



高职高专规划新教材

电子信息系列

模拟电子技术

高职高专规划新教材编审委员会组编

吴淑霞 主编

夏新建 周伟 副主编



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术/高职高专规划新教材编审委员会组编. —武汉: 武汉大学出版社, 2011. 3

“十二五”高职高专规划新教材·电子信息系列

ISBN 978-7-307-08557-2

I. 模… II. 高… III. 模拟电路—电子技术—高等职业教育—教材
IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 036016 号

责任编辑:张秀利

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:三河市鑫鑫科达彩色印刷包装有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:14 字数:307千字

版次:2011年3月第1版 2014年10月第3次印刷

ISBN 978-7-307-08557-2/TN·43 定价:30.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

编审委员会

主 任 刘文娟

副 主 任 施红英 刘炳国

委 员 (按姓氏笔画为序)

于 春	王怀宇	王 艳
白秉旭	石朝晖	孙会双
孙淑荣	刘 莉	刘临江
刘立国	刘 刚	闫东清
张大林	李新竹	吴 鹤
吴淑霞	宋 阳	邱仁凤
周 伟	赵慧欣	陈秋霞
远红娟	夏新建	胡登纯
徐伟伟	梁大鹏	郭志宏

内 容 简 介

本书是依据《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》指导思想,参考教育部“关于普通高等教育教材建设与改革的意见”精神,结合高职高专“以提高学生就业竞争力为导向,突出技能训练,培养实用型人才”的人才培养目标编写而成的。

本书内容全面,体例新颖,实用性强。本书共分为8章,主要内容包括半导体二极管及其应用、半导体三极管及其应用、放大电路基础、差动放大电路与集成运算放大器、反馈放大电路、功率放大电路、信号产生电路、直流稳压电源等。

本书可作为高职高专院校电子信息类、机电类专业教材使用,也可供工程技术人员参考阅读。

前 言

本书是依据《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》指导思想,参考教育部“关于普通高等教育教材建设与改革的意见”精神,结合高职高专“以提高学生就业竞争力为导向,突出技能训练,培养实用型人才”的人才培养目标,根据电子信息类专业“模拟电子技术”课程基本要求编写的。本书可作为高等职业院校“模拟电子技术”课程的教材,也可供工程技术人员参考阅读。

在本书的编写过程中,既考虑到要使学生获得必要的电子技术基础理论、基本知识和基本技能,也充分考虑到专科生的实际情况,认真贯彻“理论以够用为度,加强应用,提高分析和解决实际问题的能力”的原则。

本书的编写思路如下:

(1)采用任务驱动的教材组织方法,将每个知识点分解为典型的任务,以任务为主线,贯穿于整个知识讲授的过程。

(2)注重理论与工程实践相结合,重在应用。各章列举了大量应用实例,以加深学生对各个单元电路功能的理解。

(3)以集成电路为主,分立元件为辅。理论讲解各种元件,如二极管、三极管等的特性,各章应用电路以最新模拟集成电路和新的电子器件为主,重点介绍主流芯片、器件的使用,加强对电路的认知和应用能力的培养,突出实用性。

(4)讲授内容与习题融为一体。各章习题中设置有填空、选择、判断以及思考题与计算题等题型,以帮助学生总结内容,拓宽思路,提高分析问题和解决问题的能力。

(5)强调课程体系的针对性。根据高职高专学校的人才培养规划,理论上以为后续课程打基础、够用为度,注重应用能力的培养。

(6)各任务分别设有知识拓展栏目,是对实践能力较强的要求,是对课堂内容的加深或知识面的拓展,教师在教学过程中可适当引入课堂教学。

全书共分8章,内容包括:半导体二极管及其应用、半导体三极管及其应用、放大电路基础、差动放大电路与集成运算放大器、反馈放大电路、功率放大电路、信号产生电路

和直流稳压电源。其中,每一章都安排了与教学内容相对应的模拟电子技术实验,以加强对学生的技能培养,使其适应工程实践的需求。

由于编者水平有限,统稿时间仓促,书中不妥和错误之处在所难免,恳请广大读者给予批评指正,以便修订。

编 者

目 录

第 1 章 半导体二极管及其应用	1
任务 1 初步认识半导体二极管	1
任务 2 半导体二极管	9
任务 3 特殊二极管	16
实验 1 常用电子仪器的使用	19
本章小结	24
本章习题	25
第 2 章 半导体三极管及其应用	27
任务 1 认识半导体三极管	27
任务 2 半导体三极管	31
任务 3 场效应三极管	40
实验 2 晶体管的测试实验	46
本章小结	48
本章习题	49
第 3 章 放大电路基础	52
任务 1 认识放大电路	52
任务 2 共发射极放大电路	55
任务 3 共集电极和共基极放大电路	67
任务四 场效应管放大电路	72
任务五 多级放大电路	77
实验 3 共射单管放大电路	85
本章小结	90
本章习题	91
第 4 章 差动放大电路与集成运算放大器	93
任务 1 差动放大电路	93
任务 2 恒流源式差动放大电路	98
任务 3 集成运算放大器	105
实验 4 集成运算放大器的应用 ——模拟运算电路	113
本章小结	116
本章习题	116
第 5 章 反馈放大电路	122
任务 1 认识反馈放大电路	122
任务 2 负反馈放大电路的类型及 判定方法	125
任务 3 深度负反馈放大电路的估算	134
实验 5 负反馈放大电路	137
本章小结	140
本章习题	141
第 6 章 功率放大电路	145
任务 1 认识功率放大电路	145
任务 2 掌握几种基本的功率放大电路	150
实验 6 功率放大电路	157
本章小结	160
本章习题	160
第 7 章 信号产生电路	165
任务 1 正弦波振荡信号产生电路	165
任务 2 非正弦波信号产生电路	178
实验 7 RC 正弦波振荡器	186
本章小结	188
本章习题	188

第 8 章 直流稳压电源	191	本章小结	210
任务 1 小功率单相整流滤波电路	191	本章习题	211
任务 2 直流稳压电源	198		
实验 8 晶闸管可控整流电路	207	参考文献	214

第 1 章

半导体二极管及其应用

任务 1 初步认识半导体二极管

任务描述：了解本征半导体、杂质半导体；
熟悉半导体导电的机理；
掌握半导体 PN 结的单向导电性；
了解 PN 结的电容特性。

任务分析：半导体是电子技术中最基础的概念，电路中许多重要的器件，如二极管、三极管等都是以半导体为基础制成的。本任务将介绍半导体的概念，并对半导体 PN 结进行重点讲述。

阶段 1 本征半导体

根据物体导电能力(电阻率)的不同来划分导体、绝缘体和半导体。

半导体的电阻率为 $10^{-9} \sim 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 。

典型的半导体有硅(Si)和锗(Ge)以及砷化镓(GaAs)等。

1. 本征半导体

本征半导体是化学成分纯净的半导体。

制造半导体器件的半导体材料的纯度要达到 99.999 999 9%，常称为“9 个 9”。它在物理结构上呈单晶体形态。

硅和锗是 4 价元素，在原子最外层轨道上的 4 个电子称为价电子。它们分别与周围的 4 个原子的价电子形成共价键。共价键中的价电子为这些原子所共有，并被它们所束缚，在空间形成排列有序的晶体。这种结构的立体和平面示意图如图 1-1 所示。

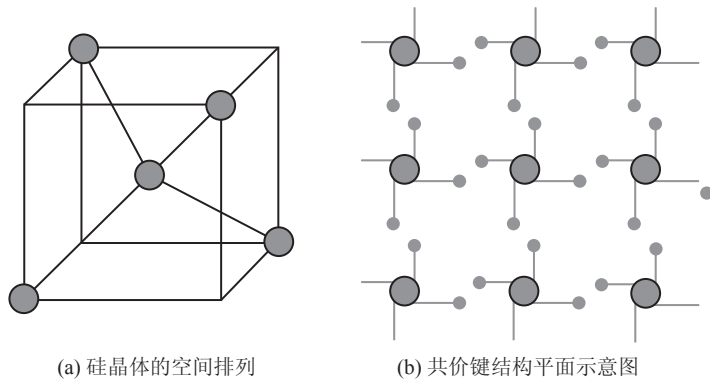


图 1-1 硅原子空间排列及共价键结构平面示意图

2. 电子空穴对

当导体处于热力学温度 0 K 时,导体中没有自由电子。当温度升高或受到光的照射时,价电子能量增高,有的价电子可以挣脱原子核的束缚而参与导电,成为自由电子,这一现象称为本征激发(也称热激发)。

自由电子产生的同时,在其原来的共价键中就出现了一个空位,原子的电中性被破坏,呈现出正电性,其正电量与电子的负电量相等,人们常称呈现正电性的这个空位为空穴。可见因热激发而出现的自由电子和空穴是同时成对出现的,称为电子空穴对。游离的部分自由电子也可能回到空穴中去,称为复合,如图 1-2 所示。本征激发和复合在一定温度下会达到动态平衡。

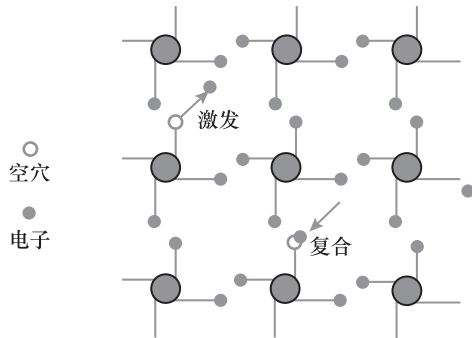


图 1-2 本征激发和复合的过程

3. 空穴的移动

自由电子的定向运动形成了电子电流,空穴的定向运动也可形成空穴电流,它们的方向相反。空穴的运动是靠相邻共价键中的价电子依次填充空穴来实现的,如图 1-3 所示。



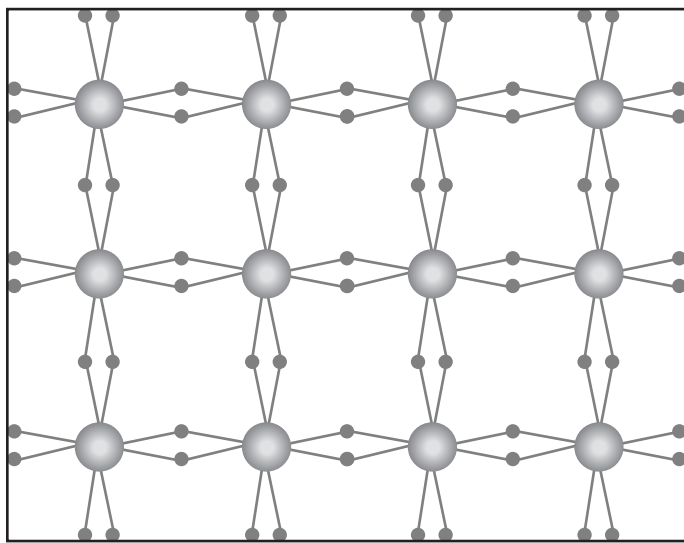


图 1-3 空穴在晶格中的移动

阶段 2 杂质半导体

在本征半导体中掺入某些微量元素作为杂质,可使半导体的导电性发生显著变化。掺入的杂质主要是 3 价或 5 价元素。掺入杂质的本征半导体称为杂质半导体。

1. N 型半导体

在本征半导体中掺入 5 价杂质元素,例如磷,可形成 N 型半导体,也称电子型半导体。

因 5 价杂质原子中只有 4 个价电子能与周围 4 个半导体原子中的价电子形成共价键,而多余的一个价电子因无共价键束缚而很容易形成自由电子。在 N 型半导体中自由电子是多数载流子,它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 5 价杂质原子因带正电荷而成为正离子,因此 5 价杂质原子也称为施主杂质。N 型半导体的结构示意图如图 1-4 所示。

2. P 型半导体

在本征半导体中掺入 3 价杂质元素,如硼、镓、铟等形成了 P 型半导体,也称为空穴型半导体。

因 3 价杂质原子在与硅原子形成共价键时,缺少 1 个价电子而在共价键中留下一空穴。P 型半导体中空穴是多数载流子,主要由掺杂形成;电子是少数载流子,由热激发形成。

空穴很容易俘获电子,使杂质原子成为负离子。3 价杂质因而也称为受主杂质。P 型半导体的结构示意图如图 1-5 所示。

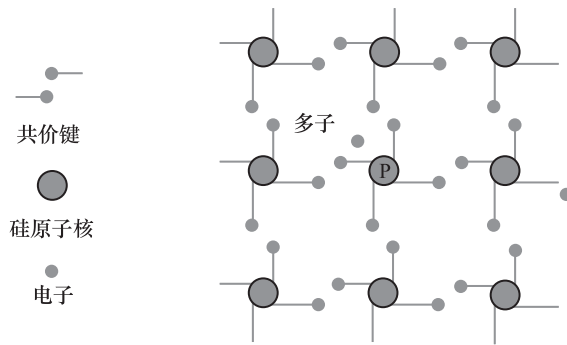


图 1-4 N 型半导体的结构示意图

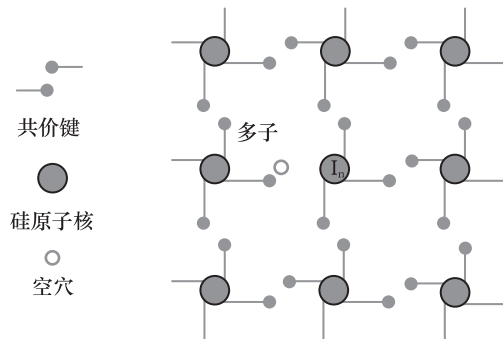
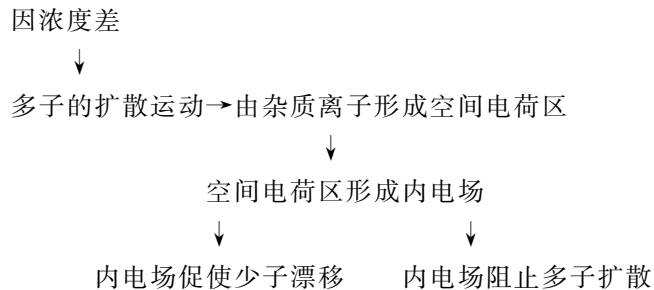


图 1-5 P 型半导体的结构示意图

阶段 3 PN 结及其单向导电性

1. PN 结的形成

一块本征半导体在两侧通过扩散不同的杂质,分别形成 N 型半导体和 P 型半导体,此时将在 N 型半导体和 P 型半导体的结合面上形成如下物理过程:



最后,多子的扩散和少子的漂移达到动态平衡。对于 P 型半导体和 N 型半导体结合



面,离子薄层形成的空间电荷区称为PN结。在空间电荷区,由于缺少多子,所以也称为耗尽层。PN结形成的过程如图1-6所示。

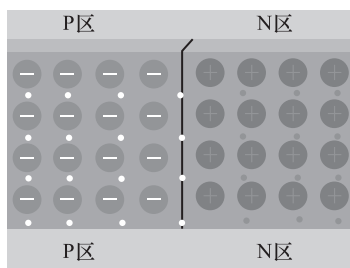


图 1-6 PN 结的形成过程

2. PN 结的单向导电性

PN 结具有单向导电性,若外加电压使电流从 P 区流到 N 区,PN 结呈低阻性,所以电流大;反之呈高阻性,电流小。

如果外加电压使:

PN 结 P 区的电位高于 N 区的电位,则称为加正向电压,简称正偏;

PN 结 P 区的电位低于 N 区的电位,则称为加反向电压,简称反偏。

(1)PN 结加正向电压时的导电情况

PN 结加正向电压时的导电情况如图 1-7 所示。

外加的正向电压有一部分降落在 PN 结区,方向与 PN 结内电场方向相反,削弱了内电场。于是,内电场对多子扩散运动的阻碍减弱,扩散电流加大,扩散电流远大于漂移电流,可忽略漂移电流的影响,PN 结呈现低阻性。

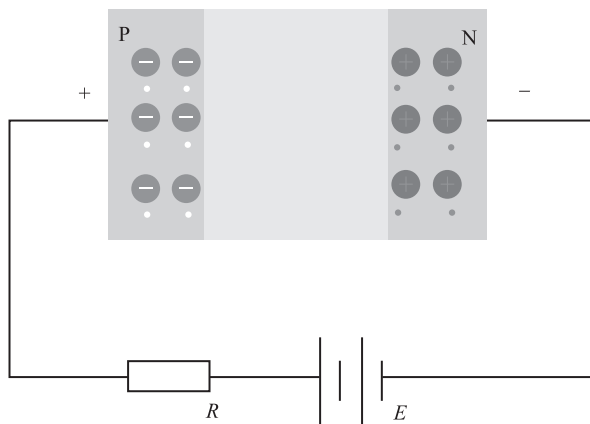


图 1-7 PN 结加正向电压时的导电情况

(2)PN 结加反向电压时的导电情况



PN 结加反向电压时的导电情况如图 1-8 所示。

外加的反向电压有一部分降落在 PN 结区,方向与 PN 结内电场方向相同,加强了内电场。内电场对多子扩散运动的阻碍增强,扩散电流大大减小。此时 PN 结区的少子在电场作用下形成的漂移电流大于扩散电流,可忽略扩散电流,PN 结呈现高阻性。

在一定的温度条件下,由本征激发决定的少子浓度是一定的,故少子形成的漂移电流是恒定的,基本上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。

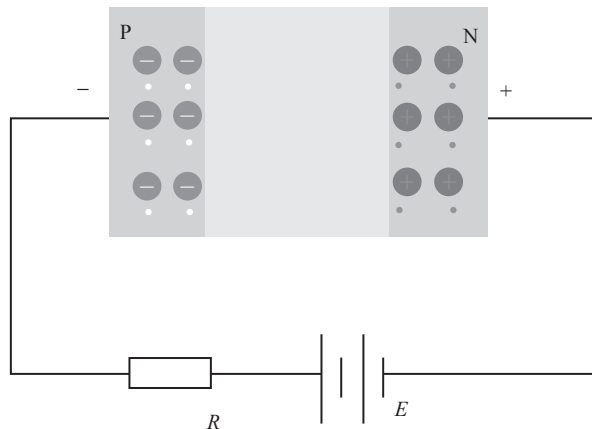


图 1-8 PN 结加反向电压时的导电情况

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。由此可以得出结论:PN 结具有单向导电性。

3. PN 结的电容效应

PN 结具有一定的电容效应,它由两方面的因素决定,一是势垒电容 C_B ,二是扩散电容 C_D 。

(1) 势垒电容 C_B

势垒电容是由空间电荷区的离子薄层形成的。当外加电压使 PN 结上压降发生变化时,离子薄层的厚度也相应地随之改变,这相当于 PN 结中存储的电荷量也随之变化,犹如电容的充放电。势垒电容的示意图如图 1-9 所示。

(2) 扩散电容 C_D

扩散电容是由多子扩散后,在 PN 结的另一侧面积累而形成的。PN 结正偏时,由 N 区扩散到 P 区的电子,与外电源提供的空穴相复合,形成正向电流。刚扩散过来的电子就堆积在 P 区内紧靠 PN 结的附近,形成一定的多子浓度梯度分布曲线。反之,由 P 区扩散到 N 区的空穴,在 N 区内也形成类似的浓度梯度分布曲线。扩散电容的示意图如图 1-10 所示。

当外加正向电压不同时,扩散电流即外电路电流的大小也就不同,所以 PN 结两侧堆积的多子的浓度梯度分布也不同,这就相当于电容的充放电过程。势垒电容和扩散电容均是非线性电容。

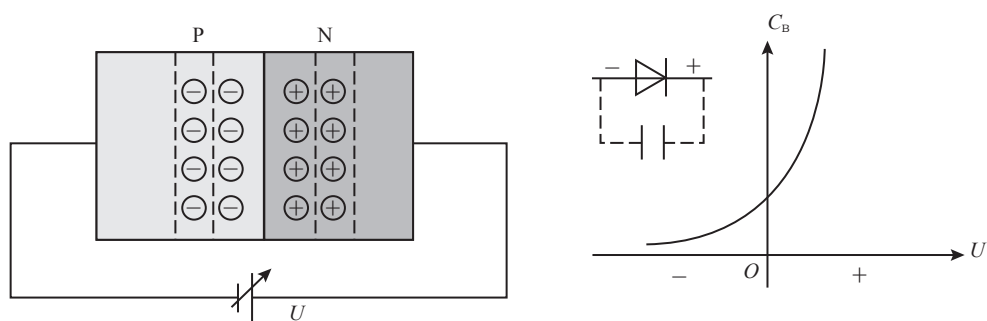


图 1-9 势垒电容示意图

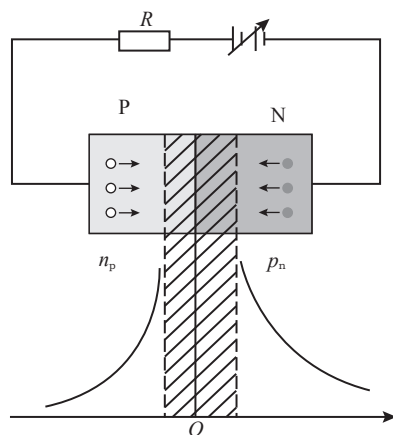


图 1-10 扩散电容示意图



知识拓展

PN 结的制作工艺

PN 结的制作工艺是利用固态扩散原理将杂质元素按要求的深度掺入半导体表面或体内指定区域的工艺。在硅集成电路工艺中,主要是掺化学元素Ⅲ族和Ⅴ族杂质。掺入Ⅲ族元素形成 P 区;掺入Ⅴ族元素形成 N 区。杂质扩散工艺用于制作 PN 结或构成集成电路中的电阻、电容、互连布线、二极管和晶体管等器件,也用于器件之间的隔离。

早在 20 世纪 50 年代,人们就开始对一些元素在硅中的扩散性状进行研究。利用这些研究成果发展起来的扩散工艺很快成为制造硅器件的一种主要掺杂技术。20 世纪 50 年代末至 60 年代初,扩散工艺与氧化、光刻等技术相结合,运用于平面晶体管的制造,形成了由扩散、氧化、光刻等技术所组成的一种先进的硅器件加工工艺,称为硅平面工艺。单片硅集成电路工艺就是在平面工艺的基础上发展起来的。在大规模和超大规模集成电路制造中,

已逐步采用,但扩散工艺仍是集成电路制造中的一种主要掺杂工艺。

集成电路的衬底通常是硅片。常温下杂质在硅内扩散很慢,尽管多数集成电路要求的杂质扩散只有零点几到 $1\mu\text{m}$ 或 $2\mu\text{m}$ 的深度,但对多数杂质(如硅中的 III 族、V 族元素)来说,扩散温度仍然要在 1000°C 上下或者更高,掺杂过程才能在较短时间内完成。因此,制造集成电路的扩散工艺,就是在一个系统内把硅片和杂质源以一定的温度加热到一定的时间,以达到所需的掺杂浓度和深度。

杂质扩散工艺最早使用的是封管法扩散(见图 1-11(a))。这是把杂质源和硅片一起封入一个抽成一定真空的石英管中加热,使杂质元素扩散到硅中去。箱法扩散(见图 1-11(b))是封管法扩散的改进,采用一个石英或硅制成的带盖子的箱子,扩散时把硅片和杂质源一起放入箱内,盖上盖子送入扩散炉管中,炉管内的惰性气体起保护作用。封管法扩散和箱法扩散所用的杂质源,都是易挥发的固态源,如元素镓和化合物 BO 、 SbO 等。硅片并不与杂质源接触,只是暴露在杂质源形成的气氛中。如果杂质源是气体(如 B)或液体(如 POCl_3) (见图 1-11(c)),则可运载气体直接把气体或蒸气引入石英管内,由汽相杂质与硅表面反应而向硅片内扩散相应的杂质,这时往往使用通气的开放性石英管,常称为开管扩散。另一类扩散方法是把杂质源淀积在硅片上,然后把这种硅片在高温下进行扩散。在硅片上淀积杂质源薄膜的方法很多,如金扩散时就是先把金蒸发或溅射到硅片上生成金膜。至于扩散磷、砷和硼等杂质,可用化学汽相淀积在硅片上,生成含有上述杂质的氧化硅膜或多晶硅膜;还可含杂质元素或其化合物的二氧化硅乳胶在硅片上生成含杂质的二氧化硅薄膜等,这种方法称为固-固扩散,即杂质从固相薄膜向固相的硅中扩散。利用乳胶生成薄膜,有时直接称为乳胶源扩散。平面源或片状源扩散是一种新的扩散工艺,其实是接近于箱法的一种扩散法,只是把固态的扩散杂质源和一些其他成型物质一起制成陶瓷或微晶玻璃圆片,与硅片交替地插在石英扩散舟中进行扩散。用这方法可以获得较均匀的扩散层,而且换源也比较方便。

对杂质扩散工艺的要求是:准确控制浓度和深度;在整个半导体片内扩散均匀;片间和批次间有均一性。扩散浓度一方面决定于源的情况,当源足量时则决定于温度,因为杂质的固溶度决定杂质在半导体表面的浓度。扩散深度 \sqrt{Dt} (若制成 PN 结表示为结深)取决于扩散系数 D 和扩散时间 t 。因为 $D=D_0e^{-E/KT}$,对于一定杂质在特定固体中激活能 E 和 D_0 是一定的,所以 D 与 T 是指数上升关系。为了精确控制深度,精确控制温度(浮动 $<\pm 0.5^\circ\text{C}$)十分重要,同时还需严格控制扩散时间。一个圆片内的扩散均匀性在很大程度上取决于表面的严格处理;而片与片以及批与批间的均一性,除恒温区稳定、气流形式合适和源稳定外,还要求保持扩散环境的洁净(包括炉管和洁净室等)。杂质扩散不仅是在扩散这一道工序中进行,而是在掺入杂质后的任何一道加温处理的工序中都在继续进行。因此,关于扩散结深和分布参数还要计入后道工序的效应(除扩散外还要考虑分凝等)。

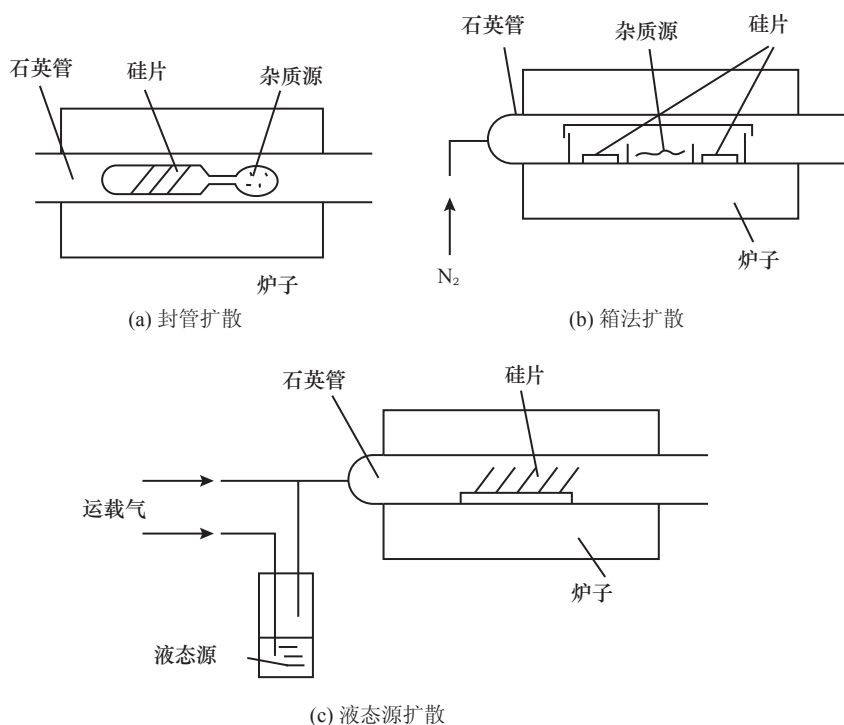


图 1-11 扩散装置示意图

任务 2 半导体二极管

任务描述：了解半导体二极管的构造和表示方法；

掌握二极管的伏安特性；

了解温度对于二极管特性的影响；

掌握二极管的参数及其意义。

任务分析：二极管是电路中常用的一种器件，是半导体 PN 结的应用，也是下面学习半导体三极管的基础。本任务将介绍二极管的构造及其参数，重点讲授二极管的电特性——伏安特性曲线。

阶段 1 二极管的构造及表示方法

1. 二极管的构造

在PN结上加上引线 and 封装, 就成为一个二极管。二极管按结构分为点接触型、面接触型和平面型三大类。它们的结构示意图如图 1-12(a)、(b)、(c) 所示。

(1) 点接触型二极管——PN 结面积小, 结电容小, 用于检波和变频等高频电路。

(2) 面接触型二极管——PN 结面积大, 用于工频大电流整流电路。

(3) 平面型二极管——往往用于集成电路制造工艺中。PN 结面积可大可小, 用于高频整流和开关电路中。

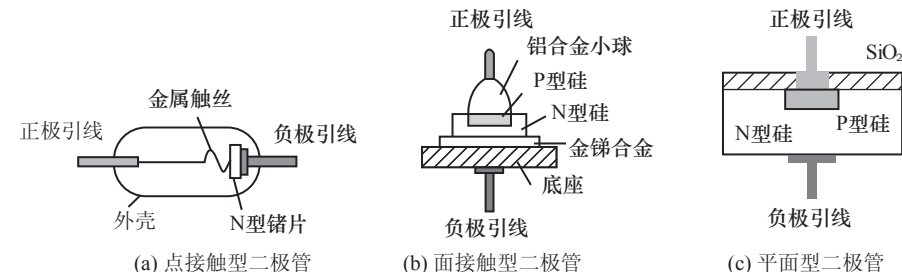
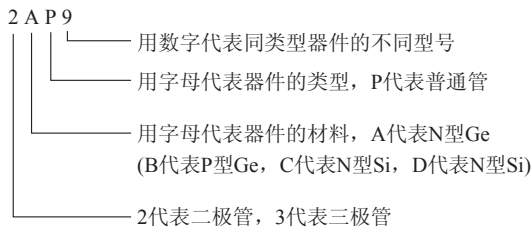


图 1-12 二极管的结构示意图

2. 二极管的表示方法

国家标准对半导体器件型号的命名举例如下:



阶段 2 二极管的伏安特性

半导体二极管的伏安特性曲线如图 1-13 所示。处于第一象限的是正向伏安特性曲线, 处于第三象限的是反向伏安特性曲线。根据理论推导, 二极管的伏安特性曲线可用下式表示

$$I = I_s (e^{\frac{U}{U_T}} - 1) \quad (1-1)$$

式中: I_s 为反向饱和电流; U 为二极管两端的电压降; $U_T = \frac{kT}{q}$ 称为温度的电压当量; k 为玻耳兹曼常数; q 为电子电荷量; T 为热力学温度。



对于室温(相当 $T=300\text{K}$),则有 $U_T=26\text{mV}$ 。

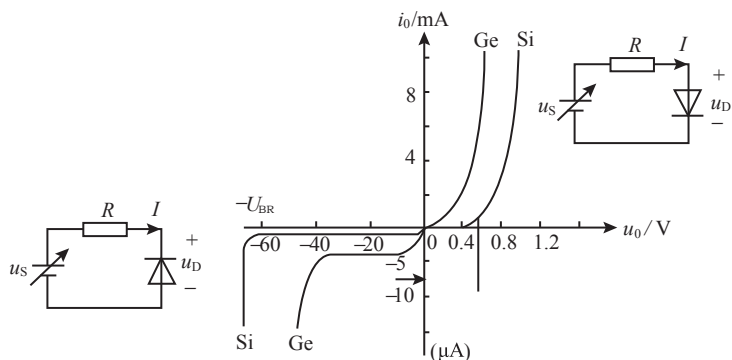


图 1-13 二极管的伏安特性曲线

(1) 正向特性

当 $U>0$,即处于正向特性区域。

正向区又分为两段:

当 $0<U<U_{th}$ 时,正向电流为零, U_{th} 称为死区电压或开启电压。

当 $U>U_{th}$ 时,开始出现正向电流,并按指数规律增长。

硅二极管的死区电压 $U_{th}=0.5\text{V}$ 左右,

锗二极管的死区电压 $U_{th}=0.1\text{V}$ 左右。

(2) 反向特性

当 $U<0$ 时,即处于反向特性区域。

反向区也分两个区域:

当 $U_{BR}<U<0$ 时,反向电流很小,且基本不随反向电压的变化而变化,此时的反向电流也称反向饱和电流 I_S 。

当 $U\geq U_{BR}$ 时,反向电流急剧增加, U_{BR} 称为反向击穿电压。

在反向区,硅二极管和锗二极管的特性有所不同。硅二极管的反向击穿特性比较硬、比较陡,反向饱和电流也很小;锗二极管的反向击穿特性比较软,过渡比较圆滑,反向饱和电流较大。从击穿的机理上看,硅二极管若 $|U_{BR}|\geq 7\text{V}$ 时,主要是雪崩击穿;若 $|U_{BR}|\leq 4\text{V}$ 则主要是齐纳击穿,当在 $4\sim 7\text{V}$ 之间,两种击穿都有,有可能获得零温度系数点。

阶段 3 温度对二极管特性的影响

温度对二极管的性能有较大的影响,温度升高时,反向电流将呈指数规律增加,如硅二极管温度每增加 8°C ,反向电流将约增加一倍;锗二极管温度每增加 12°C ,反向电流大约增加一倍。另外,温度升高时,二极管的正向压降将减小,每增加 1°C ,正向压降 $U_F(U_d)$ 大约减小 2mV ,即具有负的温度系数。这些可以从图 1-14 所示二极管的伏安特性曲线上看出。

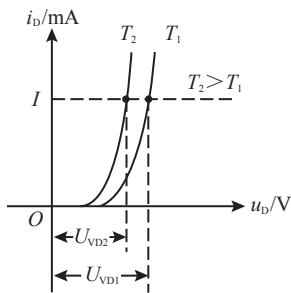


图 1-14 温度对二极管伏安特性曲线的影响

阶段 4 二极管的主要参数

半导体二极管的参数包括最大整流电流 I_F 、反向击穿电压 U_{BR} 、最大反向工作电压 U_{RM} 、反向电流 I_R 、最高工作频率 f_{max} 和结电容 C_j 等。几个主要的参数介绍如下：

(1) 最大整流电流 I_F ——二极管长期连续工作时,允许通过二极管的最大整流电流的平均值。

(2) 反向击穿电压 U_{BR} 和最大反向工作电压 U_{RM} ——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 U_{BR} 。为安全考虑,在实际工作时,最大反向工作电压 U_{RM} 一般只按反向击穿电压 U_{BR} 的一半计算。

(3) 反向电流 I_R ——在室温下,在规定的反向电压下,一般是最大反向工作电压下的反向电流值。硅二极管的反向电流一般在纳安(nA)级;锗二极管在微安(μA)级。

(4) 正向压降 U_F ——在规定的正向电流下,二极管的正向电压降。小电流硅二极管的正向压降在中等电流水平下约 0.6~0.8V;锗二极管约 0.2~0.3V。

(5) 动态电阻 r_d ——反映了二极管正向特性曲线斜率的倒数。显然, r_d 与工作电流的大小有关,即

$$r_d = \Delta U_F / \Delta I_F$$



知识拓展

二极管的类型

二极管种类有很多,按照所用的半导体材料,可分为锗二极管(Ge管)和硅二极管(Si管)。根据其不同用途,可分为检波二极管、整流二极管、稳压二极管、开关二极管、隔离二极管、肖特基二极管、发光二极管、硅功率开关二极管和旋转二极管等。按照管芯结构,又可分为点接触型二极管、面接触型二极管及平面型二极管。点接触型二极管是用一根很细的金属丝压在光洁的半导体晶片表面,通以脉冲电流,使触丝一端与晶片牢固地烧结在一起,形成一个“PN结”。由于是点接触,只允许通过较小的电流(不超过几十毫安),适用于高频小

电流电路,如收音机的检波等。面接触型二极管的“PN结”面积较大,允许通过较大的电流(几安到几十安),主要用于把交流电转换成直流电的“整流”电路中。平面型二极管是一种特制的硅二极管,它不仅能通过较大的电流,而且性能稳定可靠,多用于开关、脉冲及高频电路中。

根据用途分类,二极管可分为下列21种类型。

1. 检波用二极管

就原理而言,从输入信号中取出调制信号是检波,以整流电流的大小(100mA)作为界线,通常把输出电流小于100mA的称为检波。锗材料点接触型,工作频率可达400MHz,正向压降小,结电容小,检波效率高,频率特性好,为2AP型。类似点接触型那样检波用的二极管,除用于检波外,还能够用于限幅、削波、调制、混频、开关等电路,也有为调频检波专用的特性一致性好的两只二极管组合件。

2. 整流用二极管

就原理而言,从输入交流中得到输出的直流是整流。以整流电流的大小(100mA)作为界线,通常把输出电流大于100mA的叫整流。

3. 限幅用二极管

大多数二极管能作为限幅使用。也有很保护仪表用和高频齐纳管那样的专用限幅二极管。为了使这些二极管具有特别强的限制尖锐振幅的作用,通常使用硅材料制造的二极管。也有这样的组件出售:依据限制电压需要,把若干个必要的整流二极管串联起来形成一个整体。

4. 调制用二极管

通常指的是环形调制专用的二极管。就是正向特性一致性好的4个二极管的组合件。即使其他变容二极管也有调制用途,但它们通常是直接作为调频用。

5. 混频用二极管

使用二极管混频方式时,在500~10 000Hz的频率范围内,多采用肖特基型和点接触型二极管。

6. 放大用二极管

用二极管放大,大致有采用隧道二极管和体效应二极管那样的负阻性器件的放大,以及用变容二极管的参量放大。因此,放大用二极管通常是指隧道二极管、体效应二极管和变容二极管。

7. 开关用二极管

有在小电流下(10mA程度)使用的逻辑运算和在数百毫安下使用的磁芯激励用开关二极管。小电流的开关二极管通常有点接触型和键型等二极管,也有在高温下还可能工作的硅扩散型、台面型和平面型二极管。开关二极管的特长是开关速度快。肖特基型二极管的开关时间特短,因而是理想的开关二极管。2AK型点接触为中速开关电路用;2CK型平面接触为高速开关电路用,用于开关、限幅、钳位或检波等电路;肖特基(SBD)硅大电流开关,

正向压降小、速度快、效率高。

8. 变容二极管

用于自动频率控制(AFC)和调谐用的小功率二极管称为变容二极管。日本厂商方面也有其他许多叫法。通过施加反向电压,使其PN结的静电容量发生变化。因此,被使用于自动频率控制、扫描振荡、调频和调谐等用途。通常,虽然是采用硅的扩散型二极管,但是也可采用合金扩散型、外延结合型、双重扩散型等特殊制作的二极管,因为这些二极管对于电压而言,其静电容量的变化率特别大。结电容随反向电压 U_R 变化,取代可变电容,用作调谐回路、振荡电路和锁相环路,常用于电视机高频头的频道转换和调谐电路,多以硅材料制作。

9. 频率倍增用二极管

对二极管的频率倍增作用而言,有依靠变容二极管的频率倍增和依靠阶跃(即急变)二极管的频率倍增。频率倍增用的变容二极管称为可变电抗器,可变电抗器虽然和自动频率控制用的变容二极管的工作原理相同,但电抗器的构造却能承受大功率。阶跃二极管又被称为阶跃恢复二极管,从导通切换到关闭时的反向恢复时间 t_{rr} 短,因此,其特长是急速地变成关闭的转移时间显著地短。如果对阶跃二极管施加正弦波,那么,因 t_t (转移时间)短,所以输出波形骤然被夹断,故能产生很多高频谐波。

10. 稳压二极管

是代替稳压电子二极管的产品,被制作成为硅的扩散型或合金型,是反向击穿特性曲线急剧变化的二极管,作为控制电压和标准电压使用而制作的。二极管工作时的端电压(又称齐纳电压)从3V左右到150V,按每隔10%能划分成许多等级。在功率方面,也有从200mW至100W以上的产品。工作在反向击穿状态,硅材料制作,动态电阻 Y_d 很小,一般为2CW型。将两个互补二极管反向串接以减少温度系数则为2DW型。

11. PIN型二极管(PIN Diode)

这是在P区和N区之间夹一层本征半导体(或低浓度杂质的半导体)构造的晶体二极管。PIN中的I是“本征”意义的英文略语。当其工作频率超过100MHz时,由于少数载流子的存储效应和“本征”层中的渡越时间效应,其二极管失去整流作用而变成阻抗元件,并且,其阻抗值随偏置电压而改变。在零偏置或直流反向偏置时,“本征”区的阻抗很高;在直流正向偏置时,由于载流子注入“本征”区,而使“本征”区呈现出低阻抗状态。因此,可以把PIN二极管作为可变阻抗元件使用。它常被应用于高频开关(即微波开关)、移相、调制和限幅等电路中。

12. 雪崩二极管(Avalanche Diode)

它是在外加电压作用下可以产生高频振荡的晶体管。产生高频振荡的工作原理如下:利用雪崩击穿对晶体注入载流子,因载流子渡越晶片需要一定的时间,所以其电流滞后于电压,出现延迟时间,若适当地控制渡越时间,那么,在电流和电压关系上就会出现负阻效应,从而产生高频振荡。它常被应用于微波领域的振荡电路中。

13. 江崎二极管(Tunnel Diode)

它是以隧道效应电流为主要电流分量的晶体二极管。其基底材料是砷化镓和锗。其P型区的N型区是高掺杂的(即高浓度杂质的)。隧道电流由这些简并态半导体的量子力学效应所产生。发生隧道效应具备如下三个条件:

(1)费米能级位于导带和满带内;

(2)空间电荷层宽度必须很窄($0.01\mu\text{m}$ 以下);简并半导体P型区和N型区中的空穴和电子在同一能级上有交叠的可能性。江崎二极管为双端子有源器件。其主要参数有峰谷电流比(I_p/I_v),其中,下标“P”代表“峰”;而下标“V”代表“谷”。江崎二极管可以被应用于低噪声高频放大器及高频振荡器中(其工作频率可达毫米波段),也可以被应用于高速开关电路中。

14. 快速关断(阶跃恢复)二极管(Step Recovery Diode)

它也是一种具有PN结的二极管。其结构上的特点是:在PN结边界处具有陡峭的杂质分布区,从而形成“自助电场”。由于PN结在正向偏压下,以少数载流子导电,并在PN结附近具有电荷存储效应,使其反向电流需要经历一个“存储时间”后才能降至最小值(反向饱和电流值)。阶跃恢复二极管的“自助电场”缩短了存储时间,使反向电流快速截止,并产生丰富的谐波分量。利用这些谐波分量可设计出梳状频谱发生电路。快速关断(阶跃恢复)二极管用于脉冲和高次谐波电路中。

15. 肖特基二极管(Schottky Barrier Diode)

它是具有肖特基特性的“金属半导体结”的二极管。其正向起始电压较低。其金属层除材料外,还可以采用金、钼、镍、钛等材料。其半导体材料采用硅或砷化镓,多为N型半导体。这种器件是由多数载流子导电的,所以,其反向饱和电流较以少数载流子导电的PN结大得多。由于肖特基二极管中少数载流子的存储效应甚微,所以其频率响应仅由RC时间常数限制,因而,它是高频和快速开关的理想器件。其工作频率可达100GHz。另外,MIS(金属—绝缘体—半导体)肖特基二极管可以用来制作太阳能电池或发光二极管。

16. 阻尼二极管

具有较高的反向工作电压和峰值电流,正向压降小,高频高压整流二极管,用在电视机行扫描电路作阻尼和升压整流用。

17. 瞬变电压抑制二极管

TVP管,对电路进行快速过压保护,分双极型和单极型两种,按峰值功率(500~5000W)和电压(8.2~200V)分类。

18. 双基极二极管(单结晶体管)

两个基极,一个发射极的三端负阻器件,用于张弛振荡电路,定时电压读出电路中,它具有频率易调、温度稳定性好等优点。

19. 发光二极管

用磷化镓、磷砷化镓材料制成,体积小,正向驱动发光。工作电压低,工作电流小,发光

均匀、寿命长,可发红、黄、绿单色光。

20. 硅功率开关二极管

硅功率开关二极管具有高速导通与截止的能力。它主要用于大功率开关或稳压电路、直流变换器、高速电机调速及在驱动电路中作高频整流及续流钳拉,具有恢复特性软、过载能力强的优点,广泛用于计算机、雷达电源、步进电机调速等方面。

21. 旋转二极管

主要用于无刷电机励磁,也可作普通整流用。

任务3 特殊二极管

任务描述: 掌握稳压二极管的特性及典型应用电路;

熟悉稳压二极管的特性参数;

掌握发光二极管的特性及典型应用电路;

熟悉发光二极管的特性参数。

任务分析: 利用PN结的其他特性,采用不同的材料,可以制成其他一些特殊的二极管,它们在电路中也有广泛的应用。本任务主要讲授其中应用最为广泛的两种——稳压二极管和发光二极管,重点介绍它们的特性及典型应用电路。

阶段1 稳压二极管的特性及应用

稳压二极管是应用在反向击穿区的特殊硅二极管。稳压二极管的伏安特性曲线与硅二极管的伏安特性曲线完全一样,稳压二极管伏安特性曲线的反向区、符号和典型应用电路如图1-15所示。

从稳压二极管的伏安特性曲线上可以确定稳压二极管的参数。

(1) 稳定电压 U_Z ——在规定的稳压管反向工作电流 I_Z 下所对应的反向工作电压。

(2) 动态电阻 r_Z ——其概念与一般二极管的动态电阻相同,只不过稳压二极管的动态电阻是从它的反向特性上求取的。 r_Z 愈小,反映稳压管的击穿特性愈陡。

$$r_Z = \Delta U_Z / \Delta I_Z \quad (1-2)$$

(3) 最大耗散功率 P_{ZM} ——稳压管的最大功率损耗取决于PN结的面积和散热等条件。反向工作时,PN结的功率损耗为 $P_Z = U_Z I_Z$,由 P_{ZM} 和 U_Z 可以决定 I_{Zmax} 。

(4) 最大稳定工作电流 I_{Zmax} 和最小稳定工作电流 I_{Zmin} ——稳压管的最大稳定工作电流取决于最大耗散功率,即 $P_{Zmax} = U_Z I_{Zmax}$ 。而 I_{Zmin} 对应 U_{Zmin} 。若 $I_Z < I_{Zmin}$,则不能稳压。



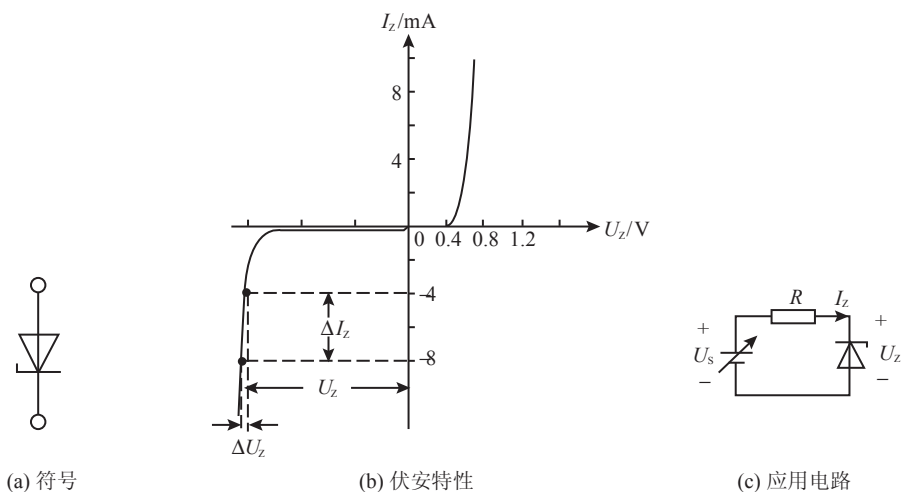


图 1-15 稳压二极管的伏安特性

(5) 稳定电压温度系数 α_{U_z} ——温度的变化将使 U_z 改变, 在稳压管中, 当 $|U_z| > 7\text{V}$ 时, U_z 具有正温度系数, 反向击穿是雪崩击穿。当 $|U_z| < 4\text{V}$ 时, U_z 具有负温度系数, 反向击穿是齐纳击穿。当 $4\text{V} < |U_z| < 7\text{V}$ 时, 稳压管可以获得接近零的温度系数。这样的稳压二极管可以作为标准稳压管使用。

稳压二极管在工作时应反接, 并串入一只电阻。

电阻的作用主要起限流作用, 以保护稳压管; 其次是当输入电压或负载电流变化时, 通过该电阻上电压降的变化, 减小误差信号以调节稳压管的工作电流, 从而起到稳压作用。

阶段 2 发光二极管(LED)

它是半导体二极管的一种, 可以把电能转化成光能, 常简称为 LED。发光二极管与普通二极管一样是由一个 PN 结组成, 也具有单向导电性。当给发光二极管加上正向电压后, 从 P 区注入到 N 区的空穴和由 N 区注入到 P 区的电子, 在 PN 结附近数微米内分别与 N 区的电子和 P 区的空穴复合, 产生自发辐射的荧光。不同的半导体材料中电子和空穴所处的能量状态不同。电子和空穴复合时释放出的能量多少不同, 释放出的能量越多, 则发出的光的波长越短。常用的是发红光、绿光或黄光的二极管。

发光二极管的反向击穿电压约 5V 。它的正向伏安特性曲线很陡, 使用时必须串联限流电阻以控制通过管子的电流。限流电阻 R 可用下式计算:

$$R = \frac{(E - U_F)}{I_F} \quad (1-3)$$

式中: E 为电源电压; U_F 为 LED 的正向压降; I_F 为 LED 的一般工作电流。

发光二极管的两根引线中较长的一根为正极; 有的发光二极管的两根引线一样长, 但管壳上有一凸起的小舌, 靠近小舌的引线是正极。



与小白炽灯泡和氖灯相比,发光二极管的特点是:工作电压很低(有的仅一点几伏);工作电流很小(有的仅零点几毫安即可发光);抗冲击和抗震性能好,可靠性高,寿命长;通过调制流过的电流强弱可以方便地调制发光的强弱。由于有这些特点,发光二极管在一些光电控制设备中用作光源,在许多电子设备中用作信号显示器。把它的管心做成条状,用七条条状的发光管组成七段式半导体数码管,每个数码管可显示0~9十个数字。



知识拓展

发光二极管(LED)的分类

LED产品分类很多,我们简单地来看看分类方法。LED根据发光管发光颜色、发光管出光面特征、发光管结构、发光强度和工作电流、芯片材料及功能等标准有不同的分类方法。下面简单介绍前6种分类方法。

1. 根据发光管发光颜色分类

根据发光管发光颜色的不同,可分成红光、橙光、绿光(又细分黄绿、标准绿和纯绿)、蓝光等。另外,有的发光二极管中包含2种或3种颜色的芯片。根据发光二极管出光处掺或不掺散射剂、有色还是无色,上述各种颜色的发光二极管还可分成有色透明、无色透明、有色散射和无色散射4种类型。

2. 根据发光管出光面特征分类

根据发光管出光面特征的不同,可分为圆灯、方灯、矩形、面发光管、侧向管、表面安装用微型管等。

圆形灯按直径分为 $\phi 2\text{mm}$ 、 $\phi 4.4\text{mm}$ 、 $\phi 5\text{mm}$ 、 $\phi 8\text{mm}$ 、 $\phi 10\text{mm}$ 及 $\phi 20\text{mm}$ 等。国外通常把 $\phi 3\text{mm}$ 的发光二极管记作T-1;把 $\phi 5\text{mm}$ 的记作T-1(3/4);把 $\phi 4.4\text{mm}$ 的记作T-1(1/4)。

由半值角大小可以估计圆形发光强度角分布情况。从发光强度角分布图来分有3类:

(1)高指向性。一般为尖头环氧封装,或是带金属反射腔封装,且不加散射剂。半值角为 $5^\circ\sim 20^\circ$ 或更小,具有很高的指向性,可作局部照明光源用,或与光检出器联用以组成自动检测系统。

(2)标准型。通常作指示灯用,其半值角为 $20^\circ\sim 45^\circ$ 。

(3)散射型。这是视角较大的指示灯,半值角为 $45^\circ\sim 90^\circ$ 或更大,散射剂的量较大。

3. 根据发光二极管的结构分类

根据发光二极管的结构,可分为全环氧包封、金属底座环氧封装、陶瓷底座环氧封装及玻璃封装等。

4. 根据发光强度和工作电流分类

根据发光强度和工作电流,可分为普通亮度LED(发光强度 $< 10\text{mcd}$)、高亮度LED($10\sim 100\text{mcd}$)和超高亮度LED(发光强度 $> 100\text{mcd}$)。一般LED的工作电流在十几毫安至几十毫安,而低电流LED的工作电流在 2mA 以下(亮度与普通发光管相同)。

5. 按功率分

有小功率LED($0.04\sim 0.08\text{W}$),中功率LED($0.1\sim 0.5\text{W}$),大功率LED($1\sim 500\text{W}$),随

着技术的不断发展,LED的功率越做越大。

6. 按封装形式分

可分为 SMD(贴片)和 DIP(直插)两种。

实验 1 常用电子仪器的使用

1. 实验目的

(1)学习电子电路实验中常用的电子仪器——示波器、函数信号发生器、直流稳压电源、交流毫伏表等的主要技术性能指标及正确使用方法。

(2)初步掌握用双踪示波器观察正弦信号波形和读取波形参数的方法。

2. 实验原理

在模拟电子电路实验中,经常使用的电子仪器有示波器、函数信号发生器、直流稳压电源、交流毫伏表、万用表等。可以完成对模拟电子电路的静态和动态工作情况的测试。

(1) 示波器

1)使用前的准备。打开电源开关前先设定各个控制键,如表 1-1 所示。

表 1-1 控制键的设定

电源(POWER)	电源开关键弹出
亮度(INTENSITY)	顺时针方向旋转
聚焦(FOCUS)	中间
AC—GND—DC	接地(GND)
垂直移位(PPOSITION)	中间($\times 5$)扩展键弹出
垂直工作方式(MODE)	CH ₁
触发方式(TRIG MODE)	自动(AUTO)
触发源(SOURCE)	内(INT)
触发电平(TRIG LEVEL)	中间
Time/Div	0.5ms/div
水平位置	$\times 1, (\times 5 \text{MAG})(\times 10 \text{MAG}) \text{ALT MAG}$ 均弹出

所有的控制键设定后,打开电源。当亮度旋钮顺时针方向旋转时,轨迹大约 15s 后出现,如仍找不到光点,可调节亮度旋钮,并按下“寻迹”板键,从中判断光点位置,然后适当调节垂直($\uparrow\downarrow$)和水平($\leftarrow\rightarrow$)移位旋钮,将光点移至荧光屏的中心位置。

2)使用前的校正。先将示波器面板上各键置于如下位置:“显示方式”位于“X—Y”;“极性”选择位于“+”;“AC—GND—DC”开关位于“AC”;“微调开关”位于“0.5V/div”挡。然后用同轴电缆将校准信号输出端与 CH₁ 的输入端相连接,示波器屏幕上应显示幅度为 0.5U_{p-p}、周期为 1ms 的方波。调节“微调 V/div”、“微调”使方波幅值为 1 格(Y 轴),调节“微调 Time/div”、“微调”使方波周期为 1 格(X 轴),调节“辉度”、“聚焦”和“辅助聚焦”各旋钮使屏幕上观察到的波形细而清晰,调节亮度旋钮于适中位置。

3)信号的测量。

①直流电压的测量。设定“AC-GND-DC”开关至“GND”,将零电平定位到屏幕上的最佳位置,这个位置不一定在屏幕的中心。将被测信号接入示波器 CH₁ 输入端,直流信号将会产生偏移,然后调节触发“电平”,使波形稳定。如图 1-16 所示。

如果 V/div 为 50mV/div 挡,示波器读数为 4div(格),则计算方法为

$$50\text{mV}/\text{div} \times 4\text{div} = 200\text{mV}$$

当然如果探头为 10 : 1,实际信号的值就是 $\times 10$ 为 2V_{P-P}。

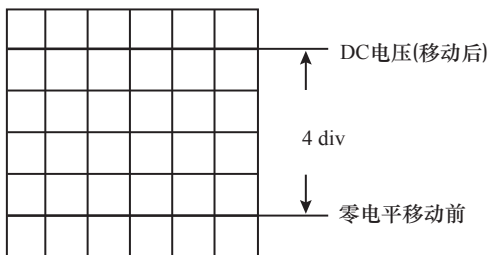


图 1-16 直流电压的测量

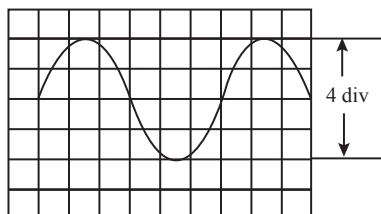


图 1-17 交流电压的测量

②交流电压的测量。与测量直流电压一样,将垂直输入耦合选择开关置于“AC”,根据被测信号幅度和频率对“V/div”开关和“Time/Div”开关选取适当的挡级,将被测信号接入 V/div 示波器 CH₁,如图 1-17 所示。如果输入端 V/div 为 1V/div 挡,示波器读数为 4div(格),则计算方法为

1V/div \times 4div = 4V,当然如果探头为 10 : 1,实际值为 40V。

③频率和时间的测量。如图 1-18 所示,如果一个周期在屏幕上为 AB = 2div(格),扫描时间为 1ms/div,则周期为

$$1\text{ms}/\text{div} \times 2\text{div} = 2.0\text{ms}$$

由此可得,频率为 $\frac{1}{2\text{ms}} = 500\text{Hz}$,如果运用 $\times 5$ 扩展,那么 Time/div 则为指示值的 $\frac{1}{5}$ 。

④相位差的测量。同时按下 CH₁ 和 CH₂ 按钮,屏幕上会出现双踪并自动以断续或交替方式同时显示 CH₁ 和 CH₂ 上的信号。调 CH₁ 和 CH₂ 上的移位按钮,使两条扫描基线重合。然后读数,如图 1-19 所示。周期为 4div(格)两曲线相差 0.5div,则它们的相位差为

$$\varphi = \frac{0.5 \text{ div}}{4 \text{ div}} \times 360^\circ = 45^\circ$$

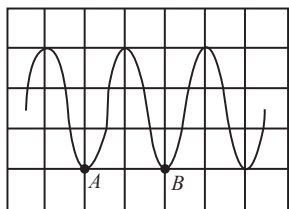


图 1-18 频率和时间的测量

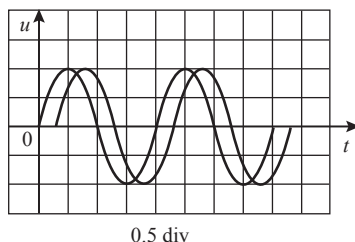


图 1-19 相位差的测量

(2) 函数信号发生器

函数信号发生器按需要可输出正弦波、方波、三角波三种信号波形。输出信号电压幅度可由输出幅度调节旋钮进行连续调节。输出信号电压频率可以通过频率分挡开关进行调节,并由频率计读取频率值。

函数信号发生器可作信号源,它的输出端不允许短路。

(3) 晶体管毫伏表

晶体管毫伏表只能在其工作频率范围内用来测量正弦交流电压的有效值。为了防止过载而损坏,测量前一般先把量程开关置于量程较大位置处,然后在测量中慢慢减小量程。

接通电源后,将输入端短接,进行调零,然后断开短路线进行测量。

3. 实验仪器与设备

(1) 双踪四迹示波器	YB4320	1 台
(2) 低频信号发生器	XJ1630	1 台
(3) 双路稳压电源	WYK302B2	1 台
(4) 晶体管毫伏表	DA16	1 台
(5) 数字式(或指针式)万用表		1 块

4. 实验内容和步骤

(1) XJ1630 型信号发生器及 DA16 晶体管毫伏表的使用

1) 信号频率的调节方法:按下面板下方“频率范围”波段开关并配合右上方三个“频率调节”旋钮,可以输出 20Hz~200kHz 范围内任意的正弦信号。当“输出衰减”旋钮为 0dB 时,调节输出细调使表头指示为 1V。直接将“频率范围”、“频率调节”中“×1、×0.1、×0.01”旋钮的对应位置写入表 1-2 中。要求掌握 XJ1630 信号源选取输出频率的方法。

表 1-2 频率登记表

待调频率	频率范围钮位置	各频率调节旋钮位置		
		×1	×0.1	×0.01
20Hz				
350Hz				
1kHz				
35kHz				
200kHz				

2) 将 XJ1630 信号发生器频率调至 1kHz, 并调节“输出细调”旋钮使表头指示保持为满刻度(5V)。用晶体管毫伏表直接测量信号发生器, 在不同“输出衰减”位置时的输出电压记入表 1-3 中(注意要正确连线)。

要求掌握 XJ1630 输出衰减的作用及如何灵活使用它既能输出所需要大小的电压, 又能调节方便可靠。

表 1-3 不同“输出衰减”位置时输出电压登记表

XJ1630	“输出衰减”位置/dB	0	10	20	30	40	50	60	70	80
		输出计算值/mV								
	读取值/mV									
	“测量范围”位置									
相对误差										

3) 测量一个 $f=1.5\text{kHz}$ 、幅度为 1mV 的信号, XJ1630 各旋钮应置于何位置才能做到调节方便, 实验证明之。

将信号发生器输出电压调到 1V 位置, 然后将输出衰减开关分别置于 0dB、20dB、40dB、60dB 的位置, 用毫伏表测量其输出电压, 从 XJ1630 表头指示值与实际输出的关系, 体验并总结“输出衰减”的功能及其灵活应用。

总结毫伏表 DA16 精确读值的正确使用方法。

(2) 示波器的使用(以 YB4320 为例)

1) 示波器的调整。

示波器接通电源, 待预热后顺时针调节“辉度”旋钮, 将触发方式开关置“**AUTO**”, 并将 Y 轴、X 轴位移旋钮置中, 屏幕上显示出一条扫描基线, 调“**聚焦**”旋钮使基线细而清晰。

2)学习并掌握下列旋钮的作用。

调整 XJ1630 输出 2V、1kHz 信号作为示波器输入信号。调节示波器有关旋钮使屏幕上显示出清晰而稳定、幅度为 4 格的 3 个完整波形,按表 1-4 逐一了解各旋钮功能,注意每次动一个旋钮,动完后恢复原状,再动另一个旋钮。

3)用示波器测量信号幅度。

XJ1630 信号发生器输出频率 $f=1\text{kHz}$,表头指示为 4V。示波器“微调”旋钮至“校准”位置,适当改变 V/div 的位置,测试表 1-5 的内容。

表 1-4 各旋钮功能登记表

XJ1630	“输出衰减”位置		0dB	10dB	20dB	30dB	40dB
	实际输出计算值						
实际测量值							
V/div 位置							
U_{p-p} 值	格数						
	电压值						
换算成有效值							
相对误差							

注:表中结果记录能画波形的画波形,其余可简述。

表 1-5 示波器测量信号幅度登记表

旋转名称	屏幕显示结记录			功能分析
	逆时针旋	位置适中	顺时针旋	
↑↓				
←→				
KEVEL				
Time/div 细调				
V/div 细调				
V/div				
Time/div				

4)示波器测量信号周期及频率。

先校准“Time/div”灵敏度(扫描速度“微调”旋钮置“校准”位置),XJ1630 输出 2V。按表 1-6 记录。

表 1-6 示波器测量信号周期主频率登记表

信号频率/kHz		0.5	1	5	50	100	500	1 000
Time/div 位置								
一周期内水平格数								
周期	理论值							
	实测值							
信号频率								
相对误差								

5. 实验存储报告要求

- (1) 根据实验存储记录,列表整理、计算实验存储数据,描绘观察到的波形图。
- (2) 通过本实验存储总结如何正确使用示波器。

6. 思考题

- (1) YB4320 采用“高频”、“常态”、“自动”三种触发方式有什么区别? 通过实验对它们的操作特点及适用场合加以总结。
- (2) 预测一个 1kHz、1V 的信号,应选用何种仪表测量?

本章小结

1. 本征半导体

本征半导体是化学成分纯净的半导体。

2. 杂质半导体

在本征半导体中掺入某些微量元素作为杂质,可使半导体的导电性发生显著变化。掺入的杂质主要是 3 价或 5 价元素。掺入杂质的本征半导体称为杂质半导体。

3. PN 结的单向导电性

PN 结具有单向导电性,若外加电压使电流从 P 区流到 N 区,PN 结呈低阻性,所以电流大;反之呈高阻性,电流小。

4. 二极管的主要参数

半导体二极管的参数包括最大整流电流 I_F 、反向击穿电压 U_{BR} 、最大反向工作电压 U_{RM} 、反向电流 I_R 、最高工作频率 f_{max} 和结电容 C_j 等。

本章习题

1-1 填空题

- (1) 在杂质半导体中,多数载流子的浓度主要取决于掺入的_____,而少数载流子的浓度则与_____有很大关系。
- (2) 当PN结外加正向电压时,扩散电流_____漂移电流,耗尽层_____。当外加反向电压时,扩散电流_____漂移电流,耗尽层_____。
- (3) 在N型半导体中,_____为多数载流子,_____为少数载流子。
- (4) 半导体二极管当正偏时,势垒区_____,扩散电流_____漂移电流。
- (5) 在常温下,硅二极管的门限电压约_____V,导通后在较大电流下的正向压降约_____V;锗二极管的门限电压约_____V,导通后在较大电流下的正向压降约_____V。

1-2 判断题

- (1) 由于P型半导体中含有大量空穴载流子,N型半导体中含有大量电子载流子,所以P型半导体带正电,N型半导体带负电。()
- (2) 在N型半导体中,掺入高浓度3价元素杂质,可以改为P型半导体。()
- (3) 扩散电流是由半导体的杂质浓度引起的,即杂质浓度大,扩散电流大;杂质浓度小,扩散电流小。()
- (4) 本征激发过程中,当激发与复合处于动态平衡时,两种作用相互抵消,激发与复合停止。()
- (5) PN结在无光照无外加电压时,结电流为零。()

1-3 选择题

- (1) 二极管加正向电压时,其正向电流是由()。
- A. 多数载流子扩散形成 B. 多数载流子漂移形成
C. 少数载流子漂移形成 D. 少数载流子扩散形成
- (2) PN结反向偏置电压的数值增大,但小于击穿电压,()。
- A. 其反向电流增大 B. 其反向电流减小
C. 其反向电流基本不变 D. 其正向电流增大
- (3) 稳压二极管是利用PN结的()。
- A. 单向导电性 B. 反偏截止特性
C. 电容特性 D. 反向击穿特性
- (4) 二极管的反向饱和电流在 20°C 时是 $5\mu\text{A}$,温度每升高 10°C ,其反向饱和电流增大一倍,当温度为 40°C 时,反向饱和电流值为()。
- A. $10\mu\text{A}$ B. $15\mu\text{A}$ C. $20\mu\text{A}$ D. $40\mu\text{A}$

(5)变容二极管在电路中使用,其 PN 结是()。

- A. 正向运用
- B. 反向运用

1-4 简答题

- (1)PN 结的伏安特性有何特点?
- (2)什么是 PN 结的反向击穿? PN 结的反向击穿有哪几种类型? 各有何特点?
- (3)PN 结电容是怎样形成的? 和普通电容相比有什么区别?
- (4)温度对二极管的正向特性影响小,对其反向特性影响大,这是为什么?
- (5)能否将 1.5V 的干电池以正向接法接到二极管两端? 为什么?

1-5 计算题

(1)试用电流方程式计算室温下正向电压为 0.26V 和反向电压为 1V 时的二极管电流。

(设 $I_s = 10\mu A$)

(2)写出如图 1-20 所示各电路的输出电压值,设二极管均为理想二极管。

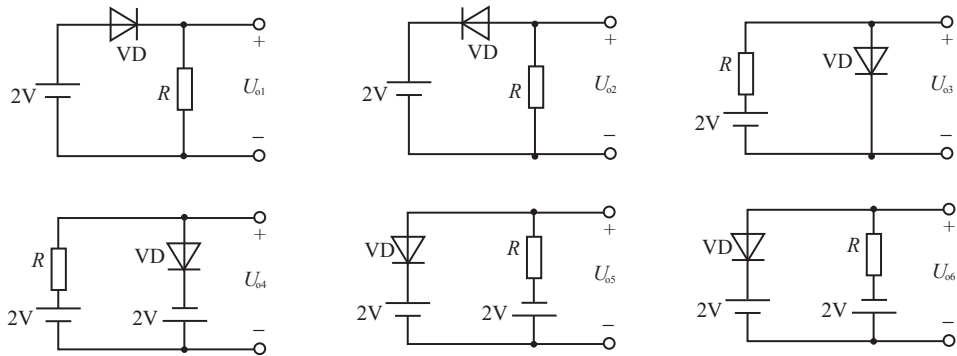


图 1-20 习题 1-5(2)图

(3)已知稳压管的稳压值 $U_z = 6V$, 稳定电流的最小值 $I_{zmin} = 5mA$ 。求图 1-21 所示电路中 U_{O1} 和 U_{O2} 各为多少伏。

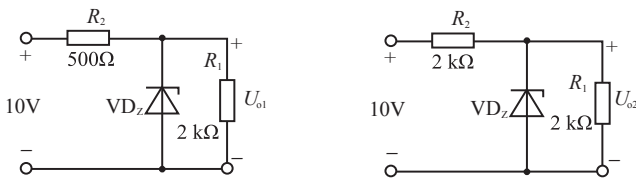


图 1-21 习题 1-5(3)图

