

电子 技术

庄效桓 李燕民 梁 森 刘蕴陶 编

北京理工大学出版社

TN01

Z92

电子技术

庄效桓 李燕民 编
梁 森 刘蕴陶

北京理工大学出版社

EA17/04

内 容 简 介

本书是根据高等工科学校电工学课程教学指导小组审定的《电子技术》课程教学基本要求编写的,全书共八章。内容有半导体器件及特性,交流放大电路,集成运算放大器,直流稳压电源,数字逻辑基础,逻辑门电路,组合逻辑电路和时序逻辑电路。

本书是作者在北京理工大学多年从事电工学教学的基础上编写的。本书内容丰富,叙述详尽,概念清楚,通俗易懂,便于自学。在内容上除满足课程教学基本要求外,还适当加深和拓宽了一些知识,因此适用的专业面广。

本书可作为高等工科院校非电类专业本科生学习电子技术的教科书或参考书,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术/庄效桓等编. —北京:北京理工大学出版社, 1996
ISBN 7-81045-108-1

I. 电… I. 庄… I. 电子技术—高等学校—教材 IV. TN01
中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 00705 号

北京理工大学出版社出版发行

(北京市海淀区白石桥路 7 号)

(邮政编码 100081)

各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 毫米 32 开本 15.625 印张 342 千字

1996 年 4 月第一版 1996 年 4 月第一次印刷

印数: 1—5000 册 定价: 19.50 元

※图书印装有误,可随时与我社退换※

前 言

“电工学”是为高等工业学校理工科非电类专业开设的一门技术基础课。这门课内容涵盖面广，内容多、学时少的矛盾比较突出。编写一套既适合我国国情、适应科学技术发展，又能满足教学基本要求的“电工学”教材是我们长久以来的愿望。为此，我们组织部分教师，根据多年教学实践的体会，认真学习，吸收了兄弟院校的宝贵经验，编写出了这套教材。

这套教材是根据国家教委电工学课程指导小组审定的“电工学”课程教学基本要求编写的。在编写过程中注意贯彻了如下的指导思想：

第一、精选内容，确保教学基本内容。“电工学”是高等工科大学非电类专业教学计划中唯一的一门电类技术基础课，其主要内容包括电路基础、电机与控制、电子技术和电工测量、安全用电。课程的任务是使学生获得电工和电子技术方面的基本理论、基本知识和基本技能，为学习有关的后续课程和从事工程技术工作在“电”的方面打下初步基础。所以本教材注意贯彻“少而精”的原则，重视对基本内容、基本概念、基本原理和基本方法的阐述。这也是本课程的重点内容，请读者在学习中有注意掌握好。

第二、增加必要的新知识、新技术，力求内容丰富。电工、电子技术飞速发展；日新月异。为了适应这种形势，本教材删除或削弱了部分相对陈旧的内容，适当增加了一些新内容。如电路基础部分中的受控源，双口网络；电机与控制部分中的可编程序控制器；电子技术中的中、大规模集成电路的应用等。我们希望通过这些内容的学习，能够进一步开阅读者的视野，了解电工、电子技术的发展。

第三、注重实践。对于从事工程技术的人员来说，学习的目的不仅仅是为了认识世界，更重要的是要用所学到的知识去改造世界。为此本教材注意理论联系实际。在概念的阐述上尽量避免繁琐的理论推导，注意概念的说明及工程计算。如在电机、电器部分注重使用方法及实用技术。在电子技术中注意器件的外部功能、特性及实用电路的介绍等等。

还应说明的是，本教材中有一部分是加深加宽的内容，教师可根据教学要求及学时选讲。

本教材分为《电工技术》（上、下册）和《电子技术》。《电工技术》上册由王宏甫（第三、四、五章）和张振玲（第一、二、六章）编写；下册由谢铭（第七、八、九、十、十一章）和谢冠虹（第十二、十三、十四章）编写。《电子技术》由庄效桓（第一、二章）、李燕民（第三、四章）、梁森（第五、六、七章）、刘蕴陶（第八、九章）编写。《电工技术》（上、下册）由北京理工大学黄孝和教授审稿、《电子技术》由北京理工大学成人教育学院钟治汉副教授审稿。他们认真审查了全部书稿，提出了许多宝贵的意见，并写出了评审意见。对此，我们表示衷心的感谢！

热忱欢迎广大读者、老师和同学对教材的缺点、错误和不足之处提出批评意见。谢谢！

北京理工大学电工教研室

1995.7

目 录

第一章 半导体二极管、三极管和场效应管	(1)
1.1 PN 结的形成和特性	(1)
1.1.1 半导体的导电特性	(1)
1.1.2 PN 结的形成	(5)
1.1.3 PN 结的特性	(6)
1.2 半导体二极管	(9)
1.2.1 二极管的基本结构	(9)
1.2.2 二极管的伏安特性	(10)
1.2.3 二极管的主要参数	(13)
1.2.4 二极管应用举例	(13)
1.3 硅稳压管	(17)
1.3.1 硅稳压管的伏安特性	(17)
1.3.2 硅稳压管的主要参数	(18)
1.4 半导体三极管	(21)
1.4.1 三极管的结构、分类和符号	(21)
1.4.2 三极管的电流控制作用	(22)
1.4.3 三极管的特性曲线	(24)
1.4.4 三极管的主要参数	(26)
1.5 绝缘栅场效应管	(29)
1.5.1 N 沟道增强型绝缘栅场效应管	(29)
1.5.2 N 沟道耗尽型绝缘栅场效应管	(33)
1.5.3 P 沟道绝缘栅场效应管 (PMOS)	(35)
1.5.4 绝缘栅场效应管的主要参数	(36)
习题	(37)
第二章 交流放大电路	(41)
2.1 基本交流放大电路	(41)
2.1.1 基本交流放大电路的组成	(41)

2.1.2	静态分析	(43)
2.1.3	动态分析	(46)
2.2	工作点稳定的放大电路	(62)
2.2.1	温度对静态工作点的影响	(62)
2.2.2	分压式偏置电路	(64)
2.3	阻容耦合多级放大电路及其频率特性	(69)
2.3.1	阻容耦合多级放大电路	(69)
2.3.2	阻容耦合放大电路的频率特性	(72)
2.4	射极输出器	(77)
2.4.1	静态分析	(77)
2.4.2	动态分析	(78)
2.4.3	射极输出器的应用	(81)
2.5	功率放大电路	(83)
2.5.1	功率放大电路的三种工作状态	(85)
2.5.2	互补对称功率放大电路	(86)
2.5.3	集成功率放大电路简介	(94)
2.6	场效应管放大电路	(98)
2.6.1	场效应管共源极放大电路	(98)
2.6.2	场效应管源极输出器	(101)
	习题	(104)
第三章	集成运算放大器	(112)
3.1	集成运算放大器简介	(112)
3.1.1	集成运放的特点	(113)
3.1.2	集成运放的电路结构	(113)
3.2	差动放大器	(115)
3.2.1	直接耦合方式及其存在的问题	(115)
3.2.2	典型差动放大器的分析	(116)
3.2.3	差动放大电路输入、输出的联接方式	(122)
3.2.4	差动放大器的性能改进	(126)
3.3	集成运算放大器的分类和参数	(128)
3.3.1	集成运放的分类	(128)
3.3.2	集成运放的主要参数	(130)

3.3.3	运算放大器的理想化模型	(132)
3.3.4	运算放大器的电压传输特性及其特点	(132)
3.4	运算放大器的三种基本运算电路	(134)
3.4.1	反相比例运算电路	(134)
3.4.2	同相比例运算电路	(136)
3.4.3	差动比例运算电路	(138)
3.5	放大电路中的负反馈	(140)
3.5.1	反馈的基本概念	(140)
3.5.2	负反馈的类型及其判别	(143)
3.5.3	负反馈对放大器性能的影响	(152)
3.6	集成运放在模拟运算方面的应用	(158)
3.6.1	加法和减法运算电路	(158)
3.6.2	微分和积分运算电路	(163)
* 3.6.3	对数和反对数运算电路	(169)
* 3.6.4	乘法和除法运算电路	(170)
3.7	集成运放在信号处理方面的应用	(173)
3.7.1	有源滤波电路	(174)
3.7.2	采样保持电路	(180)
3.7.3	电压比较器	(181)
3.8	集成运放在信号产生方面的应用	(196)
3.8.1	正弦信号发生器	(196)
3.8.2	方波发生器	(200)
3.8.3	三角波发生器	(202)
3.8.4	锯齿波发生器	(204)
3.9	集成运放应用中的几个问题	(206)
3.9.1	调零与消振	(206)
3.9.2	运放的保护	(208)
习题		(209)
第四章	直流稳压电源	(217)
4.1	单相桥式整流电路	(217)
4.1.1	工作原理	(218)
4.1.2	电压、电流的计算	(219)

4.1.3	桥式整流电路的特点	(220)
4.1.4	几种单相整流电路的比较	(221)
4.2	滤波电路	(222)
4.2.1	电容滤波电路	(223)
4.2.2	电感滤波电路	(225)
4.2.3	复式滤波电路	(227)
4.3	硅稳压管稳压电路	(228)
4.3.1	稳压管稳压电路的工作原理	(229)
4.3.2	稳压电路的设计原则	(230)
4.4	串联型晶体管稳压电路	(231)
4.4.1	具有放大环节的串联型晶体管稳压电路	(231)
4.4.2	串联型稳压电源的改进电路	(233)
4.5	集成稳压电源	(236)
4.5.1	三端集成稳压器的结构和参数	(236)
4.5.2	三端集成稳压器的应用	(238)
4.5.3	集成稳压器的其它类型	(240)
4.6	开关型稳压电路	(240)
4.6.1	串联开关型稳压电源的工作原理	(241)
4.6.2	开关型稳压电源的分类	(242)
4.7	可控整流型直流稳压电路	(243)
4.7.1	晶闸管简介	(243)
4.7.2	单相半控桥式整流电路	(248)
4.7.3	晶闸管的保护	(251)
4.7.4	单结晶体管触发电路	(253)
4.7.5	晶闸管电路的应用	(257)
	习题	(259)
第五章	数字逻辑基础	(263)
5.1	脉冲信号及其参数	(264)
5.2	数字系统中数的表示方法	(265)
5.2.1	数制与码制	(265)
5.2.2	不同数制之间的相互转换	(267)
5.2.3	二—十进制编码	(270)

5.3 逻辑代数.....	(272)
5.3.1 三种基本逻辑关系.....	(272)
5.3.2 逻辑代数的基本运算规则及定理.....	(276)
5.3.3 逻辑函数的表示法.....	(280)
5.3.4 逻辑函数的化简.....	(286)
习题	(294)
第六章 逻辑门电路	(297)
6.1 晶体管的开关作用.....	(297)
6.1.1 二极管开关电路.....	(297)
6.1.2 晶体管开关电路.....	(299)
6.1.3 场效应管开关电路.....	(302)
6.2 基本逻辑门电路.....	(303)
6.2.1 分立元件门电路简介.....	(303)
6.2.2 复合门电路.....	(305)
6.3 TTL 集成门电路	(306)
6.3.1 TTL 与非门的基本原理	(306)
6.3.2 TTL 与非门的特性及参数	(308)
6.3.3 TTL 与非门组件及应用	(313)
6.4 其他类型的 TTL 与非门电路	(317)
6.4.1 集电极开路的与非门 (OC 门)	(317)
6.4.2 三态输出与非门 (TSL 门)	(318)
6.5 MOS 门电路	(321)
6.5.1 NMOS 门电路	(321)
6.5.2 CMOS 门电路.....	(324)
6.6 TTL 与 CMOS 电路的连接	(326)
习题	(327)
第七章 组合逻辑电路	(331)
7.1 组合逻辑电路的分析.....	(331)
7.2 组合逻辑电路的设计.....	(334)
7.3 常用数字集成组合逻辑电路.....	(338)
7.3.1 编码器.....	(338)
7.3.2 译码器.....	(342)

7.3.3	加法器	(350)
7.3.4	数值比较器	(354)
7.3.5	数据选择器和分配器	(357)
7.4	中规模组合逻辑部件的灵活应用	(359)
	习题	(363)
第八章	触发器和时序逻辑电路	(366)
8.1	双稳态触发器	(366)
8.1.1	基本 RS 触发器	(367)
8.1.2	同步 RS 触发器	(371)
8.1.3	触发方式	(374)
8.2	触发器按照逻辑功能分类	(374)
8.2.1	RS 触发器	(375)
8.2.2	D 触发器	(376)
8.2.3	JK 触发器	(377)
8.2.4	T 触发器和 T' 触发器	(380)
8.2.5	触发器逻辑功能的转换	(381)
8.3	主从型触发器和维持阻塞型触发器	(382)
8.3.1	主从型 JK 触发器	(382)
8.3.2	维持阻塞型 D 触发器	(384)
8.3.3	常用 TTL 集成触发器简介	(385)
8.3.4	集成触发器应用举例	(387)
8.4	寄存器	(390)
8.4.1	数码寄存器	(390)
8.4.2	移位寄存器	(391)
8.5	计数器	(397)
8.5.1	二进制加法计数器	(398)
8.5.2	十进制加法计数器	(402)
8.5.3	任意进制加法计数器	(406)
8.5.4	中规模集成计数器	(408)
	习题	(414)
第九章	常用中规模及大规模数字集成电路	(423)
9.1	集成 555 定时器	(423)

9.1.1	集成 555 定时器的工作原理	(423)
9.1.2	应用电路举例	(425)
9.2	数—模及模—数转换	(433)
9.2.1	DAC	(434)
9.2.2	ADC	(441)
9.3	半导体存储器	(445)
9.3.1	只读存储器	(445)
9.3.2	读写存储器 (RAM)	(449)
9.4	可编程逻辑器件 PLD	(451)
9.4.1	可编程阵列逻辑 (PAL)	(454)
9.4.2	通用逻辑阵列 (GAL)	(458)
习题		(460)
附录		(463)
附录一		(463)
附录二		(465)
附录三		(476)
附录四		(478)
附录五		(483)
参考文献		(485)

第一章 半导体二极管、三极管和场效应管

在分立元件电路和集成电路中，半导体二极管、三极管和场效应管都是最常用的半导体器件。掌握这些半导体器件的特性是学习电子电路的基础。而PN结又是这些半导体器件的共同组成部分。因此本章首先介绍PN结的形成和特性，然后介绍半导体二极管、三极管和场效应管的基本结构、工作原理、特性及参数。

1.1 PN结的形成和特性

1.1.1 半导体的导电特性

一、本征半导体

自然界中属于半导体的物质有很多种，但用来制造半导体器件的材料目前主要是硅和锗。它们都是四价元素，外层有四个价电子，其原子结构简图如图1.1-1所示。用硅或锗制造半导体器件必须先形成单晶，我们把纯净的没有结构缺陷的半导体单晶称为本征半导体。

硅或锗形成晶体后，每个原子外层的四个价电子都与邻近的原子形成共价键结构，图1.1-2是硅（或锗）晶体共价键结构示意图。

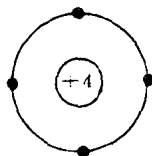


图 1.1-1 硅(或锗)的原子结构简图

在绝对温度零度 ($t = -273.15^{\circ}\text{C}$) 和没有外界激发时，共价键中的价电子都不能挣脱共价键的束缚，这时本征半导体中没有可以自由移动的载流子，是不导电的。但在常温下（一般指 $t = 25^{\circ}\text{C}$ ），原子处于不停的热运

动之中，极少数的某些电子就可能获得足够的能量，挣脱共价键的束缚成为自由电子。每当有一个电子脱离共价键时就会在它原来的位置上留下一个空位，我们把这个空位称为空穴。可见，在本征半导体中电子和空穴总是成对出现的，如图1.1-3所示。由于原子原来为电中性，空穴是由原子失去了带负电的价电子后形成的，所以可认为空穴带正电，而且所带电量与电子相等。我们把本征半导体由于受热而产生电子空穴对的现象叫做本征激发。本征激发与温度有密切关系，温度越高所产生的电子空穴对就越多。

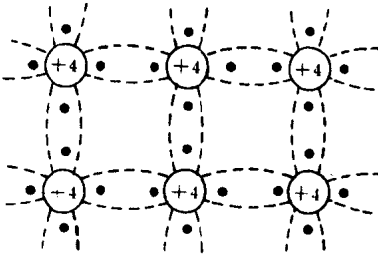


图 1.1-2 硅(或锗)的共价键结构

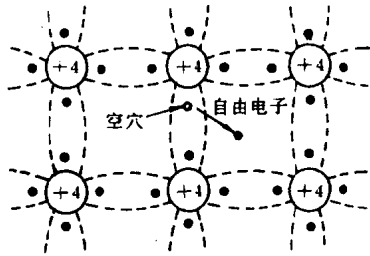


图 1.1-3 自由电子和空穴的形成

当半导体两端有外加电压时，会在半导体中产生电场，其内的自由电子便逆着电场方向定向运动形成电子电流。同时，由于空穴的存在，共价键中的束缚电子也会逆着电场方向依次填补空穴形成电流，如图1.1-4所示。所以束缚电子也能导电，但其导电方式与自由电子不同，束缚电子不能脱离共价键，它只能从一个位置移到邻近共价

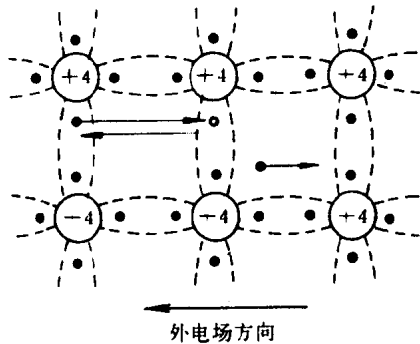


图 1.1-4 自由电子和空穴的移动

键中的一个空穴上，如果没有空穴，束缚电子就不能移动，因此束缚电子的导电能力不是取决于束缚电子的数目，而是取决于空穴的多少。空穴越多，能够依次移动填补空穴的束缚电子越多，形成的电流也越大。所以用空穴移动来表示共价键中束缚电子的移动更为确切。束缚电子逆着电场方向移动所产生的电流可以看成是空穴顺着电场方向移动产生的电流，把这种导电方式称为空穴导电。可见在半导体中有自由电子（以下简称电子）和空穴两种载流子，这是半导体区别于金属导体的一个重要特点。

在热运动过程中，某些自由电子也可能填补空穴，这样自由电子和空穴会成对消失，把这种现象叫做复合。实际上半导体内的电子和空穴是不断地产生，又不断地复合。在一定的温度下，产生和复合达到动态平衡，半导体中的载流子便维持一定的数目。

本征半导体的导电能力很低，通常用掺入杂质的方法提高其导电能力。

二、杂质半导体

在本征半导体中掺入微量的杂质就形成杂质半导体。根据掺入杂质的不同，杂质半导体可以分为两大类。

1. N 型半导体 在硅（或锗）的晶体中掺入少量的五价元素，如磷（或砷、锑），这时整个晶体结构不变，只是某些位置上的硅原子被磷原子所取代。磷原子有五个价电子，因此它以四个价电子与周围相邻的四个硅原子组成共价键后，还多余一个价电子，这个价电子不受共价键的束缚，只要获得较小的能量就能挣脱磷原子核的束缚成为自由电子，如图1.1-5所示。在常温下，几乎每个磷原子的多余价电子都能变成自由电子，失去一个

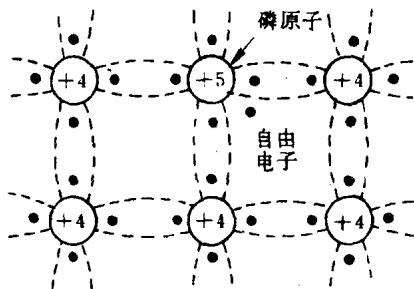


图 1.1-5 硅晶体中掺磷提供自由电子

价电子后的磷原子便成为带正电的离子，被称为施主正离子。

虽然在半导体中掺入杂质的数量极微，但对半导体的导电性能却有很大的影响。例如，在

一立方厘米硅中约有 5×10^{22} 个硅原子，室温下本征激发所产生的电子，空穴对约为 1.48×10^{10} 对，如果掺入百万分之一的磷，即在一立方厘米硅中

掺入 $5 \times 10^{22} \times 10^{-6} = 5 \times 10^{16}$ 个磷原子，就可以提供 5×10^{16} 个自由电子，与原来由本

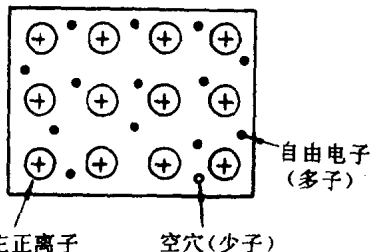


图 1.1-6 N 型半导体

征激发产生的载流子相比增加了一百七十万倍，因而导电能力大大增强。另一方面，由于自由电子的增多，增加了空穴与自由电子复合的机会，原来由本征激发产生的少量空穴又进一步减少，所以在掺入五价元素的杂质半导体中，电子是多数载流子，空穴是少数载流子。这种杂质半导体称为 N 型半导体，如图 1.1-6 所示。

2. P 型半导体 在纯净的硅（或锗）中掺入少量的三价元素，如硼（或铝、镓等），某些硅原子就会被硼原子所取代，硼原子外层有三个价电子，当它与周围四个相邻的硅原子组成共价键时还缺少一个价电子，因而留下了一个空位。邻近共价键中的价电子在热运动过程中只要获得较小的能量就能填补这个空位，而在该价电子原来的位置上形成一个空穴，如图 1.1-7 所示。所以，硼原子在接受一个电子后就会提供一个空穴，本身就成为负离子，我们将它称为受主负离子。

掺入的硼原子提供了大量的空穴，使得由本征激发产生的少数电子增加了复合的机会，其数量进一步减少。所以这种杂质半导体中，空穴是多数载流子，电子是少数载流子，把它称为 P 型半导体，如图 1.1-8 所示。

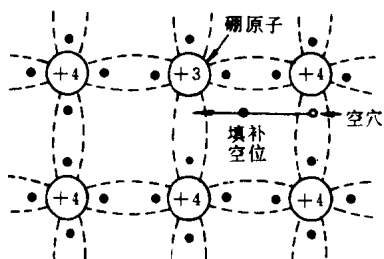


图 1.1-7 硅晶体中掺硼提供空穴

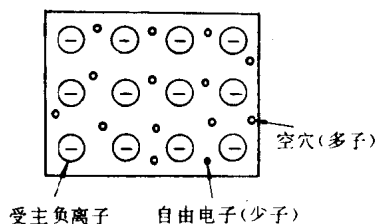


图 1.1-8 P型半导体

1.1.2 PN 结的形成

用专门的制造工艺在同一块半导体单晶上形成 P 型半导体和 N 型半导体，在两种半导体的交界处就会形成 PN 结。

在上述两种半导体的交界处，由于 P 区空穴浓度比 N 区大，因而 P 区的空穴向 N 区扩散，扩散到 N 区后与电子复合；N 区电子浓度比 P 区大，因而 N 区的电子也要向 P 区扩散，扩散到 P 区后与空穴复合。这样在 P 区一侧减少了空穴，出现了带负电的受主离子。而在 N 区一侧因缺少电子出现了带正电的离子。这些离子虽然带电但不能移动，被称为空间电荷。

随着扩散的进行，交界面两侧的空间电荷逐渐增厚形成一个空间电荷区，这个空间电荷区就叫做 PN 结，如图 1.1-9 所示。

因交界面两侧的空间电荷区一边带正电，另一边带负电，在空间电荷区内就会形成一个电场，其方向

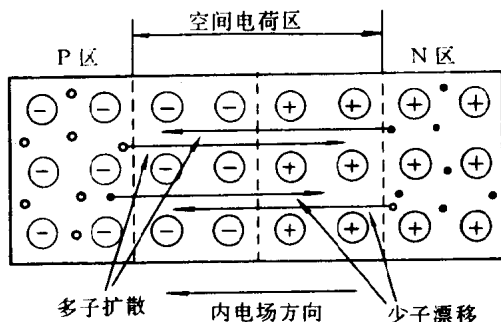


图 1.1-9 PN 结的形成