



面向 21 世纪 课 程 教 材
Textbook Series for 21st Century

电 工 学

下 册

电子技术 (第五版)

秦曾煌 主编



高 等 教 育 出 版 社
HIGHER EDUCATION PRESS

面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

电 工 学

下 册

电子技术 (第五版)

秦曾煌 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

(京) 112 号

内容简介

本书是教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果,是面向 21 世纪课程教材和教育部工科电工学“九五”规划教材。本书(第五版)主要是根据教育部(前国家教育委员会)1995 年颁发的高等工业学校“电工技术(电工学 I)”和“电子技术(电工学 II)”两门课程的教学基本要求修订的。全书分上、下两册出版。上册是电工技术部分;下册是电子技术部分。各章均附有习题。另编有《电工学学习指导》(第二版),作为与本书配套的教学参考书。本书可作为高等学校非电类专业上述两门课程的教材,也可供其他工科专业选用和社会读者阅读。

本书(第五版)由大连理工大学唐介教授和哈尔滨工程大学张保郁教授审阅。

本书第三版于 1987 年获全国优秀教材奖,第四版于 1997 年获国家级教学成果二等奖和国家级科学技术进步奖三等奖。

图书在版编目(CIP)数据

电工学 下册:电子技术/秦曾煌主编.—5 版.—北京:
高等教育出版社,1999

ISBN 7-04-007421-4

I. 电… II. 秦… III. ①电工学②电子技术 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 07862 号

电工学 下册 电子技术(第五版)

秦曾煌 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

印 刷 中国科学院印刷厂

纸张供应 山东高唐纸业集团总公司

版 次 1964 年 12 月第 1 版

开 本 787×960 1/16

版 次 1999 年 9 月第 5 版

印 张 24.75

印 次 1999 年 9 月第 1 次印刷

字 数 460 000

定 价 25.90 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等
质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究



面向 21 世纪课程教材



普通高等教育“九五”
国家级重点教材

11050/11

责任编辑	胡淑华
封面设计	于文燕
责任绘图	李维平
版式设计	马静如
责任校对	王超
责任印制	宋克学

目 录

下册 电子技术

第 15 章 半导体二极管和三极管	(3)
15.1 半导体的导电特性	(3)
15.1.1 本征半导体	(3)
15.1.2 N 型半导体和 P 型半导体	(5)
15.2 PN 结	(7)
15.2.1 PN 结的形成	(7)
15.2.2 PN 结的单向导电性	(8)
15.3 半导体二极管	(10)
15.3.1 基本结构	(10)
15.3.2 伏安特性	(10)
15.3.3 主要参数	(11)
15.4 稳压管	(13)
15.5 半导体三极管	(15)
15.5.1 基本结构	(15)
15.5.2 电流分配和放大原理	(16)
15.5.3 特性曲线	(19)
15.5.4 主要参数	(21)
习题	(25)
第 16 章 基本放大电路	(28)
16.1 基本放大电路的组成	(28)
16.2 放大电路的静态分析	(30)
16.2.1 用放大电路的直流通路确定静态值	(30)
16.2.2 用图解法确定静态值	(31)
16.3 放大电路的动态分析	(33)
16.3.1 微变等效电路法	(33)
16.3.2 图解法	(39)
16.4 静态工作点的稳定	(42)
16.5 射极输出器	(48)
16.5.1 静态分析	(49)
16.5.2 动态分析	(49)
16.6 放大电路中的负反馈	(52)
16.6.1 什么是放大电路中的负反馈	(52)
16.6.2 负反馈的类型	(53)

16.6.3 负反馈对放大电路工作性能的影响	(58)
16.7 放大电路的频率特性	(63)
16.8 多级放大电路及其级间耦合方式	(66)
16.8.1 阻容耦合	(66)
16.8.2 直接耦合	(69)
16.9 差动放大电路	(72)
16.9.1 差动放大电路的工作情况	(72)
16.9.2 典型差动放大电路	(74)
16.10 互补对称功率放大电路	(80)
16.10.1 对功率放大电路的基本要求	(81)
16.10.2 互补对称放大电路	(82)
16.11 场效应管及其放大电路	(87)
16.11.1 绝缘栅场效应管	(87)
*16.11.2 功率绝缘栅场效应管	(92)
16.11.3 场效应管放大电路	(93)
习题	(97)
第17章 集成运算放大器	(105)
17.1 集成运算放大器的简单介绍	(105)
17.1.1 集成运算放大器的特点	(105)
17.1.2 电路的简单说明	(106)
17.1.3 主要参数	(107)
17.1.4 理想运算放大器及其分析依据	(108)
17.2 运算放大器在信号运算方面的应用	(111)
17.2.1 比例运算	(111)
17.2.2 加法运算	(114)
17.2.3 减法运算	(115)
17.2.4 积分运算	(117)
17.2.5 微分运算	(118)
17.3 运算放大器在信号处理方面的应用	(120)
17.3.1 有源滤波器	(120)
17.3.2 采样保持电路	(123)
17.3.3 电压比较器	(124)
17.4 运算放大器在波形产生方面的应用	(127)
17.4.1 矩形波发生器	(127)
17.4.2 三角波发生器	(128)
17.4.3 锯齿波发生器	(129)
17.5 运算放大器在信号测量方面的应用	(130)
17.6 集成功率放大器	(131)
17.7 运算放大器电路中的负反馈	(132)
17.7.1 并联电压负反馈	(132)
17.7.2 串联电压负反馈	(133)

17.7.3 串联电流负反馈	(133)
17.7.4 并联电流负反馈	(134)
17.8 使用运算放大器应注意的几个问题	(136)
17.8.1 选用元件	(136)
17.8.2 消振	(136)
17.8.3 调零	(136)
17.8.4 保护	(137)
17.8.5 扩大输出电流	(137)
习题	(138)
第 18 章 正弦波振荡电路	(145)
18.1 自激振荡	(145)
18.2 RC 振荡电路	(147)
18.3 LC 振荡电路	(148)
18.3.1 工作原理	(148)
18.3.2 三点式振荡电路	(149)
习题	(151)
第 19 章 直流稳压电源	(154)
19.1 整流电路	(154)
19.1.1 单相半波整流电路	(154)
19.1.2 单相桥式整流电路	(156)
*19.1.3 三相桥式整流电路	(158)
19.2 滤波器	(163)
19.2.1 电容滤波器(C 滤波器)	(163)
19.2.2 电感电容滤波器(LC 滤波器)	(166)
19.2.3 π 形滤波器	(166)
19.3 直流稳压电源	(167)
19.3.1 稳压管稳压电路	(168)
19.3.2 恒压源	(169)
19.3.3 串联型稳压电路	(169)
19.3.4 集成稳压电源	(170)
习题	(173)
Δ第 20 章 晶闸管及其应用	(176)
20.1 晶闸管	(176)
20.1.1 基本结构	(176)
20.1.2 工作原理	(176)
20.1.3 伏安特性	(179)
20.1.4 主要参数	(180)
20.2 可控整流电路	(182)
20.2.1 单相半波可控整流电路	(182)
20.2.2 单相半控桥式整流电路	(185)
20.3 晶闸管的保护	(187)

20.3.1 晶闸管的过电流保护	(187)
20.3.2 晶闸管的过电压保护	(189)
20.4 单结晶体管触发电路	(189)
20.4.1 单结晶体管	(190)
20.4.2 单结晶体管触发电路	(192)
*20.5 晶闸管直流调速系统	(196)
20.5.1 反馈方式	(196)
20.5.2 调速系统实例	(198)
*20.6 晶闸管交流调压	(199)
*20.7 晶闸管逆变器	(201)
20.7.1 电压型单相桥式逆变电路	(201)
20.7.2 电压型三相桥式逆变电路	(202)
20.7.3 正弦波脉宽调制	(205)
习题	(205)
第 21 章 门电路和组合逻辑电路	(207)
21.1 脉冲信号	(207)
21.2 晶体管的开关作用	(208)
21.3 分立元件门电路	(212)
21.3.1 门电路的基本概念	(212)
21.3.2 二极管“与”门电路	(213)
21.3.3 二极管“或”门电路	(214)
21.3.4 晶体管“非”门电路	(215)
21.4 TTL 门电路	(217)
21.4.1 TTL“与非”门电路	(218)
21.4.2 三态输出“与非”门电路	(222)
*21.4.3 集电极开路“与非”门电路	(223)
21.5 MOS 门电路	(225)
21.5.1 NMOS 门电路	(225)
21.5.2 CMOS 门电路	(227)
21.6 逻辑代数	(230)
21.6.1 逻辑代数运算法则	(230)
21.6.2 逻辑函数的表示方法	(232)
21.6.3 逻辑函数的化简	(235)
21.7 组合逻辑电路的分析和综合	(239)
21.7.1 组合逻辑电路的分析	(239)
21.7.2 组合逻辑电路的综合	(241)
21.8 加法器	(245)
21.8.1 二进制	(246)
21.8.2 半加器	(247)
21.8.3 全加器	(248)
21.9 编码器	(249)

21.9.1	二进制编码器	(250)
21.9.2	二-十进制编码器	(251)
21.9.3	优先编码器	(252)
21.10	译码器和数字显示	(254)
21.10.1	二进制译码器	(254)
21.10.2	二-十进制显示译码器	(256)
△21.11	数据分配器和数据选择器	(259)
21.11.1	数据分配器	(259)
21.11.2	数据选择器	(261)
*21.12	应用举例	(263)
21.12.1	交通信号灯故障检测电路	(263)
21.12.2	故障报警电路	(264)
21.12.3	两地控制一灯的电路	(265)
21.12.4	水位检测电路	(266)
	习题	(266)
第 22 章	触发器和时序逻辑电路	(274)
22.1	双稳态触发器	(274)
22.1.1	RS 触发器	(274)
22.1.2	JK 触发器	(278)
22.1.3	D 触发器	(282)
*22.1.4	CMOS D 触发器	(283)
22.1.5	触发器逻辑功能的转换	(283)
22.2	寄存器	(285)
22.2.1	数码寄存器	(285)
22.2.2	移位寄存器	(285)
22.3	计数器	(289)
22.3.1	二进制计数器	(289)
22.3.2	十进制计数器	(294)
*22.3.3	环形计数器	(298)
*22.3.4	环形分配器	(299)
22.4	单稳态触发器	(300)
△22.4.1	CMOS 积分型单稳态触发器	(301)
22.4.2	由 555 集成定时器组成的单稳态触发器	(302)
22.5	多谐振荡器	(305)
△22.5.1	RC 环形多谐振荡器	(305)
22.5.2	由 555 集成定时器组成的多谐振荡器	(307)
*22.6	应用举例	(309)
22.6.1	优先裁决电路	(309)
22.6.2	冲床保安电路	(309)
22.6.3	数字钟	(310)
22.6.4	四人抢答电路	(312)

22.6.5 数字测速系统	(313)
22.6.6 温度控制电路	(313)
习题	(314)
第 23 章 存储器和可编程逻辑器件	(322)
23.1 只读存储器	(322)
23.1.1 ROM 的结构框图	(322)
23.1.2 ROM 的工作原理	(323)
23.1.3 ROM 的应用举例	(327)
23.2 随机存取存储器	(330)
23.2.1 RAM 的结构和工作原理	(330)
23.2.2 2114 静态 RAM	(331)
23.3 可编程逻辑器件	(333)
23.3.1 可编程只读存储器	(334)
23.3.2 可编程逻辑阵列	(339)
23.3.3 通用阵列逻辑	(340)
习题	(341)
第 24 章 模拟量和数字量的转换	(344)
24.1 数-模转换器	(344)
24.1.1 T 形电阻网络数-模转换器	(344)
24.1.2 数-模转换器的主要技术指标	(350)
24.2 模-数转换器	(350)
24.2.1 逐次逼近型模-数转换器	(350)
24.2.2 模-数转换器的主要技术指标	(355)
习题	(356)
附录	(357)
附录 A 半导体分立器件型号命名方法	(357)
附录 B 常用半导体分立器件的参数	(358)
附录 C 半导体集成电路型号命名方法	(363)
附录 D 常用半导体集成电路的参数和符号	(364)
附录 E TTL 门电路、触发器和计数器的部分品种型号	(365)
附录 F 电阻器标称阻值系列	(366)
部分习题答案	(367)
中英名词对照	(375)
参考文献	(382)

下 册

电 子 技 术

第 15 章 半导体二极管和三极管

半导体二极管和三极管是最常用的半导体器件。它们的基本结构、工作原理、特性和参数是学习电子技术和分析电子电路必不可少的基础,而 PN 结又是构成各种半导体器件的共同基础。因此,本章从讨论半导体的导电特性和 PN 结的基本原理(特别是它的单向导电性)开始,然后介绍二极管和三极管,为以后的学习打下基础。

15.1 半导体的导电特性

所谓半导体,顾名思义,就是它的导电能力介乎导体和绝缘体之间。如硅、锗、硒以及大多数金属氧化物和硫化物都是半导体。

很多半导体的导电能力在不同条件下有很大的差别。例如有些半导体(如钴、锰、镍等的氧化物)对温度的反应特别灵敏,环境温度增高时,它们的导电能力要增强很多。利用这种特性就做成了各种热敏电阻。又如有些半导体(如镉、铅等的硫化物与硒化物)受到光照时,它们的导电能力变得很强;当无光照时,又变得像绝缘体那样不导电。利用这种特性就做成了各种光敏电阻。

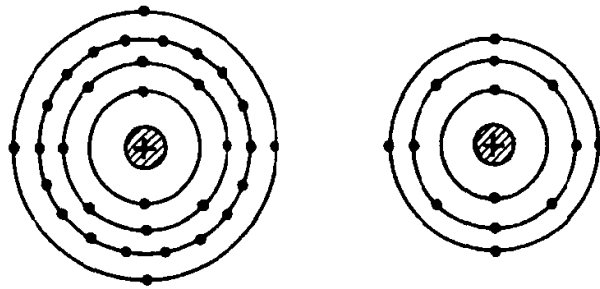
更重要的是,如果在纯净的半导体中掺入微量的某种杂质后,它的导电能力就可增加几十万乃至几百万倍。例如在纯硅中掺入百万分之一的硼后,硅的电阻率就从大约 $2 \times 10^3 \Omega \cdot \text{m}$ 减小到 $4 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{m}$ 左右。利用这种特性就做成了各种不同用途的半导体器件,如半导体二极管、三极管、场效应管及晶闸管等。

半导体何以有如此悬殊的导电特性呢?根本原因在于事物内部的特殊性。下面简单介绍一下半导体物质的内部结构和导电机理。

15.1.1 本征半导体

用得最多的半导体是锗和硅。图 15.1.1 是锗和硅的原子结构图,它们各有四个价电子,都是四价元素。将锗或硅材料提纯(去掉无用杂质)并形成单晶体后,所有原子便基本上整齐排列,其立体结构图与平面示意图分别如图 15.1.2 和图 15.1.3 所示。半导体一般都具有这种晶体结构,所以半导体也称为晶体,这就是晶体管名称的由来。

本征半导体就是完全纯净的、具有晶体结构的半导体。



(a) 锗 Ge (b) 硅 Si

图 15.1.1 锗和硅的原子结构

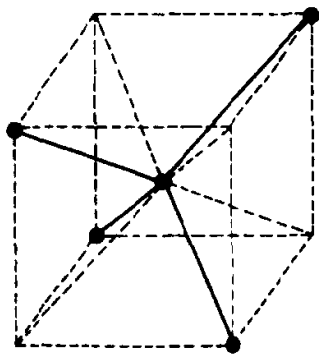


图 15.1.2 晶体中原子的排列方式

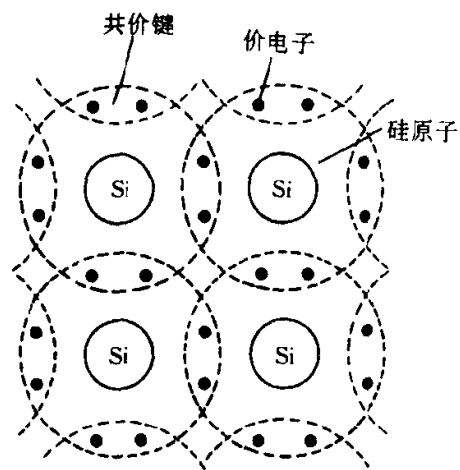


图 15.1.3 硅单晶中的共价键结构

在本征半导体的晶体结构中，每一个原子与相邻的四个原子结合。每一原子的一个价电子与另一原子的一个价电子组成一个电子对。这对价电子是每两个相邻原子共有的，它们把相邻的原子结合在一起，构成所谓共价键的结构。

在共价键结构中，原子最外层虽然具有八个电子而处于较为稳定的状态，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，在获得一定能量（温度增高或受光照）后，即可挣脱原子核的束缚（电子受到激发），成为自由电子。温度愈高，晶体中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。

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，如图15.1.4

所示。如此继续下去,就好像空穴在运动^①。而空穴运动的方向与价电子运动的方向相反,因此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:一是自由电子作定向运动所形成的电子电流,一是仍被原子核束缚的价电子(注意,不是自由电子)递补空穴所形成的空穴电流。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,也是半导体和金属在导电原理上的本质差别。

自由电子和空穴都称为载流子。

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~~。在一定温度下,载流子的产生和复合达到动态平衡,于是半导体中的载流子(自由电子和空穴)便维持一定数目。温度愈高,载流子数目愈多,导电性能也就愈好。所以,温度对半导体器件性能的影响很大。

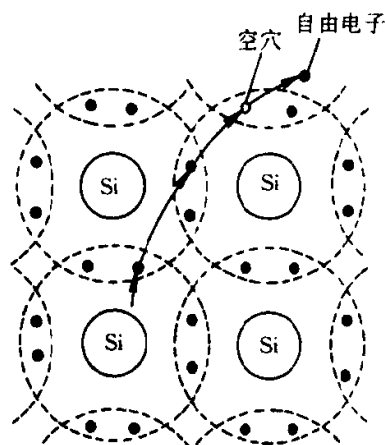


图 15.1.4 空穴和自由电子的形成

15.1.2 N 型半导体和 P 型半导体

本征半导体虽然有自由电子和空穴两种载流子,但由于数量极少,导电能力仍然很低。如果在其中掺入微量的杂质(某种元素),这将使掺杂后的半导体(杂质半导体)的导电性能大大增强。

由于掺入的杂质不同,杂质半导体可分为两大类。

一类是在硅或锗的晶体中掺入磷(或其他五价元素)。磷原子的最外层有五个价电子(图 15.1.5)。由于掺入硅晶体的磷原子数比硅原子数少得多,因此整个晶体结构基本上不变,只是某些位置上的硅原子被磷原子取代。磷原子参加共价键结构只需四个价电子,多余的第五个价电子很容易挣脱磷原子核的束缚而成为自由电子(图 15.1.6)^②。于是半导体中的自由电子数目大量增加,自由电子导电成为这种半导体的主要导电方式,故称它为电子半导体或 N 型半导体。例如在室温 27°C 时,每立方厘米纯净的硅晶体中约有自由电子或空穴

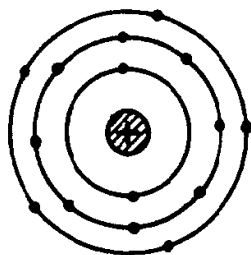


图 15.1.5 磷原子的结构

1.5×10^{10} 个,掺杂后成为 N 型半导体,其自由电子数目可增加几十万倍。由于自由电子增多而增加了复合的机会,空穴数目便减少到每立方厘米 2.3×10^5 个

① 这种情况好比剧场中前座的观众走了出现了空位,后座的观众移前递补空位,这就好像空位在向后移动一样。

② 磷原子失去一个电子而成为正离子。

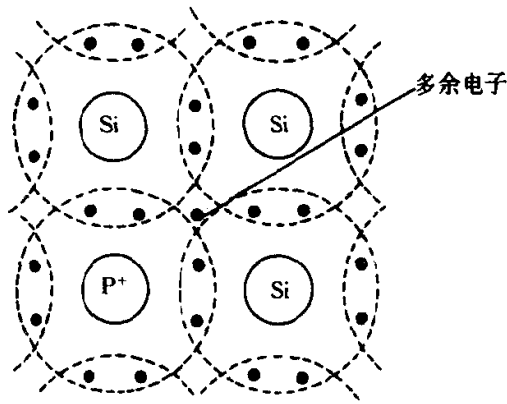


图 15.1.6 硅晶体中掺磷出现自由电子

以下。故在N型半导体中,自由电子是多数载流子,而空穴则是少数载流子。

另一类是在硅或锗晶体中掺入硼(或其他三价元素)。每个硼原子只有三个价电子(图 15.1.7),故在构成共价键结构时,将因缺少一个电子而产生一个空位。当相邻原子中的价电子受到热的或其他的激发获得能量时,就有可能填补这个空位,而在该相邻原子中便出现一个空穴(图 15.1.8)^①。每一个硼原子都能提供一个空穴,于是在半导体中就形成了大量空穴。这种以空穴导电作为主要导电方式的半导体称为空穴半导体或P型半导体,其中空穴是多数载流子,自由电子是少数载流子。

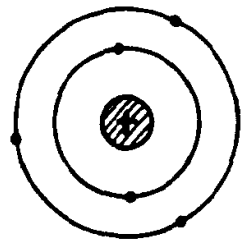


图 15.1.7 硼原子的结构

应注意,不论是N型半导体还是P型半导体,虽然它们都有一种载流子占多数,但是整个晶体仍然是不带电的。

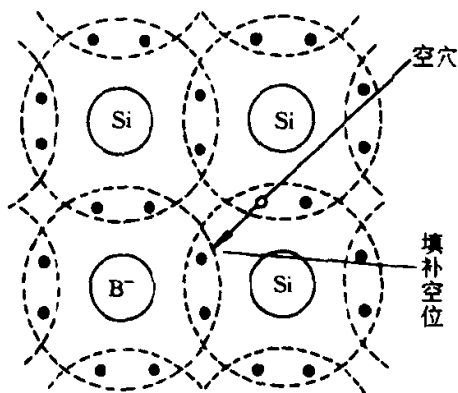


图 15.1.8 硅晶体中掺硼出现空穴

^① 硼原子得到一个电子而成为负离子。