

电子器件

从原理分析到故障检修及系统应用

〔美〕 Thomas I. Floyd 著

杨栈云 李世文

王俊惠 曾鸿祥

编译

电子器件

从原理分析到故障检修及系统应用

〔美〕 Thomas L. Floyd 著

杨栈云 李世文 编译
王俊惠 曾鸿祥



科学出版社

北京

图字：01-2006-5453 号

内 容 简 介

本书涵盖有关电子器件和电路的广泛知识,其中还包括故障检修和系统应用方面的知识。全书内容包括:半导体基础、二极管的应用、特殊用途二极管、双极型晶体管、晶体管偏压电路、BJT 放大器、场效应晶体管、FET 放大器、功率放大器、放大器频率响应、晶闸管与其他器件、运算放大器、基本运算放大器的应用、特殊用途运算放大器电路、主动滤波器、振荡器、通信电路、电压调整器、可编程模拟阵列等。本书结构合理,实例丰富,图文并茂。本书的叙述方式对读者有很高的阅读价值。

本书可供高等院校电子、自动化等专业师生参考阅读,亦可作为电子爱好者的参考书。

Simplified Chinese edition copyright © 2007 by SCIENCE PRESS and PEARSON EDUCATION NORTH ASIA LIMITED.

Original English language title: **Electronic Devices, 7th ed.** by Thomas L. Floyd, Copyright © 2005

ISBN: 0131140809

All Rights Reserved.

Published by arrangement with the original publisher, Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall, Inc.

This edition is authorized for sale only in the People's Republic of China (excluding the Special Administrative Region of Hong Kong and Macau).

本书封面印有 Pearson Education 出版集团激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

电子器件/(美)Thomas L. Floyd 著;杨棣云等编译. —北京:科学出版社,2007
ISBN 978-7-03-020317-5

I. 电… II. ①T…②杨… III. 电子元件 IV. TN6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 164288 号

责任编辑:岳亚东 刘晓融 / 责任制作:魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:郝晓燕

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

天时彩色印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 1 月第 一 版 开本:A4(890×1240)

2008 年 1 月第一次印刷 印张:37 1/2

印数:1—4 000 字数:1 375 000

定 价:80.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前言

电子器件(electronic device)第七版在经过细心地加工整理以及增加一些重要的新内容之后终于出版了。编审学者和热心的读者提出的许多建议,我们都纳入了这一版中,使得本版的内容更加充实。本书涵盖有关电子器件和电路的广泛知识,其中包括故障检修和系统应用。第1章~第11章主要介绍基本器件及电路。第12章~第18章主要介绍线性集成电路。第19章是新增加的一章,重点介绍可编程模拟器件(programmable analog device)。使用多层次仿真电路(Multisim)的练习与习题是为帮助学生验证电路理论以及故障检修和测量方面的技术而设计的。多层次仿真电路(Multisim)方面的参考线路,可在科学出版社网站(www.sciencep.com)上提供的可下载文件中找到。

本版新增内容

新的一章有关可编程模拟器件 第19章简单介绍现场可编程模拟阵列(field-programmable analog array, FPAA),以及如何编写程序。同时,也介绍开关式电容器电路,因为它们是 FPAA 技术的基础。

电路动作测验 电路动作测验是检验学生对影响电路特性的某些参数的变化的了解程度。已知其中一个参数的特定变化,由学生确定另一个或多个参数的影响结果(增加、减少、不变)。

涵盖更多的光学主题 介绍高强度的发光二极管(LED)及新加入的光纤章节。

新器件 有关差动放大器及绝缘栅双极晶体管(insulated gate bipolar transistor, IGBT)方面的内容也包括在内。

一般内容的改进 过时的器件已经更新。文章为了叙述得更清楚已经重新编写,为了使插图更清楚呈现或增加效果,在某些地方也加强了插图清晰度。

特点

- 每一章开头的两页安排有简介、学习目标、系统应用预习等栏目。
- 每章在每一节开头处,都有该节的内容简介和学习目标。
- 大量的例题,而且每道例题都有相关习题,让学生能够依照例题中的说明加以练习。相关习题的解答则放在每章的最后面。
- 对于精选例题、习题及故障检修章节都会在可下载文件中附有相关的 Multisim 模拟电路。
- 每章的最后都有每一节的复习题和解答。
- 大部分的章节都有专门的故障检修一节。
- 大部分的章节最后都有系统应用一节。
- 基本上每一章的最后都附有本章摘要、主要术语、重要公式、自我测验和电路动作测验等。
- 每章最后所附的习题,都按照章节内容分成基本习题和进阶习题两类。另外,有关故障检修的问题、资料表、系统应用和 Multisim 的故障检修问题也都可在许多章节中找到。

学生学习资源

学习网站(www.prenhall.com/floyd)为学生提供免费在线学习的功能,可从网络上检验对于主要术语的了解。

多层次模拟电路(Multisim®)的可下载文件,文件夹中包括 Multisim® 7 模拟电路的精选范例、故障检修章节的内容及精选习题。学生在电子电路的学习课程中会用到这些电路,这些电路可用 Multisim 软件、电路图读取、模拟以及应用可编程逻辑工具来产生。

Multisim 软件被广泛认为是一种最佳的电路模拟工具;然而,你使用的教科书并没有介绍 Multisim 软件。这些文件免费提供给消费者以及选用 Multisim 软件的任何人使用。

电子工作台(electronic workbench)的 Multisim7 教科书版(textbook edition of Multisim 7)已经为你的教科书中的电路例题给予“生动化”。这种教科书版软件能够让你利用例题文件夹中的电路做下列的事情:

- 操作互动作用的器件以及调整任何虚拟器件的大小值。
- 执行主动电路的互动模拟及预设的虚拟仪器。
- 执行分析工作。

■ 执行/列印/储存已经定义好的可观察到的电路模拟结果。

■ 你可以设计多达 15 个器件的电路。

Laboratory Exercises for Electronic Devices 第七版, 作者 Dave Buchla。ISBN: 0-13-114086-8。

Experiments in Electronic Devices 第七版, 作者 Howard Berlin, et al。ISBN: 0-13-114122-8。

电子学超级网站(www.prenhall.com/electronics) 学生可在网站内找到更多有关故障检修的习题, 还可链接到工业网站, 与电子学专家面对面的讨论问题; 其中还有更多其他的资源。

教师资源

教学网站(www.prenhall.com/floyd) 这个网站让教师能够利用 Syllabus Manager 功能, 将课程大纲公布在网站上。这是一种很棒的在线教学方式, 自我评价学习的进度, 可以采用任何计算机辅助教学的方式进行。

在提供给教师的多层次模拟电路文件, 还另外加上习题解答和错误的说明。由文件中的架构图, 你可以明白其中的文件阶层和文件的命名习惯。包含错误的电路文件, 必须输入密码才能打开, 这是为了确保只有老师才能看到文件内容。另外, 对于需要解答学生的电路问题, 也都提供有相关的答案文件, 也是需要输入密码, 只供老师读取内容。

Instructor's Resource Manual 包含每章习题的解答, 系统应用的答案和测验题文件。ISBN: 0-13-114087-6。

Lab Solutions Manual for Laboratory Exercises for Electronic Devices 作者 Buchia, 包括实验数据。ISBN: 0-13-191769-2。

Lab Solutions Manual for Experiments in Electronics Devices 作者 Berlin et al, 包括实验数据。ISBN: 0-13-191767-6。

电子学超级网站(www.prenhall.com/electronics) 老师可在网站上找到 *Prentice Hall Electronics Technology Journal* (《Prentice Hall 电子技术期刊》) 这本期刊里面有许多课堂资源, 而本书所有的补充数据都可从网络上取得。请与当地的 Prentice Hall 的销售人员联系, 取得上网所需的“用户名”(user name)和“密码”(passcode)。

在线教学资源 如果你的教学设备允许以远程教学方式讲授电子学的课程, 请联系当地 Prentice Hall 的销售人员, 取得教案产品的清单。

PowerPoint 光盘 包含可在上课教学时使用的本书所有图片和文字内容及 *Laboratory Exercises for Electronic Devices* 的投影片, 作者 Buchia, ISBN: 0-13-114085-X。

Prentice Hall 测验管理员(Prentice Hall TestGen) 这是超过 800 题的测验题库的光盘版。ISBN: 0-13-114084-1。

章节特点

每一章开端都特别安排两页篇幅的介绍。其中包括本章的编号和名称、简介、学习目标、系统应用预习。

每一节的开头都有简单的内容介绍和本节的学习目标。

每一节的结束都有该节内容的复习题, 在提出的问题中, 重点列出相关的重要概念。这些复习题的解答则附在每章的最后。

每章都有大量的例题, 详细说明基本概念和特殊的解题方法。每个例题后面都安排一道相关习题, 加强和扩大例题的效果, 要求学生按照类似的题型再完全自己做一遍。精选的例题附在可下载文件中, 有相关的 Multisim 的习题文件, 详细说明书中该例题的电路解说。相关习题的解答则列在每章的最后。

许多章内都包含故障检修一节, 内容与该章介绍的内容有关, 说明相关故障检修的过程和相关技术。

系统应用是放在每章最后一节的后面(除了第一章外)。其中说明本章中相关的电子器件和电路的实际应用。学生能够学习到如何应用这些特殊的电子器件和电路, 而且会要求学生对照实际的印制电路板, 说明电路原理及检修特殊的故障情况。这段系统应用是选读内容, 可依照教学情况跳过不讲授, 也不会影响到其他章节的教学。

虽然系统应用的内容并不是专门设计作为实验室的教案, 但是大部分的系统应用均采用实际的印制电路板和仪器的图片, 是很值得参考的。系统应用的解答可在 *Instructor's Resource Manual* 中找到。

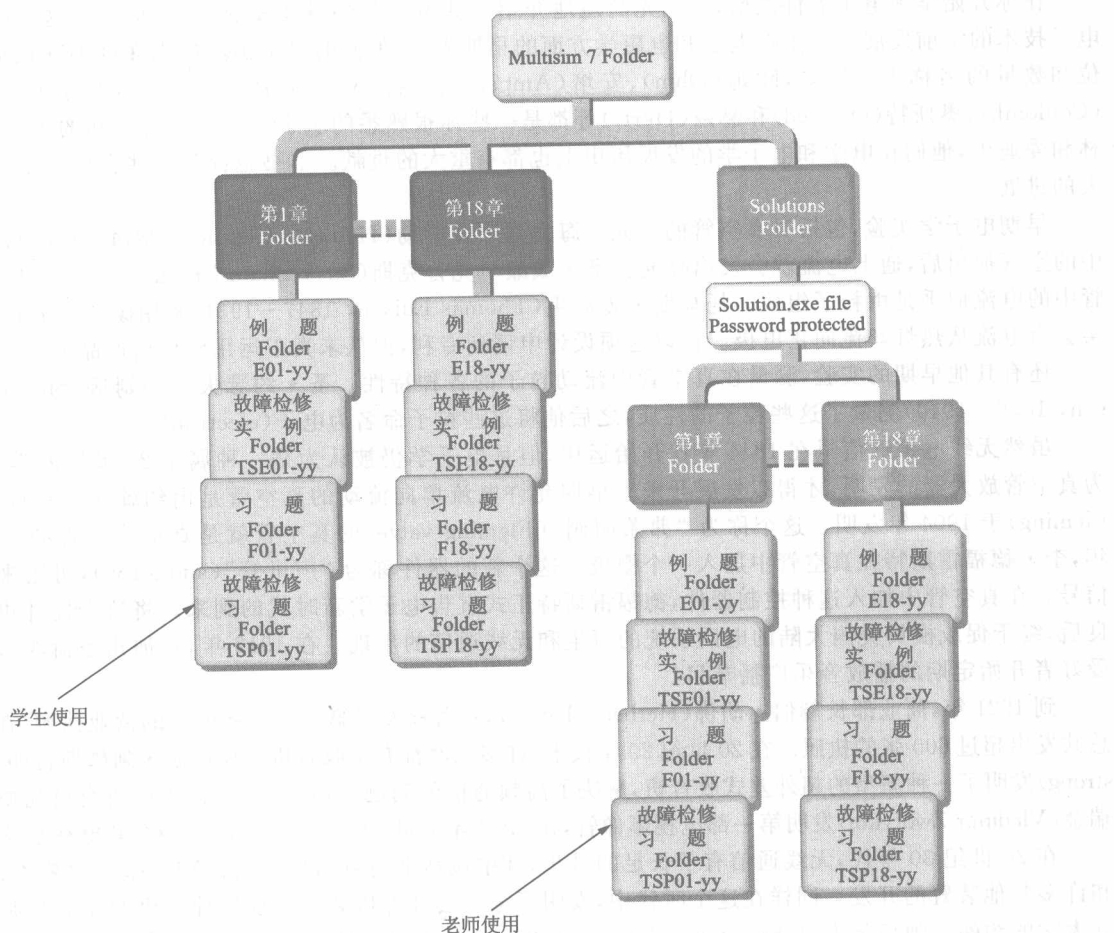
每章结束都会有下述教学的内容:

本章摘要。

主要术语。

重要公式。

电路动作测验。
 自我测验。
 基本习题。
 进阶习题。
 资料表习题(精选章节才有)。
 系统应用习题(许多章节都有)。
 故障检修习题(大部分章节都有)。
 每节复习题的解答。
 例题相关习题的解答。
 电路动作测验的解答。
 自我测验的解答。



如何使用本书

如前所述,本书的第1章~第11章介绍的是分散器件,第12章~第18章介绍的是集成电路,第19章是可编程模拟阵列。

建议案 1(学程分为两个学期) 第一个学期安排讲授第1章~第11章。依照个别的需要和教学重点,可选择性的授课。例如,如果晶闸管在以后的工业电子课程中会讲到,则可省略第11章。第二学期则可讲授第12章~第19章,同样地,必要时也可选择性授课。

建议案 2(学程为一个学期) 在缩减某些内容并且保持课程的严谨性下,这本书可于一学期内讲授完毕。例如,可以只选择第1章~第11章的分散器件和电路作为教材。同样地,可以选择第12章~第19章的线性集成电路作为教材。另外一种方法就是将分散器件和电路以及一些集成电路的内容(如只选择运算放大器),再加以浓缩后作为教材亦可。

给学生的话

有一句古话可以套用于学习本书上,当然也可用在日常的许多事物上。这句话就是:专心致志,有始

有终。

在学习某一章时,对于某一节的内容要先充分了解,然后再读下一节。仔细阅读每一章节和相关的说明,对于内容仔细思考,一步一步地理解范例的内容和步骤,解答每个相关习题并且核对答案是否正确,最后回答每节的复习题,并且与章末所附的解答进行核对。不要期望只读一遍就能透彻理解内容,你可能要读两遍甚至三遍以上。一旦你自认为已对内容充分理解后,再复习章末所附的内容摘要、重要公式表、主要术语等。然后做多选题的自我测验题。最后,做完所有章末所附的指定习题。做完这些习题是检验并加强你对内容的理解最有效的方法。在解题的过程中,你可以更深入地理解每一章的内容,而这些不是单单阅读每一章的内容或是在课堂上听课就能学到的知识。通常,你无法只依靠倾听别人的讲解,就能充分地理解某个术语或者工作步骤的真正意义。只有努力地学习和缜密地思考才能达到你所预期的学习效果。

电子学的里程碑

在你开始学习电子器件之前,我们先简短地介绍一些电子学的重要发展过程,也正是这些研究促使今日电子技术的空前发展。许多在电学和电磁学方面的早期先驱,他们的名字仍然出现在许多现在仍使用中的单位和数量的名称上。例如,欧姆(Ohm)、安培(Ampere)、伏特(Volta)、法拉第(Farad)、亨利(Henry)、库仑(Coulomb)、奥斯特(Oersted)和赫兹(Hertz)等都是你一些很熟悉的名字。最为人所熟知的名字,例如富兰克林和爱迪生,他们在电学和电子学的发展历史上也都有重大的贡献。本书也提到一些在电子学的发展史上重大的进展。

早期电子学实验,包括对真空管的研究。海林克·盖斯勒(Heinrich Geissler, 1814—1879)发现将玻璃管中的空气抽出后,通上电流就会发出亮光。圣·威廉·克鲁克斯(Sir William Crookes, 1832—1919)发现真空管中的电流似乎是由粒子组成。托马斯·爱迪生(Thomas Edison, 1847—1931)利用碳丝电极真空管实验,证实会有电流从热灯丝流向正电极。他以这项设计申请到专利,但从未真正运用到任何产品上。

还有其他早期的实验,测量在真空管中流动粒子的各种特性。圣·约瑟夫·汤姆逊(Sir Joseph Thompson, 1856—1940)测量了这些粒子的性质,之后他将这些粒子命名为电子(electron)。

虽然无线电报通信早在1844年就开始运用,但是电子学仍被认为是一种属于20世纪的学问,主要是因为真空管放大器的发明,才得以发展开来。早期允许电流单向流动的真空管是由约翰·A·弗莱明(John A Fleming)于1904年发明。这个称为“弗莱明阀”(Fleming valve)的真空管就是真空二极管的先驱。在1907年,李·德福雷斯特在真空管中加入一个栅极。这个新的器件称为“声讯管”(audiotron),可用来放大微弱的信号。在真空管中加入这种控制器件,德福雷斯特正式宣告电子学新时代的到来。将这个器件再进一步的改良后,终于促成横贯美国大陆的电话系统的诞生和无线通信的出现。在1912年,在加州圣荷西市一位无线电爱好者开始定期的播放音乐广播节目!

到1921年,商业部长赫伯·胡佛(Herbert Hoover),签署核发了第一张广播电台的营业执照,在随后的两年总共发出超过600张的执照。在20世纪20年代末,许多家庭都有了收音机。埃德温·阿姆斯特朗(Edwin Armstrong)发明了一种新型的超外差式收音机,解决了高频通信的问题。1923年,一位美国研究员瓦德密尔·斯沃瑞金(Vladimir Zworykin)发明第一部电视影像管,在1927年Philo T. Farnsworth申请全套电视系统的专利权。

在20世纪30年代,无线通信有了长足的进步,其中包括金属管、自动增益控制、超小型装置、指向型天线和许多其他装置的开发。同样在这个时代中,发明了第一套计算机装置。现代计算机的发展是源自艾奥瓦州立大学的约翰·阿坦瑟夫(John Atanasoff)。在1937年,他提出一种2进制运算机器的构想,能够执行复杂的数学计算。到1939年,他和研究生克立夫·贝瑞(Clifford Berry)完成一部2进制运算的机器,称为“ABC”(“ABC”代表“Atanasoff-Berry Computer”),这部机器采用真空管作为逻辑选择器,电容器作为内存。在1939年,英国科学家亨利·布特(Henry Boot)和约翰·兰德尔(John Randall)发明了微波振荡器(磁控管, magnetron)。在同一年,美国人罗素和西格·维林兄弟发明调速微波管(klystron microwave tube)。

20世纪40年代第二次世界大战期间,电子学快速发展。因为磁控管和调速微波管的发明,才促成雷达和许多极高频通信的发展。阴极射线管也加以改进而用于雷达装置。计算机在战时仍持续发展。到了1946年,约翰·范·纽曼(John von Neumann)在宾夕法尼亚大学发明了第一部实用计算机“Eniac”。

1947年最重要的发明出现了,就是晶体管。晶体管的发明者是沃尔特·布莱登(Walter Brattain)、约翰·巴丁(John Bardeen)及威廉·肖克利(William Shockley)等三人,他们三人都因此发明而得到诺贝尔奖。1947年印制电路板(printed circuit boards, PCB)也同时发明出来。晶体管用于商业制造则是在1951年于宾夕法尼亚州的Allentown开始。

20世纪50年代最重要的发明就是集成电路(integrated circuit, IC)。在1958年的9月12日,杰克·基尔比(Jack Kilby)在德州仪器公司(Texas

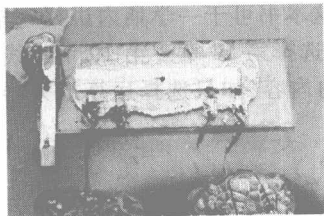


图 0.1

Instruments)制造出第一片集成电路(参见图 0.1),他本人于 2000 年秋天获得诺贝尔奖。这项发明真正开创了现代计算机时代,促进了医药、通信、制造和休闲业彻底地改变。许多数以十亿计的芯片制造出来。

20 世纪 60 年代展开的太空竞赛,刺激了微型化和计算机的发展。太空竞赛成了随后电子学快速发展的驱动力。第一个成功的“运算放大器”(op-amp)是由鲍伯·威德勒(Bob Widlar)在 1965 年在 Fairchild Semiconductor 公司制造出来。型号是 $\mu A709$,虽是很成功的设计,但是仍受限于“latch-up”现象和其他的问题。这之后,Fairchild 又推出运用最广的运算放大器 741 型。这个运算放大器成为工业标准,并且影响随后多年运算放大器的设计。计算机网络的先驱也于 20 世纪 60 年代,开始远程网络计算机的设计。

计算机系统是构建在“劳伦斯·利弗摩尔国家实验室”(Lawrence Livermore National Laboratory),这个系统有超过 100 部终端机连上网络,这个网络很生动地命名为“章鱼系统”(octopus system)。1969 年,在距离很远的计算机之间实验进行资料的交换,结果真的在加州大学洛杉矶分校(UCLA)和斯坦福大学之间完成数据的交换。在 UCLA 的研究组连接上斯坦福大学的一部计算机,并且在 UCLA 的终端机顺序输入“login”这个字。两端之间利用电话联机,作互通消息之用,且有下列的对话。

UCLA 的研究组在电话上询问:“你们看到字母 L 了吗?”

“是的,我们看到 L 了。”

UCLA 的研究组又输入字母 O。“你们看到字母 O 了吗?”

“是的,我们看到 O 了。”

UCLA 的研究组又输入字母 G。此时系统死机了。这就是当时技术水平,到节骨眼处就死机了,不过一场世纪革命已经悄悄展开。

1971 年,一群 Fairchild 离职员工成立一家新公司,推出第一套微处理器。这家公司就是“英特尔”(Intel),推出的产品是 4004 芯片,具有与 Eniac 计算机相同的功能。当年稍晚时候,英特尔又宣布推出 8 位处理器 8008。1975 年,Altair 推出第一部个人计算机,Popular Science 杂志将此事放在 1975 年 1 月份当期杂志的封面上。在 20 世纪 70 年代,口袋型计算器和光集成电路也相继出现。到了 20 世纪 80 年代,半数的美国家庭已经使用缆线收看有线电视台,而不再利用电视天线接收无线电视台的节目。

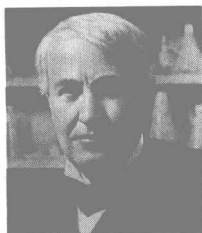
80 年代不断出现高可靠性、快速和小型化的电子产品,包括可自动测试和校准的印制电路板。计算机也成为仪器的一部分,甚至出现虚拟仪器。计算机已经成为工作平台上的一项标准工具。

在 20 世纪 90 年代,出现了分布极广的因特网。在 1993 年,总共有 130 个网站,到了新世纪的第 1 年(2001)总共超过 2400 万个网站成立。在 20 世纪 90 年代,许多公司疯狂地抢先建立自己的网页,许多早期从事无线广播事业的公司也纷纷投入因特网的生意。信息交换和电子商务刺激了 20 世纪 90 年代经济的极快增长。因特网成为科学家和工程师极为重要的舞台,因特网也成为有史以来最重要的通信工具。

在 1995 年,美国电信委员会(FCC)替“数字声音传播服务”(digital audio radio service)分配好频道的位置。在 1996 年,FCC 也对下一代数字电视定下国家标准。在 20 世纪即将结束时,历史学家终能喘一口气。就像一位爱开玩笑的人,他说:“我生来就是要享受新科技的便利,但是我还是希望老一辈的人能够先享受到!”

21 世纪的曙光终于出现(虽然大多数的人都是在前一年的“Y2K”庆祝新世纪的到来)。主要的技术发展仍是属于继续爆炸性发展的因特网。很快地,科学家又开始进行新一代超级计算机系统的计划,该系统能够在计算机网络中存取大量的信息。这些新的国际性数据,将比全球信息网(WWW)还庞大,可让人们同时在超级计算机中存取大量信息及资源,21 世纪的研究,将继续沿着愈快、愈小化电路的新技术发展。已有人研究出在纳米碳管中,发现了具有半导体性质的结构。

著名科学家简介



托马斯·爱尔瓦·爱迪生

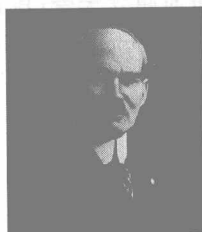
Thomas Alva Edison, 1847—1931

出生在米兰,俄亥俄州;托马斯·爱迪生是有史以来拥有最多发明的发明家。他总共拥有 1093 项专利权,也是唯一持续 65 年每一年最少获得一项专利的发明家。爱迪生的发明涵盖许多不同的领域。他最有名的发明就是电灯泡,是在 1879 年发明的。爱迪生被认为是在研发电灯泡的真空灯泡的时候,发现了二极管效应。他的发明实验大多是在他位于新泽西州 West Orange 市的实验室中进行。他也在位于佛罗里达州 Fort Myers 他的冬季住家附近设有一间实验室,主要是研究合成橡胶的研发工作,材料来自于附近一家菊科植物加工厂的产品。(照片由国会图书馆提供)

李·德福雷斯特

Lee DeForest, 1873—1961

出生于爱荷华,李·德福雷斯特在大学时代就是一位发明家,靠发明的收益来分担学



费和生活开销。他于1899年在耶鲁大学获得博士学位。他的博士论文是“平行导线端的反射波”(reflection of hertzian waves from the ends of parallel wires),开启了他长期在无线电波方面的研究工作。在他三百项的发明中,最重要的发明就是放大电路(声频放大电路)中的三极真空管。(照片提供自美国发展史国家百科全书)

约翰·巴丁

John Bardeen, 1908—1991



身为电机工程师和物理学家,出生于威斯康星州的麦迪逊市。巴丁博士于1938—1941年任职于明尼苏达州立大学,从1941—1945年在Naval Ordnance Lab担任物理学家。随后他加入贝尔实验室,并且一直任职到1951年。他对半导体和金属的传导,半导体表面特性和超导现象都有研究。在贝尔实验室任职期间,与同事沃尔特·布莱登和威廉·肖克利共同发明晶体管。在1951年离开贝尔实验室后,巴丁博士加入伊利诺州立大学。(照片来自于AIP Emilio Segre Visual Archives, W. F. Meggers Gallery of Nobel Laureates)

威廉·肖克利

William Shockley, 1910—1989



出生于英国伦敦的美国人,肖克利博士在1936年于M. I. T. 获得博士学位。他一毕业就加入贝尔实验室,然后一直任职到1955年。他的研究领域主要在于固态能量带、真空管理论、光电子学、电磁领域、晶体管物理学。在贝尔实验室期间,在1947年与同事沃尔特·布莱登和约翰·巴丁共同发明晶体管。离开贝尔实验室后,肖克利博士任职于贝克曼仪器公司(Beckman Instruments)和斯坦福大学。(照片来自于AIP Emilio Segre Visual Archives, Physics Today Collection)

沃尔特·布莱登

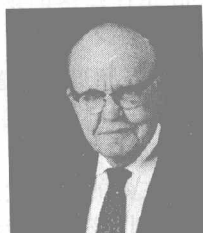
Walter H. Brattain, 1902—1987



出生于中国的美国人,布莱登博士在1929年加入贝尔电话实验室(Bell Telephone Laboratories)。他的主要研究领域就是半导体物质的表面特性。他的主要贡献是发现半导体表面的光电效应,和1947年发明晶体管,这是与同事约翰·巴丁及威廉·肖克利共同发明。(照片来自于AIP Emilio Segre Visual Archives, W. F. Meggers Gallery of Nobel Laureates)

杰克·基尔比

Jack S. Kilby, 1923—



杰克·基尔比出生于密苏里州,在伊利诺大学和威斯康星大学获得电机工程专业学位。从1947—1958年,他都任职位于密尔沃基的环球联合公司(Globe Union, Inc.)的中央实验室。在1958年,他加入位于达拉斯的得州仪器公司,负责有关集成电路的研发和应用。在加入得州仪器一年后,他发明了单晶态(monolithic)集成电路,因而创造了历史。基尔比于1970年离开得州仪器。(照片由得州仪器公司提供)

致 谢

许多拥有聪明才智的人士均帮忙修改这本电子器件第七版的内容。这本书的内容和准确性都经过全盘的审校。Prentice Hall出版社的人员,对这本书的出版有极大的贡献,包括Rex Davidson, Kate Linsner及Dennis Williams。Lois Porter,有令人难以置信的细心,尤其在整理手写稿时的出色表现。Jane Lopez不止一次提供极佳的说明文字和美观的图片。就如同前一版的工作,Toby Boydell设计和制作出这一版的多层次仿真电路的电子文件。我也要感谢Mark Fitzgerald、Ron Kolody及David Mayo对辅助本书完成所作的重要贡献。

除了以上已经提到的朋友外,我还要向审稿人员表达我由衷的感激,他们提供了许多有价值的建议和建设性的修改意见,大大地改善了本书的内容。这些审稿人员包括Howard Carter,堪萨斯城德福瑞大学(DeVry University-Kansas City); Mohamad S. Haj-Mohamadi,北卡罗来纳A&T州立大学(North Carolina A&T State University); Max Rabiee,辛辛那提大学(University of Cincinnati); Stan Sluder,博伊西州立大学(Boise State University); Randall Stratton,欧文德福瑞大学(DeVry University-Irving); 以及Ronald Tinckham,圣菲社区学院(Santa Fe Community College)。

Tom Floyd

目 录

1

半导体基础

1.1 原子结构	1
1.2 半导体、导体和绝缘体	3
1.3 共价键	4
1.4 半导体的导电性	5
1.5 N型与P型半导体	7
1.6 二极管	8
1.7 二极管的偏压	10
1.8 二极管的电压-电流特性	12
1.9 二极管的各种模型	14
1.10 二极管的测试	18
1.11 二极管偏压的摘要	20

2

二极管的应用

2.1 半波整流器	28
2.2 全波整流器	32
2.3 电源滤波器与稳压器	36
2.4 二极管限位与钳位电路	41
2.5 电压倍增器	45
2.6 二极管特性参数表	46
2.7 故障检修	49
2.8 系统应用	53
2.9 电源供应整流器的摘要	56

3

特殊用途二极管

3.1 齐纳二极管	65
3.2 齐纳二极管的应用	70
3.3 变容二极管	73
3.4 光学二极管	77
3.5 其他类型的二极管	82
3.6 故障检修	86
3.7 系统应用	87

4

双极型晶体管

4.1 晶体管结构	99
4.2 晶体管的基本工作原理	100
4.3 晶体管的特性和参数	101
4.4 晶体管当作放大器	108
4.5 晶体管当作开关	110
4.6 晶体管的封装和引脚识别	112
4.7 故障检修	114
4.8 系统应用	117

4.9 双极型晶体管摘要	122
--------------------	-----

5

晶体管偏压电路

5.1 直流工作点	130
5.2 分压器偏压	134
5.3 其他的偏压方法	138
5.4 故障检修	142
5.5 系统应用	144
5.6 晶体管偏压电路的摘要	147

6

BJT放大器

6.1 放大器的工作原理	157
6.2 晶体管交流等效电路	158
6.3 共发射极放大器	160
6.4 共集电极放大器	168
6.5 共基极放大器	171
6.6 多级放大器	173
6.7 差动放大器	175
6.8 故障检修	179
6.9 系统应用	181
6.10 共发射极放大器摘要	184
6.11 共集电极放大器的摘要	185
6.12 共基放大器摘要	185
6.13 差动放大器摘要	186

7

场效应晶体管

7.1 结型场效晶体管	196
7.2 结型场效应晶体管的特性与参数	197
7.3 JFET 偏压	203
7.4 金属氧化物半导体场效应晶体管	209
7.5 MOSFET 的特性与参数	211
7.6 MOSFET 偏压	214
7.7 故障检修	215
7.8 系统应用	217
7.9 场效应晶体管的摘要	220

8

FET 放大器

8.1 FET 放大	230
8.2 共源极放大器	232
8.3 共漏极放大器	238
8.4 共栅极放大器	240
8.5 故障检修	241
8.6 系统应用	243
8.7 FET 放大器摘要	246

9

功率放大器

9.1 A 类功率放大器	254
9.2 B 类和 AB 类推挽式放大器	258

9.3 C类放大器	266
9.4 故障检修	269
9.5 系统应用	271

10

放大器频率响应

10.1 基本概念	282
10.2 分贝	284
10.3 放大器低频响应	286
10.4 放大器高频响应	295
10.5 放大器总频率响应	302
10.6 多级放大器的频率响应	304
10.7 频率响应的测量	305
10.8 系统应用	306

11

晶闸管与其他器件

11.1 基本四层器件	316
11.2 硅控整流器	318
11.3 SCR的应用	321
11.4 双向触发二极管和双向交流触发三极管	323
11.5 硅控开关	326
11.6 单结晶体管	326
11.7 可编程化单结晶体管	329
11.8 绝缘栅双极晶体管	330
11.9 光敏晶体管	331
11.10 光触发硅控整流器	332
11.11 光耦合器	333
11.12 光纤光学	334
11.13 系统应用	336

12

运算放大器

12.1 运算放大器简介	345
12.2 运算放大器输入模式与参数	348
12.3 负反馈	351
12.4 具有负反馈的运算放大器	352
12.5 负反馈对运算放大器阻抗的影响	355
12.6 偏压电流和偏置电压补偿	358
12.7 开环响应	359
12.8 闭环响应	363
12.9 故障检修	365
12.10 系统应用	366
12.11 运算放大器电路类型摘要	369

13

基本运算放大器的应用

13.1 比较器	380
13.2 加法放大器	386
13.3 积分器和微分器	391
13.4 故障检修	395
13.5 系统应用	397

14

特殊用途运算放大器电路

14.1	仪表放大器	409
14.2	隔离放大器	412
14.3	运算跨导放大器	414
14.4	对数和反对数放大器	418
14.5	转换器和其他运算放大器电路	421
14.6	系统应用	423

15

主动滤波器

15.1	基本滤波器频率响应	432
15.2	滤波器频率响应的特性	435
15.3	主动低通滤波器	437
15.4	主动高通滤波器	439
15.5	主动带通滤波器	441
15.6	主动带阻滤波器	444
15.7	滤波器频率响应的测量	445
15.8	系统应用	446

16

振荡器

16.1	振荡器	454
16.2	反馈振荡器的原理	455
16.3	RC反馈电路振荡器	456
16.4	LC反馈电路振荡器	460
16.5	张弛振荡器	464
16.6	将555定时器当作振荡器使用	467
16.7	系统应用	470

17

通信电路

17.1	基本接收器	479
17.2	线性倍增器	482
17.3	振幅调制	486
17.4	混频器	489
17.5	AM解调制	491
17.6	中频与音频放大器	492
17.7	频率调制	494
17.8	锁相回路	495
17.9	系统应用	500

18

电压调整器

18.1	电压调整	510
18.2	基本串联调整器	512
18.3	基本并联调整器	515
18.4	基本的交换式调整器	516
18.5	集成电路电压调整器	520
18.6	集成电路电压调整器的应用	522
18.7	系统应用	525

19

可编程模拟阵列

19.1	现场可编程模拟阵列	533
19.2	开关式电容器电路	534
19.3	特殊的 FPAA	537
19.4	设计 FPAA	539
19.5	系统应用	543

20

附录

20.1	标准电阻表	548
20.2	重要公式推导	548

习题解答

习题解答	556
术语表	580

简介

二极管、晶体管和集成电路等电子器件,都是由半导体材料制成。要了解这些电子器件的工作原理,你需要具备有关原子结构和原子所包含基本粒子之间互相作用的基本知识。本章要介绍一个重要概念,就是当两种不同半导体的材料结合在一起时,所形成的 PN 结。对于二极管和部分的晶体管,PN 结是这些器件能够工作的基本条件。

学习目标

- 讨论原子的基本结构。
- 讨论半导体、导体以及绝缘体之间的基本差异。
- 讨论硅的共价键。
- 说明在半导体中如何产生电流。
- 说明 N 型和 P 型半导体的性质。
- 说明二极管及 PN 结形成过程。
- 讨论二极管的偏压状态。
- 分析二极管的电压-电流特性曲线(V-I characteristic curve)。
- 讨论二极管的工作情况,并且说明三种二极管的模型。
- 使用数字万用表测试二极管。

1.1 原子结构

所有的物质都是由原子构成的,而原子又是由电子、质子和中子组成。在这一节,你将会学习到有关原子的结构(atomic structure),电子轨道和能阶理论,价电子,离子和两种半导体材料——硅和锗。半导体材料是很重要的,因为原子内部某些电子的形态,决定该材料如何传导电流。

在学完本节内容后,你应该能够:参与讨论原子的基本结构;定义出原子核、质子、中子和电子;说明元素的原子序数;说明电子的能阶;说明何谓价电子;说明离子化现象;说明何谓自由电子。

原子是能够保持元素特性的最小粒子。已知的 109 种元素都拥有原子,而且每个元素的原子与别的元素都不相同。这使得每一种元素都拥有独一无二的原子结构。依照古典玻尔的模式,原子拥有一种像星体运行的结构,原子中心是原子核而周围是按照轨道并按轨道运行的电子,如图 1.1 所示。原子核是由带正电荷的粒子(称为质子)和不带电荷的粒子(中子)所组成。带负电的基本粒子称为电子。

每一种原子都拥有一定数目的电子和质子,而且与其他元素的原子都不相同。例如,最简单的原子就是氢原子,只有一个质子和一个电子,如图 1.2(a)所示。另一个例子就是氦原子,如图 1.2(b)所示,原子核有两个质子和两个中子,另有两个电子围绕着该原子核运行。

1.1.1 原子序数

所有元素在周期表上都是按照原子序数排列。原子序数(atomic number)等于原子核中质子的数目,也等于电平衡(电中性)时原子所拥有的电子数目。例如,氢的原子序数是 1 而氦的原子序数是 2。在正常(中性)情况下,元素的所有原子都拥有相同数目的质子与电子;正电荷就会与负电荷互相抵消,于是原子就不带任何净电荷。

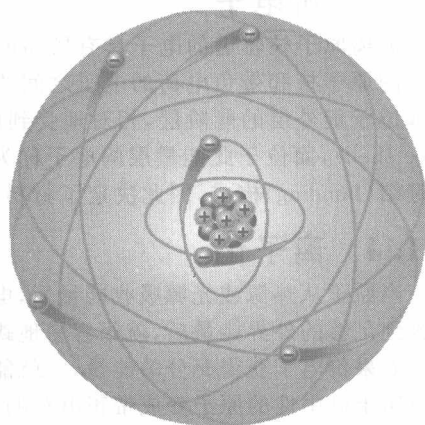


图 1.1 原子玻尔模型显示电子绕着原子核轨道运行,原子核由质子和中子组成。图中电子所显示出来的“尾巴”,表示电子正在运动中

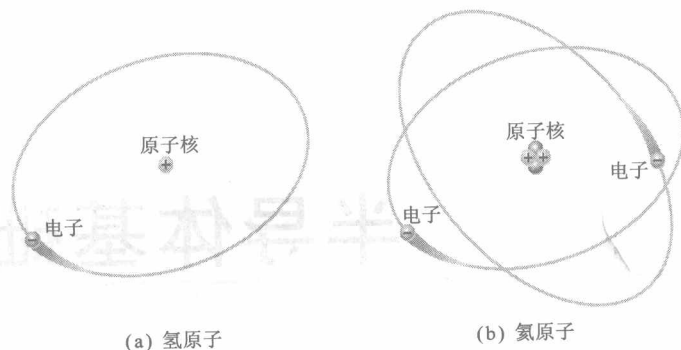


图 1.2 两个最简单的原子:氢和氦

1.1.2 电子能阶层和轨道

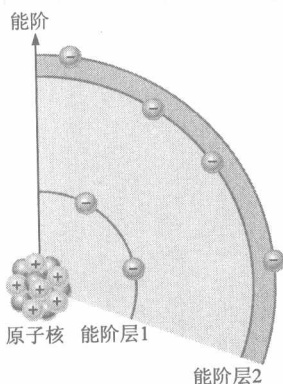


图 1.3 能阶的能量随着与原子核的距离增加而提升

电子绕着与原子核某些特定距离的轨道运行。电子越接近原子核,则它所具有的能量较远离原子核的电子能量越低。我们知道在原子结构中,电子只拥有分散且特定的能量。因此,电子必须绕着几个离原子核特定距离的轨道(orbit)运行。

每个距原子核特定的距离(轨道)就会对应一个能阶。在原子内,这些轨道会分群归纳为数个能量带,称为能阶层。原子都具有固定数目的能阶层。每个能阶层在允许的能阶上(轨道),都只能容纳一定上限数目的电子。在同一个能阶层内的能阶之间存在的能量差,远小于能阶层之间的能量差。能阶层按照 1、2、3... 顺序编号,能阶层 1 最接近原子核。能阶层也有用 K、L、M... 等字母编号,能阶层 K 最接近原子核。在图 1.3 中,说明这种能阶层的观念,图中显示出第一个能阶层含有一个能阶,而第二个能阶层含有两个能阶。依照不同的元素,不同形态的原子就存在着不同数目的能阶层。

1.1.3 价电子

远离原子核轨道的电子具有较高的能量,比较接近原子核的电子所受到的束缚力较大。这是由于带正电荷的原子核和带负电荷的电子之间的吸引力,随着与原子核之间距离的增加而减小。具有最高能量的电子都位于最外层的能阶层,相对地受到原子的束缚力也较少。这个最外的能量层就是所谓的价能阶层(valence shell),而位于此能量层的电子称为价电子(valence electrons)。这些价电子促成化学反应和材料结构中的键结(bonding)构成,因此决定了材料的电特性。

1.1.4 离子化

当原子从热源或光源吸收能量后,电子的能量就会提升。价电子受到原子的束缚力较内层电子微弱,当吸收到足够的外界能量后,就很容易地跳到价能阶层中更高的能阶轨道上。

如果价电子获得充分的能量,它就实际脱离最外层的能阶层和原子核的束缚。价电子的离开,会让先前属于电中性的原子变成带正电荷的状态(此时质子的数量多于电子)。失去价电子的过程就是所谓的离子化(ionization),而形成的带正电荷的原子就称为正离子。例如,代表氢的化学符号是 H。当一个中性的氢原子失去它的价电子而成为正离子时,就把它表示为 H^+ 。脱离的价电子就称为自由电子。当自由电子失去能量,并且落回到呈电中性氢原子外层的能阶层时,此氢原子就带有负电(因为,此时电子数量多于质子),称为负离子,表示为 H^- 。

1.1.5 每个能阶层所拥有的电子数

原子的每个能阶层所能容纳最多电子的数目,是自然现象,可以按照下述的公式计算出来:

$$N_e = 2n^2 \quad (1.1)$$

其中, n 是能阶层的编号。最内层的能阶层编号为 K, 再外一层编号为 L, 如此排列下来。最内层的能阶层能够容纳的电子数最多为

$$N_e = 2n^2 = 2(1)^2 = 2$$

第二层的能阶层能够容纳的电子数最多为

$$N_e = 2n^2 = 2(2)^2 = 2(4) = 8$$

第三层的能阶层能够容纳的电子数最多为

$$N_e = 2n^2 = 2(3)^2 = 2(9) = 18$$

第四层的能阶层能够容纳的电子数最多为

$$N_e = 2n^2 = 2(4)^2 = 2(16) = 32$$

原子除了最外一层(价)能阶层外,所有内部的能阶层都需要填满电子。

复习题

1. 说明原子的结构。
2. 什么是电子?
3. 什么是价电子?
4. 什么是自由电子?
5. 离子是如何形成的?

1.2 半导体、导体和绝缘体

按照材料的导电性,可以分为三类:导体(conductors)、半导体(semiconductors)和绝缘体(insulators)。在这一节中,我们将会讨论半导体的性质,并且分别与导体和绝缘体互相比较。

在学习完本节内容后,你应该能够:参与讨论半导体、导体和绝缘体的性质,以及它们之间的基本差异;说明原子核的结构和特性;说明铜、硅、锗和碳的原子结构;列出四种最佳的导体;列出四种半导体;参与讨论导体和半导体之间的差异;参与讨论半导体硅和锗之间的差异;说明硅比锗更广泛地应用在工业界的原因。

所有的物质都是由原子组成。这些原子决定物质的电特性,包括导通电流的能力。为了方便研究它们的电特性,我们将原子视为由价能阶层和核心组成,而核心包括原子核和所有内部能阶层。这个概念我们以图 1.4 的碳原子加以说明。碳元素应用在某些种类的电阻中。请注意,碳原子在价能阶层有四个电子,而在内部能阶层则有两个电子。碳的原子核是由六个质子和六个中子组成,所以用+6 表示六个质子所带的正电荷。因此,碳的核心就有净电荷+4 (+6是原子核的正电荷,而-2 则是内部能阶层的电子所带负电荷)。

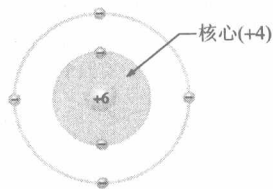


图 1.4 碳原子的结构图

1.2.1 导体

导体是能够容易导电的物质。良导体都是单一元素的物质。例如,铜、银、金和铝,它们的共性都是只有一个价电子且很松散的附于原子外层。这些松散的价电子,可以很容易的离开原子而成为自由电子。因此,导体物质中会有许多的自由电子,可以朝同一个方向流动而形成电流。

1.2.2 绝缘体

绝缘体就是在正常情况下,不会导电的物质。大部分好的绝缘体都属于化合物而不是单一元素的物质。绝缘体所拥有的价电子都被原子紧紧地束缚在一起。因此绝缘体只有很少的自由电子。

1.2.3 半导体

半导体物质的导电性是处在导体和绝缘体之间。半导体如果是在纯质(本质态, intrinsic)情况下,既不是良导体也不是好的绝缘体。最常见的纯质半导体是硅、锗和碳。化合物型半导体如砷化镓(gallium arsenide)也常在工业界使用。纯元素半导体原子的特性就是拥有四个价电子。

1.2.4 能带

我们回想一下,原子的价能阶层(valence shell)代表最外一层的能带(energy bands),而价电子则位于此能带。当电子获得足够的额外能量后,它能够离开价能阶层,而成为自由电子,然后就停留在所谓的导带(conduction band)中。

在价带和导带之间的能量差,我们称为能隙(energy gap)。这个能量差就是价电子从价带跳到导带,所需拥有的能量。一旦电子到达导带,电子就能在材料中自由移动,而不会受到任何原子的束缚。

图 1.5 显示出绝缘体、半导体和导体的能阶图。请注意,在图 1.5(a)中显示绝缘体在导带和价带中间,存在着很宽的能隙。

除非在绝缘体材料两端施加极高电压的特殊条件下,绝缘体的价电子才有可能跳到导带。在图 1.5(b)中,你也可以观察到半导体具有稍微狭窄的能隙。这个能隙允许一些价电子跳到导带而成为自由电子。相对地,在图 1.5(c)中,导体的能阶带互相重叠。因此,导体随时都拥有大量的自由电子。