

高等学校教材

电子 技术基础

(非电类专业用)

周连贵 主编

机械工业出版社

高等学校教材

电子技术基础

(非电类专业用)

主编 周连贵

参编 李跃华 郑世科

游桂芬 徐政新

主审 何如聪

机械工业出版社

(京)新登字054号

本书包括模拟电子技术和数字电子技术两部分。其内容是在介绍基本知识、基本电路和基本分析方法的基础上加大数字电路的比重并突出集成运算放大器和中规模集成电路的应用。全书所有插图均采用国家新颁布的图形符号标准。在内容介绍方面,以讲清概念、定性分析为主,简化数学推导,侧重中规模集成电路组件的应用。对于集成组件,则侧重外特性和使用方法,淡化内部结构和电路的介绍。

本书系高等院校非电类专业《电子技术》课的教材。

电子技术基础

(非电类专业用)

主编 周连贵

参编 李跃华 郑世科

游桂芬 徐政新

主审 何如聪

责任编辑:贡克勤 版式设计:王颖

封面设计:方芬 责任校对:肖新民

责任印制:路琳

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

济南新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 850×1168^{1/32}·印张 11·字数 285千字
1994年10月北京第1版·1994年10月济南第1次印刷

印数 0 001—7 100·定价:7.80元

ISBN 7-111-04207-7/TN·84(课)

前 言

本书是根据1991年10月高校工科电工学课程教学指导小组苏州会议上审定的《电子技术》(电工学Ⅱ)课程教学基本要求的第三修订稿,由原机电部高校电子技术课程协作组组织编写的。本书适用于高等工科院校本科非电类专业《电子技术》课的教学,删去带“*”的节或小节就可作为大专教材和成人教育的教材。本书也可作为工程技术人员参考书。

市面上有这一类的教材出售,而且有的教材还获得了全国优秀教材奖,书的质量高,价格也便宜,那么为什么还要编写本书呢?

原因之一是本课程教材可供选择的版本太少。目前能够买到的非电类电子技术的教材只寥寥数种,而全国有200余所高等工科院校,170余个非电类专业,这些专业对电子技术的要求又各不相同。多数对数字电路要求较高,工程中又大量使用中规模集成电路,因此总觉得选不到称心的教材。为了满足教学需要,只有克服重重困难,自己来编写教材。原因之二是教材更新太慢,无法适应电子技术的发展形势。随着电子工业的飞速发展及改革开放的进行,新器件、新工艺、新技术不断出现,应用与普及的速度大为提高。高等工科院校是培养工程技术人才的地方,教学内容必须跟上时代的步伐,否则将无法适应形势和经济的发展。第三是课程的教学基本要求修订后,应有新版教材与之配合。本书的编写目的之一就是为了配合教学基本要求第三修订稿的贯彻执行,虽然未必能配合得很好,但主观上却是力图作到这一点的。第四是贯彻国家教委工科电子技术课程指导小组关于教材建设的精。关于工科教材,课程指导小组的精神一贯是不但允许而且鼓励教师编写不同风格的教材。例如有的深而广,具有权威性、

41502/4

系统性；有的少而精便于教学；有的强调应用；有的偏重理论等等。这样，不同版本的教材才能互相补充，相得益彰，才能使教材市场呈现千林竞秀、万卉争荣的繁荣局面。我们力图为教材市场提供一点产品，虽然是一支无名小草，也能为周围环境增添一点绿色。最后一点是，国家颁布了新的电气图用图形符号，教材必须以国家标准为依据，因此教材有必要重新编写。

本书编写的主导思想是在保留基本知识（半导体器件原理）、基本内容（基本放大电路）和基本分析方法（微变等效电路分析法）的基础上，大力压缩和淘汰陈旧的分立元件电路的内容，加强中规模集成电路的分析方法和应用电路的介绍。

在内容的安排上，加强数字电路的内容，压缩模拟电路的内容，使二者的比例较为接近。在模拟电路部分，分立元件内容与集成运放部分内容的比约为 2:3，故本书的最大特点是大大加强了数字电路和集成运放。在内容和分析方法的介绍方面，以讲清概念、定性分析为主，简化数学推导而加强中规模集成组件使用方法的介绍，以开阔学生的知识面和提高学生的动手能力。对于集成组件，侧重外特性和应用方法的介绍，对其内部电路则基本不讲。

本教材理论课参考时数约为 58~62 学时，实验 14~18 学时。各章学时分配可参考下表：

章号：一、二、三、四、五、六、七、八、九、十

时数：6、7、12、3、3、6、8、7、4、4

本书的编写工作始于 1991 年 11 月 4 日~9 日在南京理工大学召开的机电部高校电子技术课程《教材编写工作会议》，有 11 所兄弟院校的老教师参加了会议，会上经反复讨论、认真研究和修改，制订了《电子技术基础》（非电类）编写大纲和决定了该书的编写主导思想及要求。经一段时间的准备后，于 1991 年 12 月 1 日正式组织编写。

本书第一、十两章由南京化工学院李跃华编写，第二、四两章由东北重型机械学院郑世科编写，前言和第三、五两章及第二

章的三、六两节由南京理工大学周连贵编写，第六、七两章由太原机械学院游桂芬编写，第八、九两章由湖北汽车工业学院徐政新编写。由周连贵任主编，负责全书的组织、修改和统稿工作。本书第一稿于1992年6月底完成，交主审和出版社责任编辑审阅。本书由甘肃工业大学何如聪任主审。他们认真负责地逐字逐句地审阅了全书，提出了不少宝贵意见。根据审阅意见，由主编再次对全书进行修改，于1992年10月完成第二稿，交付印刷厂胶印试用本教材。1993年上半年在参加编审的五所院校中同时试用。然后根据试用情况，在1993年10月13日~17日于武汉工学院召开的协作组领导小组扩大工作会议上对本书组织二审，请大家提出修改意见，再次对全书进行修改，于1993年12月中旬完成第三稿，并交机械工业出版社。

特别应该提出的是，本书整个成书过程自始至终都是在国家教委工科电子技术课程指导小组委员、太原机械学院张建华教授的热情关怀、大力支持和帮助下进行的，北京理工大学王远教授、吉林工业大学王万树教授以及有关院校的同行对我们的工作也给予了热情的鼓励和帮助。在成书过程中还得到了南京理工大学周炳秋副校长和苏志明副校长的关怀和支持，在此一并致以衷心的感谢和敬意。

由于时间仓促，水平有限，书中如有错误和不妥之处，敬请各位专家和同行批评指正，谢谢！

编 者

1993年12月15日于南京

目 录

前言

第一章 半导体器件基础	1
第一节 半导体的基本知识	1
一、本征半导体	1
二、杂质半导体	3
第二节 PN结	5
一、PN结的形成	5
二、PN结的单向导电性	7
第三节 半导体二极管	8
一、半导体二极管的结构	8
二、半导体二极管的伏安特性及二极管方程	9
三、半导体二极管的主要参数	10
第四节 特殊二极管	11
一、稳压二极管	11
*二、变容二极管	13
*三、光电二极管	13
四、发光二极管	14
第五节 半导体三极管	14
一、三极管的基本结构	15
二、三极管的电流分配与放大作用	16
三、三极管的特性曲线	19
四、三极管的主要参数	22
五、三极管的温度特性	25
六、国产三极管的命名方法和选用	25
第六节 MOS 场效应管	27
一、增强型MOS 管的结构和工作原理	28
二、耗尽型MOS 管	31

三、场效应管的主要参数	32
四、场效应管与双结型三极管的比较和选择	33
习题	34
第二章 放大电路基础	37
第一节 放大电路的组成和工作原理	37
一、放大电路的组成原则	37
二、放大电路的工作原理	39
第二节 放大电路的微变等效电路分析法	41
一、静态分析	41
二、动态分析	42
第三节 放大电路的图解分析法	49
一、静态分析	49
二、动态分析	50
第四节 分压式偏置稳定共射放大电路	54
一、静态工作点的稳定	54
二、分压式偏置稳定共射放大电路的分析	56
第五节 共集放大电路	60
一、共集放大电路的特点	60
二、共集放大电路的应用	63
第六节 场效应管放大电路简介	65
一、场效应管放大电路静态工作点的设置	66
二、场效应管的微变等效模型与FET放大电路分析	68
第七节 阻容耦合多级放大电路	71
一、多级放大电路的耦合方式	71
二、阻容耦合多级放大电路的分析	72
三、阻容耦合放大电路的频率特性	74
习题	76
第三章 集成运算放大器及其应用	79
第一节 集成运算放大器简介	79
一、集成运算放大器的组成和代表符号	79
二、集成电路的特点及分类	81
三、集成运算放大器的主要技术指标	82

第二节 集成运算放大器的输入级——差动放大电路	84
一、直接耦合放大电路及其存在的特殊问题	84
二、差动放大电路	88
第三节 集成运算放大器的输出级——互补对称式功率放大电路	101
一、乙类互补对称式功率放大电路	101
二、甲乙类互补对称式功率放大电路	103
三、采用复合管的互补对称式功率放大电路	104
四、互补对称式功率放大电路的输出功率和效率	107
第四节 放大电路中的反馈	108
一、反馈的基本概念	108
二、负反馈对放大电路性能的影响	116
三、深负反馈放大电路电压放大倍数的估算	119
第五节 集成运算放大器的线性应用	121
一、概述	122
二、用于信号运算	123
*三、用于信号的有源滤波	135
第六节 集成运放的非线性应用	138
一、过零比较器与单限比较器	138
*二、窗口比较器与集成电压比较器	141
*三、滞回比较器	143
*四、利用滞回比较器组成方波和三角波产生电路	144
习题	147

第四章 正弦波振荡电路 159

第一节 产生正弦波自激振荡的条件	159
一、产生正弦振荡的模型与自激振荡的条件	159
二、自激振荡的建立与幅度的稳定	160
第二节 正弦波振荡电路的组成部分与分析步骤	161
一、正弦波振荡电路的组成	161
二、正弦波振荡电路的分析步骤	162
第三节 RC正弦波振荡电路	163
一、RC串并联选频网络的频率特性	163
二、文氏电桥式RC正弦波振荡电路	164

第四节 LC正弦波振荡电路	166
一、LC并联谐振网络的频率特性	166
二、变压器反馈式LC振荡电路	167
*三、三点式LC振荡电路	168
习题	172
第五章 直流稳压电路	175
第一节 单相小功率整流电路	176
一、整流电路的技术指标	176
二、单相半波整流电路	176
三、单相桥式整流电路	178
第二节 滤波电路	181
一、电容滤波电路	181
*二、电感滤波电路与复式滤波电路	183
第三节 稳压管稳压电路	185
一、稳压管稳压电路的组成和工作原理	185
*二、限流电阻 R 的计算方法	186
第四节 串联型晶体管稳压电路	187
一、基本串联型晶体管稳压电路	187
二、带有放大环节的串联型稳压电路	189
第五节 三端集成稳压器及其应用	190
习题	193
第六章 数字电路基础	196
第一节 引言	196
第二节 数制与码制	197
一、常用计数体制及其相互转换	197
二、编码与码制	201
第三节 逻辑代数基础	202
一、逻辑变量和逻辑函数	202
二、逻辑代数的基本运算	203
三、逻辑代数的基本公式	205
第四节 逻辑函数的化简	207
一、逻辑函数的四种表示方法	207

二、逻辑函数化简的意义和最简的概念	207
三、逻辑函数的公式化简法	208
*四、逻辑函数的图形化简法	209
习题	218

第七章 组合逻辑电路220

第一节 分立元件门电路	220
一、什么是门电路	220
二、二极管与门电路	221
三、二极管或门电路	222
四、三极管非门电路	223
五、复合门电路	224
第二节 数字集成电路简介	225
第三节 TTL集成门电路	227
一、TTL与非门电路	227
二、集电极开路门与三态门	232
第四节 CMOS集成门电路	235
一、CMOS集成门电路的结构与特点	235
二、CMOS集成门电路	236
第五节 组合逻辑电路的分析	239
第六节 组合逻辑电路的设计	242
一、组合逻辑电路的设计方法	242
二、组合逻辑电路设计的一般步骤	242
第七节 编码器	246
第八节 译码器与译码显示电路	247
一、什么是译码器	247
二、BCD 7 段译码器	249
*第九节 多路选择器与多路分配器	252
一、多路选择器	252
二、多路分配器	255
*第十节 只读存储器 (ROM)	256
一、概述	256
二、固定ROM	257

三、PROM	258
四、EPROM	259
习题	260
第八章 时序逻辑电路	265
第一节 触发器	265
一、R-S 触发器	265
二、主从型 J-K 触发器	270
三、D 触发器	273
四、T' 触发器和 T 触发器	274
第二节 触发器逻辑功能的相互转换	276
一、将 J-K 触发器转换成其它逻辑功能触发器	276
二、将 D 触发器转换成其它逻辑功能触发器	277
第三节 寄存器	278
一、数码寄存器	278
二、移位寄存器	279
第四节 计数器	282
一、二进制计数器	282
二、十进制计数器	286
三、N 进制计数器	289
*第五节 读写存储器 (RAM)	291
一、RAM 结构	291
二、静态与动态存储单元	292
三、RAM 存储容量的扩展	294
习题	295
第九章 脉冲波形的产生与整形	300
第一节 概述	300
一、脉冲的波形与参数	300
二、产生矩形脉冲波的方法	301
第二节 555 定时器	302
一、555 定时器方框图与基本结构介绍	302
二、由 555 构成的单稳态触发器	303
三、由 555 构成的多谐振荡器	305

四、由555 构成的施密特触发器	306
五、集成施密特触发器	323
习题	309
第十章 数-模和模-数转换	312
第一节 概述	312
第二节 数-模转换.....	313
一、倒T形电阻网络D/A转换器.....	313
二、集成D/A转换器及其主要技术指标.....	315
第三节 模-数转换.....	317
一、逐次逼近型A/D转换器.....	318
二、集成A/D转换器及其主要技术指标.....	320
*第四节 应用实例.....	322
一、可变增益放大器	322
二、精密电阻测量电路	323
三、ADC0801单独应用时的外引线联接	325
四、输入模拟量的扩展应用	326
习题	327
习题答案.....	328
参考文献.....	339

第一章 半导体器件基础

半导体器件是近代电子技术的重要组成部分，由于半导体器件具有体积小、重量轻、耗电少、寿命长、工作可靠等优点，故在许多领域中获得广泛的应用。

半导体二极管和三极管是最常用的半导体器件。有关二极管和三极管的知识是学习电子技术不可缺少的内容。而PN结又是构成各种半导体器件的共同基础。本章首先简要地介绍半导体的基本知识，而后讨论半导体二极管和三极管的结构、工作原理、特性曲线、主要参数，为后续各章的学习提供必要的基础知识。

第一节 半导体的基本知识

在自然界中，某些物质很容易导电，称为导体，如银、铜、铝、铁等。有些物质几乎不导电，称为绝缘体，如橡皮、塑料等。还有些物质，它的导电性能介于导体和绝缘体之间，称为半导体，如硅、锗等。各种物质导电特性的差异其根本原因在于物质内部结构的特殊性。

半导体具有一些非常重要的性质。如光敏性、热敏性、掺杂性。

例如在纯净的半导体硅中掺入百万分之一的硼（有用杂质）后，硅的电阻率就从大约 $2 \times 10^3 \Omega \cdot m$ 减小到 $4 \times 10^{-3} \Omega \cdot m$ 左右。因此，利用半导体的一些特殊性质，可制造出各种光敏元件（光电管等）、热敏元件（热敏电阻等）和各种半导体器件。

为了研究半导体的物理性质，我们必须了解半导体的结构。

一、本征半导体

在近代电子技术中，使用得最多的半导体材料是锗和硅，它们的原子结构见图1-1 a，外层电子受原子核的束缚力最小，称

为价电子。锗和硅的外层电子都是 4 个，称为 4 价元素。价电子数决定了物质的化学性质，半导体导电性质也与价电子有关。因此，常用原子结构的简化模型来研究半导体的性质，如图 1-1 b 所示。

纯净的，具有晶体结构的半导体称为本征半导体。

在本征半导体的晶体结构中，原子在空间排列成很有规律的空间点阵。由于晶体中原子间距离很近，例如，本征硅中原子间的距离约为

$2.35 \times 10^{-4} \mu\text{m}$ ，价电子不仅受到自身原子核的吸引而围绕自身原子核转动，而且还受到相邻原子核的吸引，而经常出现在相邻原子的价电子轨道上，使得 1 个价电子为相邻原子核所共有，形成共价键结构。例如，本征硅中，每个硅原子的 4 个价电子与相邻的 4 个原子的各一个价电子

分别组成 4 对共价键，结果使得每个硅原子最外层形成拥有 8 个价电子的较为稳定的结构，如图 1-2 所示。

在共价键结构中的电子不象在绝缘体中的价电子被束缚得那样紧，在获得一定能量（如光照和热

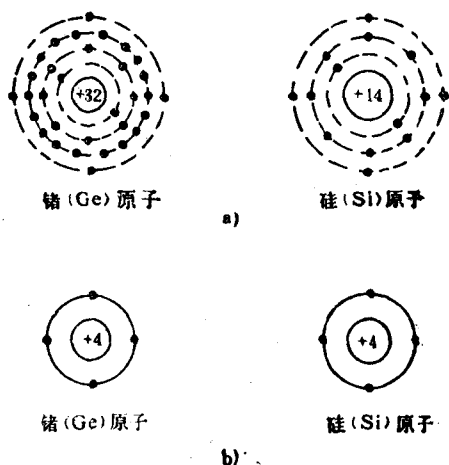


图 1-1 锗和硅的原子结构图

a) 原子结构图 b) 简化模型

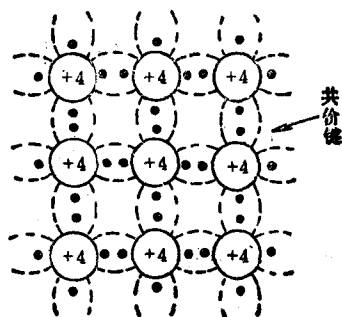


图 1-2 共价键结构

辐射)后,由于热运动,少数价电子即可挣脱原子核的束缚成为自由电子(这种现象称为本征激发),我们称之为电子载流子。同时,在共价键中留出一个空位,称为空穴,如图1-3所示。由于这个空穴的出现,附近原子中的价电子就很容易移过来递补,形成价电子的运动。这种运动从现象和效果上看,都好像是一个带正电的电荷——空穴在移动,称为空穴运动。可见,空穴也是一种载流子。

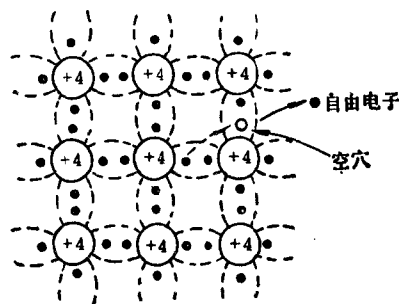


图1-3 半导体材料的本征激发

因此,当在半导体两端加上外加电压时,半导体中将出现两部分电流:一部分是带负电的自由电

子作定向运动形成的电子电流;另一部分是价电子递补空穴形成的空穴电流,即带正电的空穴定向运动形成的电流。在半导体中存在着电子和空穴两种载流子,存在电子导电和空穴导电这两种导电方式,这是半导体导电方式的最大特点。

本征半导体中,自由电子和空穴总是成对出现(称之为电子-空穴对),又不断复合,即自由电子在运动中与空穴重新结合而消失。电子-空穴对的不断产生和复合,在一定温度下达到动态平衡,这时,产生与复合的过程仍在进行,但电子-空穴对将维持在一定的数目上。

二、杂质半导体

本征半导体虽然同时存在自由电子和空穴两种载流子,但数量极少,电阻率很大,导电能力很差。如果在其中掺入微量纯净的有用杂质元素,即可使掺杂后的半导体(称为杂质半导体)的导电性能大大加强。

根据掺入杂质的不同,杂质半导体分为两大类,即电子半导体(N型半导体)和空穴半导体(P型半导体)。

N型半导体 在硅或锗晶体中掺入微量的5价元素,如磷等,则晶体点阵中某些位置上硅原子被磷原子所取代,由于磷原子有5个价电子,它以4个价电子与相邻的硅原子组成共价键后,显然还多余一个价电子,如图1-4 a所示。这个多余的价电子虽不受共价键的束缚,但仍受到其所属磷原子核的吸引而只能在磷原子周围运动,不过它所受到的吸引力比起共价键的束缚作用微弱得多,只要较小的能量就能挣脱磷原子核的束缚成为自由电子。同时磷原子电离,成为+1价离子,用 P^{+1} 表示。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导电的主要方式,故称为电子半导体或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 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,同时由于自由电子数目的增加而导致了复合机会的增多,空穴数目便可能减少到每立方厘米 2.3×10^5 个以下,故在N型半导体中,自由电子是多数载流子,空穴是少数载流子,而磷的正离子 P^{+1} 则处在点阵的晶格上,是不能随便移动的。

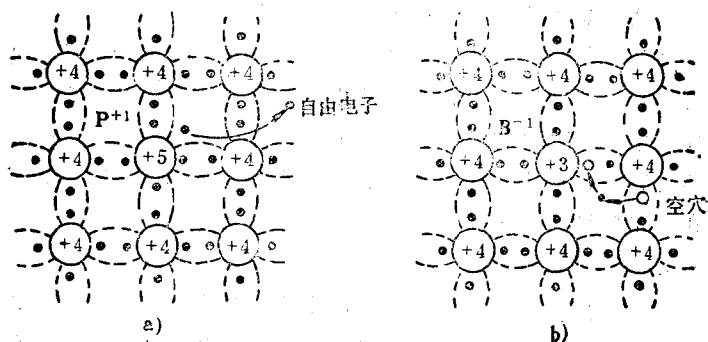


图1-4 杂质半导体

a) N型半导体 b) P型半导体

P型半导体 在硅或锗的晶体内掺入微量的3价元素杂质,如硼元素等。由于硼原子只有3个价电子,在它周围硅原子组成