性曲线

三极管的特性曲线全面反映了三极管各极电压与电流之间的关系,是分析三极管各种电路的重要依据。由于三极管有三个电极,输入、输出各占一个电极,一个公共电极,因此要用两种特性曲线来表示,即输入特性曲线和输出特性曲线。图 1.3.4 是测试三极管共射极接法特性的电路图。

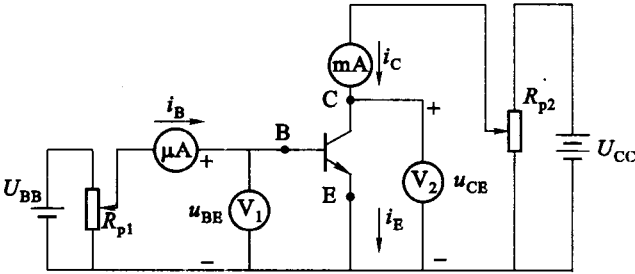


图 1.3.4 三极管共射极的测试电路

1. 输入特性曲线

输入特性是指三极管的集、射极间电压 u_{CE} 一定时,基极电流 i_B 与基、射极间电压 u_{BE} 之间的关系曲线,其表达式为

$$i_B = f(u_{BE}) \Big|_{u_{CE} = \text{常数}}$$

测量输入特性时,先固定 $u_{CE} \geq 0$,调节 R_{p1} ,测出相应的 i_B 和 u_{BE} 值,便可得到一条输入特性曲线,如图 1.3.5 所示。