

模拟电子技术 及其应用

王彩杰 张淑芬 周日强 编著

大连理工大学出版社

(辽)新登字 16 号

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术及其应用/王彩杰等编著. —大连:大连理工大学出版社,1994.9

ISBN 7-5611-0946-6

I. 模… II. 王… III. 模拟-电子电路-电子技术应用 IV. TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 08050 号

模拟电子技术及其应用

Meni Dianzi Jishu Jiqi Yingyong

王彩杰 张淑蓉 周日强 编著

大连理工大学出版社出版发行

(邮政编码 116024)

大连理工大学印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 1 字数 270 千字

1994 年 9 月第 1 版 1994 年 9 月第 1 次印刷

印数 0001—4000 册

责任编辑 王启太 责任校对 吴宪殿

封面设计 姜严军

ISBN 7 5611 0946 6

TN · 16

定价 8.20 元

前 言

本书是根据《高等工业学校电子技术基础教学基本要求》，为适应电子技术的发展对教材内容的更新而编写的。随着电子技术的发展，模拟集成电路的应用更加广泛。因此，本书自始至终以集成电路为主，尽量压缩分立元件内容，扩展集成电路内容，并使分立元件电路为集成电路服务。加强了运放的线性应用和非线性应用，对反馈、振荡、电源等传统内容都改为以集成电路为主线进行讨论。增加了新型器件和新型电路的应用内容，如模拟乘法器和函数发生器等。为巩固对基本概念的理解和掌握分析方法，各章都配有例题、习题，对所有习题都附有答案。为引导学生研究实用电路，增加实用电路读图一章，把所学内容贯穿为一体。全书的文字符号和图形均采用国家新颁布的统一标准。

本书编写力求简明实用，便于教学，内容安排符合认识规律，着重对基本概念、基本原理和基本分析方法进行训练，注重总结一般规律，培养学生掌握一般方法和分析解决实际问题的能力，做到举一反三。

《模拟电子技术及其应用》共十二部分。其中第一、二、四、七章由王彩杰编写。第三、六、八、十一章由周日强编写。第五、九、十章和附录由张淑芬编写。王彩杰负责组织、统编和定稿。周日强参加了审稿工作。全书由张裕民教授主

审，张教授仔细地阅读了原稿，指出了其中的错误和不当之处，并提出了许多宝贵的改进意见。本书在编写过程中也取得许多兄弟院校的支持和帮助。在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中缺点和错误在所难免，敬请读者给予批评指正。

编 者

1994 年 7 月

目 录

前言

第一章 半导体器件

第一节 半导体基础.....	1
一、本征半导体.....	1
二、P 型半导体和 N 型半导体	3
第二节 半导体二极管.....	4
一、PN 结的形成	5
二、PN 结的单向导电性	6
三、二极管的结构.....	8
四、二极管的特性.....	9
五、二极管参数	10
六、稳压管	11
七、光电二极管	13
八、发光二极管	13
第三节 三极管	14
一、三极管的结构	14
二、三极管的电流分配和放大作用	16
三、三极管的特性曲线	18
四、三极管主要参数	20
习题	24

第二章 基本放大电路

第一节 简单交流放大器	26
一、电路元件作用和组成原则	26
二、静态工作点设置	27
三、电源减化及放大电路表示法	30
第二节 放大器的分析方法	31
一、直流通路和交流通路	31
二、计算法	32
三、图解法	33
四、微变等效电路法	38
五、用等效电路计算放大器交流指标	44
第三节 工作点稳定电路	47
一、温度对工作点的影响	47
二、射极偏置电路	48
三、集电极——基极偏置电路	55
第四节 共集电极和共基极电路	55
一、共集电极电路	56
二、共基极电路	59
习题	64

第三章 场效应管及其放大电路

第一节 结型场效应管	74
一、结构	74
二、工作原理	74
三、特性曲线	78

四、主要参数	80
第二节 绝缘栅场效应管	82
一、结构	82
二、工作原理	83
三、特性曲线和主要参数	84
四、MOS 管的其他类型	84
五、VMOS 场效应管	88
第三节 场效应管放大器	89
一、直流偏置电路及静态分析	90
二、场效应管的微变等效电路及动态分析	93
习题	99

第四章 频率特性与多级放大器

第一节 单级放大器的频率特性	104
一、放大倍数用对数表示	104
二、单级放大器的频率特性	105
三、中频放大倍数	107
四、低频特性	107
五、高频特性	114
第二节 多级放大器	126
一、阻容耦合多级放大器	126
二、直接耦合共射——共集电路	129
三、共射——共基串接放大器	131
第三节 多级放大器频率特性	133
一、低频特性	134
二、高频特性	136

三、多级放大器的通频带·····	139
四、增益带宽积·····	141
习题·····	141

第五章 功率放大器

第一节 OCL 电路·····	150
一、功率放大器的分类·····	150
二、乙类互补对称电路·····	151
三、甲乙类互补对称电路·····	157
第二节 OTL 电路·····	158
一、单电源互补对称电路·····	158
二、一个实用的单电源互补对称电路·····	159
第三节 集成功率放大器·····	160
第四节 VMOS 功率放大器·····	163
习题·····	164

第六章 直流放大器和模拟集成电路

第一节 直流放大器·····	168
一、直流放大器的特殊问题·····	168
二、基本差动放大器·····	169
三、差动放大器的四种连接方式·····	175
四、带恒流源的差动放大器·····	178
五、例题·····	180
第二节 集成运算放大器·····	183
一、概述·····	183
二、集成运算放大器的组成·····	184

三、F007 ($\mu A741$, 5G24) 集成运放	185
第三节 集成运放的主要参数及其等效电路	193
一、集成运放的主要参数	193
二、集成运放的等效电路	196
第四节 集成运放的理想化及其两个基本电路	197
一、集成运放的理想化	197
二、集成运放的两个基本电路	198
第五节 集成运放的选择和使用	201
一、集成运放的选择	201
二、集成运放的使用	203
习题	205

第七章 反馈放大器

第一节 反馈的基本概念与分类	214
一、反馈的基本概念	214
二、反馈方式	215
三、反馈用方块图表示	221
第二节 负反馈对放大器指标的改善	224
一、提高放大倍数的稳定性	225
二、减少非线性失真	225
三、抑制噪声	226
四、扩展通频带	227
五、负反馈对输入阻抗的影响	228
六、负反馈对输出阻抗的影响	230
第三节 深反馈放大器计算	234
一、深反馈计算	234

二、信号源内阻对反馈的影响·····	237
第四节 反馈放大器的稳定问题·····	239
一、自激振荡和振荡条件·····	239
二、反馈放大器的稳定判据·····	239
三、反馈放大器的频率补偿·····	242
习题·····	248

第八章 信号的运算与处理

第一节 基本运算及应用电路·····	258
一、加法电路·····	258
二、减法电路·····	261
三、积分电路·····	263
四、微分电路·····	266
五、电压——电流转换器·····	269
六、集成运算放大器的组合应用·····	271
第二节 模拟乘法器·····	274
一、乘法器的基本概念·····	274
二、对数——反对数乘法器·····	275
三、可变跨导式乘法器·····	278
四、模拟乘法器的应用·····	280
第三节 有源滤波器·····	285
一、一阶有源滤波器·····	286
二、二阶有源滤波器·····	288
习题·····	300

第九章 波形的产生与变换

第一节 RC 正弦波振荡器	318
一、振荡条件	318
二、电路的组成	320
三、RC 串并联选频网络的选频特性	320
四、振荡电路的工作过程	321
第二节 LC 振荡器	323
一、选频放大器	323
二、变压器反馈式振荡器	326
三、电容三点式电路	328
四、电感三点式电路	329
五、石英晶体振荡器	330
第三节 非正弦波发生器	333
一、比较器	333
二、方波发生器	336
三、三角波发生器	337
第四节 函数发生器	340
一、限幅器电路	340
二、窗口比较器电路	342
三、精密整流电路	343
四、基本函数发生器	346
习题	352

第十章 直流稳压电源

第一节 整流电路	359
----------------	-----

一、单相桥式整流电路·····	359
二、滤波电路·····	362
三、倍压整流电路·····	365
第二节 串联型稳压电源·····	365
一、稳压管稳压电路·····	365
二、串联型稳压电源·····	366
三、集成稳压电源·····	370
四、三端稳压器的应用·····	375
五、开关电源·····	378
六、高频电源·····	382
习题·····	383

第十一章 实用电路的读图

一、读图方法·····	390
二、典型实用电路的读图·····	391
三、典型应用实例·····	407

附 录

附录一	半导体器件型号命名方法·····	411
附录二	几种国产集成运算放大器 参数规范表·····	413
附录三	集成电路型号命名·····	415
附录四	国内外部分集成运放同类产品 型号对照表·····	416
附录五	典型运算放大器参数·····	417
附录六	集成功率组件 5G31 的主要参数	

	集成功率组件 BA527 的主要参数	424
附录七	三端式集成稳压器参数.....	425
附录八	新旧图形符号及文字代号对照表.....	426
参考文献		429

第一章 半导体器件

本章首先讨论本征半导体和杂质半导体的导电规律,然后介绍 PN 结的单向导电原理、二极管的伏安特性、主要参数,并引出稳压管。最后介绍三极管电流分配、放大作用、特性曲线和主要参数。

第一节 半导体基础

一、本征半导体

一切物体都是由中性原子组成,而原子又是由带正电的原子核和带负电的绕核运动的电子组成。首先来看一下半导体硅和锗的原子结构,如图 1-1.1 所示,它们的特点是外层电

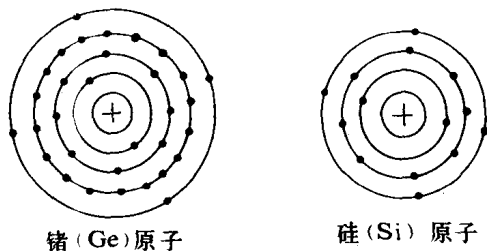


图 1-1.1 硅、锗的原子结构图

子都是四个。原子的外层电子叫做价电子,外层有几个电子叫几价元素,所以硅和锗都是四价元素。最外层电子受核的束缚

力最小,所以很容易离开外层轨道变成自由电子。

纯的硅和锗,拉成单晶后排列成整齐的晶格点阵。每个原子外层的四个电子不仅受本身原子核的束缚,而且受周围相邻的原子核的束缚,每两个相邻的原子之间都共有一对电子。电子对中的任何一个电子,一方面绕自身原子核运动,另一方面也时常出现在相邻原子的轨道上,这种结合叫共价结合,如图 1-1.2 所示。

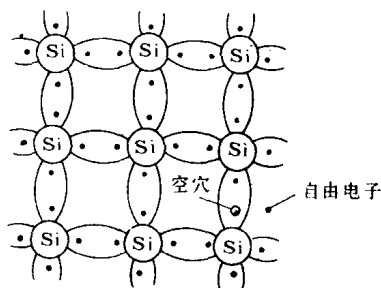


图 1-1.2 硅晶体的结构图

由于共价键有很强的结合力,所以各原子在晶体中按一定位置排列成晶格点阵。

半导体外层共有电子受核的束缚力并不像绝缘体里那样紧,在一定温度下,由于热运动,有少数电子还可挣脱核的束缚而离开共价键,变成自由电子。电子跳出共价键后,在共价键上留出一个空位,此空位叫做空穴。原来共价键被电子填满不显电性,电子跳出后就跳出一个负电荷,留下的空位具有正电性,所以空穴相当于一个带有正电的电荷,即带正电的粒子。

从上边的分析中发现,共价键上跳出一个电子就会产生一个空穴,电子和空穴是相伴而生,成对出现的,把它们称为电子空穴对。若用 n 表示电子浓度,用 p 表示空穴浓度,那么在这种纯的半导体中, $n=p$ 。

这种没掺入任何杂质的纯半导体又称本征半导体。

自由电子在外电场作用下作定向运动叫电子导电。电子从共价键上跳出后,共价键上留有一个空穴,见图 1-1. 2。有了这样一个空穴,附近的共有电子就很容易挣脱原来核的束缚,来填充这个空位,而形成共有电子的运动。这种运动,无论从效果上还是现象上,都好像一个带正电荷的空位在移动。为了区别于自由电子的运动,把这种运动叫做空穴运动,这种导电叫空穴导电。打一个比方,好比大家坐在一起看节目,如果前面走了人,出现一个空位,后面的人填补空位向前坐,看起来就好像空位向后移动一样,这种运动就相当于空穴移动。这与没有坐位的人到处走动不同,没有坐位自由走动的人好比电子运动。半导体导电是由两种载流子形成的,电子电流是带负电的电子的定向运动,而空穴电流是带正电的空穴的定向运动,这是半导体的一个重要特点。

半导体中,不仅由于热运动会产生电子空穴对,而且自由电子在运动中又会与空穴重新结合而消失,这是一种相反的过程,把它叫做复合。

二、P 型半导体和 N 型半导体

如果在纯的本征半导体中掺入少量杂质,半导体的导电性能会有很大的改善,杂质半导体是构成半导体器件的基础。

首先讨论 N 型半导体。如果在纯的硅中掺入五价元素磷,参看图 1-1. 3。硅本身晶格结构不被破坏,只有一个硅原子由磷代替,磷外层五个电子中,有四个电子与周围硅原子组成共价键,多出一个电子受原子核束缚力很小,因此很容易成为自由电子。在硅中每掺入一个磷原子就会多出来一个电子,所以这种半导体中电子是多数载流子,主要靠电子导电。这种半导体叫电子半导体,简称 N 型半导体。

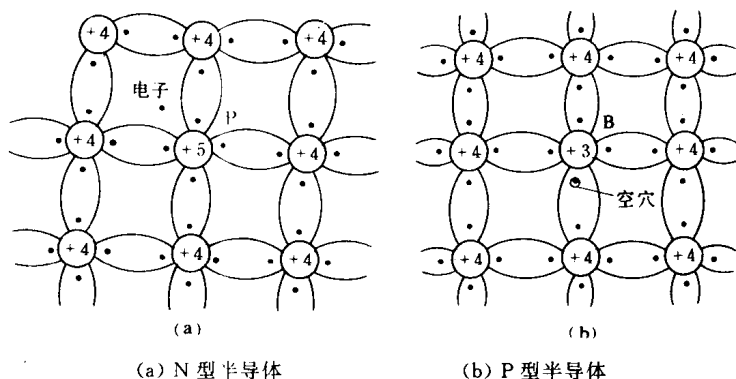


图 1-1.3 杂质半导体

在 N 型半导体中,磷能给出一个电子,它本身显正电性,这种能给出电子的原子叫施主原子。它是一个正离子。

其次研究 P 型半导体。若在硅中掺入三价元素硼,硅的晶格不破坏,其中有一个硅原子被硼所代替,则硼的三个电子与周围原子组成共价键,在硼附近形成一个空位。这样,掺入的硼杂质的每一个原子都可能提供一个空穴,从而使硅单晶中空穴载流子的数目大大增加,这种半导体主要靠空穴导电,把它叫做空穴半导体,简称 P 型半导体。

在 P 型半导体中,硼能产生一个空穴,接受一个电子,所以叫受主原子,它本身是负离子。

第二节 半导体二极管

如果采取某种措施把 P 型半导体和 N 型半导体结合在一起,那么在它们的交界面上就形成 PN 结。PN 结是构成二极管、三极管、固体组件和各种半导体器件的基础。